

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4680537号
(P4680537)

(45) 発行日 平成23年5月11日(2011.5.11)

(24) 登録日 平成23年2月10日(2011.2.10)

(51) Int.Cl. F I
H O I S 5/183 (2006.01) H O I S 5/183

請求項の数 17 (全 43 頁)

(21) 出願番号	特願2004-184492 (P2004-184492)	(73) 特許権者	000006747 株式会社リコー 東京都大田区中馬込1丁目3番6号
(22) 出願日	平成16年6月23日(2004.6.23)	(74) 代理人	100090240 弁理士 植本 雅治
(65) 公開番号	特開2005-183912 (P2005-183912A)	(72) 発明者	軸谷 直人 東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式 会社 リコー内
(43) 公開日	平成17年7月7日(2005.7.7)		
審査請求日	平成18年7月28日(2006.7.28)		
(31) 優先権主張番号	特願2003-396815 (P2003-396815)		
(32) 優先日	平成15年11月27日(2003.11.27)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		

審査官 高椋 健司

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 面発光レーザ素子および面発光レーザアレイおよび光インターコネクションシステムおよび光通信システムおよび電子写真システムおよび光ディスクシステム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

活性層と、前記活性層の両側に設けられた共振器スペーサー層と、前記活性層への電流注入領域を規定する電流狭窄構造と、前記活性層および共振器スペーサー層を挟み対向する一対の分布ブラッグ反射器とを有し、電流狭窄構造が選択酸化によって形成される面発光レーザ素子において、前記一対の分布ブラッグ反射器は A l G a A s 系半導体材料により構成され、更に、前記半導体分布ブラッグ反射器中において、前記電流狭窄構造によって規定される電流注入領域とレーザ共振方向に空間的重なりを有する部位に、A l の酸化物を含んだ、周辺に対して相対的に屈折率が低い領域が設けられている事を特徴とする面発光レーザ素子。

【請求項2】

活性層と、前記活性層の両側に設けられた共振器スペーサー層と、前記活性層への電流注入領域を規定する電流狭窄構造と、前記活性層および共振器スペーサー層を挟み対向する一対の分布ブラッグ反射器とを有し、電流狭窄構造がイオン注入による高抵抗化領域によって形成される面発光レーザ素子において、前記一対の分布ブラッグ反射器は A l G a A s 系半導体材料により構成され、更に前記半導体分布ブラッグ反射器中において、前記電流狭窄構造によって規定される電流注入領域とレーザ共振方向に空間的重なりを有する部位に、A l の酸化物を含んだ、周辺に対して相対的に屈折率が低い領域が設けられている事を特徴とする面発光レーザ素子。

【請求項3】

10

20

活性層と、前記活性層への電流注入領域を規定する電流狭窄構造と、前記活性層を挟み対向する一对の分布ブラッグ反射器とを有し、電流狭窄構造が選択酸化によって形成される面発光レーザ素子において、前記面発光レーザ素子は、分布ブラッグ反射器を構成する AlGaAs 混晶層を含み、該 AlGaAs 混晶層の一部は、前記電流狭窄構造によって規定される電流注入領域とレーザ共振方向に空間的重なりを有し、前記電流狭窄構造によって規定される電流注入領域とレーザ共振方向に空間的重なりを有する AlGaAs 混晶層の部位は、酸素を含む分子の選択的なイオン注入とイオン注入後の熱処理とによって、レーザ共振方向に垂直な同一面内の酸素を含む分子のイオン注入がなされていない周辺領域に対して、Al の酸化物を含む相対的に屈折率の低い領域を形成している事を特徴とする面発光レーザ素子。

10

【請求項 4】

活性層と、前記活性層への電流注入領域を規定する電流狭窄構造と、前記活性層を挟み対向する一对の分布ブラッグ反射器とを有し、電流狭窄構造がイオン注入による高抵抗化領域によって形成される面発光レーザ素子において、前記面発光レーザ素子は、分布ブラッグ反射器を構成する AlGaAs 混晶層を含み、該 AlGaAs 混晶層の一部は、前記電流狭窄構造によって規定される電流注入領域とレーザ共振方向に空間的重なりを有し、前記電流狭窄構造によって規定される電流注入領域とレーザ共振方向に空間的重なりを有する AlGaAs 混晶層の部位は、酸素を含む分子の選択的なイオン注入とイオン注入後の熱処理とによって、レーザ共振方向に垂直な同一面内の酸素を含む分子のイオン注入がなされていない周辺領域に対して、Al の酸化物を含む相対的に屈折率の低い領域を形成している事を特徴とする面発光レーザ素子。

20

【請求項 5】

請求項 3 または請求項 4 に記載の面発光レーザ素子において、レーザ共振方向に垂直な同一面内の酸素を含む分子のイオン注入がなされていない周辺領域に対して、相対的に屈折率の低い領域を形成する前記 AlGaAs 混晶層にレーザ共振方向に接して、GaAs 層または GaInP 混晶層が設けられている事を特徴とする面発光レーザ素子。

【請求項 6】

請求項 3 または請求項 4 に記載の面発光レーザ素子において、レーザ共振方向に垂直な同一面内の酸素を含む分子のイオン注入がなされていない周辺領域に対して、相対的に屈折率の低い領域を形成する AlGaAs 混晶層は、共振器構造中において、発振光の定在波の腹に対応する位置に設けられ、且つ、素子を構成する他の AlGaAs 混晶層に比べて相対的に高濃度にドーピングされている事を特徴とする面発光レーザ素子。

30

【請求項 7】

請求項 1 乃至請求項 6 のいずれか一項に記載の面発光レーザ素子において、前記相対的に屈折率が低い領域が、一对の分布ブラッグ反射器のうちの n 型分布ブラッグ反射器中に設けられている事を特徴とする面発光レーザ素子。

【請求項 8】

請求項 1 乃至請求項 7 のいずれか一項に記載の面発光レーザ素子において、前記レーザ共振領域とレーザ共振方向に空間的重なりを有して設けられた相対的に屈折率が低い領域の周辺に、前記相対的に屈折率が低い領域に対し高屈折率である高屈折率領域が設けられ、更に、前記高屈折率領域の周辺に、前記高屈折率領域に対し低屈折率であるクラッド領域が設けられている事を特徴とする面発光レーザ素子。

40

【請求項 9】

請求項 8 記載の面発光レーザ素子において、前記クラッド領域により取り囲まれた高屈折率領域の幅に異方性を設けた事を特徴とする面発光レーザ素子。

【請求項 10】

請求項 8 記載の面発光レーザ素子において、前記クラッド領域が、レーザ共振領域を挟んで対向するレーザ共振方向に垂直な一对の方向にのみ設けられている事を特徴とする面発光レーザ素子。

【請求項 11】

50

請求項 1 乃至請求項 10 のいずれか一項に記載の面発光レーザ素子において、レーザ共振領域と空間的重なりを有して設けられる前記相対的に屈折率が低い領域が、異方性形状を有している事を特徴とする面発光レーザ素子。

【請求項 12】

請求項 1 乃至請求項 11 のいずれか一項に記載の面発光レーザ素子において、活性層は III-V 族元素により構成され、活性層を構成する III 族元素として、Ga, In のうちのいずれか、又は全てを含み、また、V 族元素として、As, N, Sb, P のうちのいずれか、又は全てを含んでいる事を特徴とする面発光レーザ素子。

【請求項 13】

請求項 1 乃至請求項 12 のいずれか一項に記載の面発光レーザ素子がアレイ状に配列されて構成されている事を特徴とする面発光レーザアレイ。 10

【請求項 14】

請求項 1 乃至請求項 12 のいずれか一項に記載の面発光レーザ素子、または、請求項 13 記載の面発光レーザアレイが光源として用いられている事を特徴とする光インターコネクションシステム。

【請求項 15】

請求項 1 乃至請求項 12 のいずれか一項に記載の面発光レーザ素子、または、請求項 13 記載の面発光レーザアレイが通信光源として用いられている事を特徴とする光通信システム。

【請求項 16】

請求項 1 乃至請求項 12 のいずれか一項に記載の面発光レーザ素子、または、請求項 13 記載の面発光レーザアレイが書き込み用光源として用いられている事を特徴とする電子写真システム。 20

【請求項 17】

請求項 1 乃至請求項 12 のいずれか一項に記載の面発光レーザ素子、または、請求項 13 記載の面発光レーザアレイが読み出し/書き込み用光源として用いられている事を特徴とする光ディスクシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、面発光レーザ素子および面発光レーザアレイおよび光インターコネクションシステムおよび光通信システムおよび電子写真システムおよび光ディスクシステムに関する。 30

【背景技術】

【0002】

近年、基板と垂直方向にレーザ発振を生じる面発光レーザ素子（面発光型半導体レーザ素子）が、精力的に研究されている。面発光レーザは、端面発光型レーザに比べて活性層体積が小さい事により発振閾値電流が低く、また共振器構造が高速変調に適し、更に円形状の高品質な出射ビーム形状を有する等の特徴を有しており、このような特徴から、LAN 等の高速光通信光源、電子写真システムの光源として非常に注目されている。 40

【0003】

更に、面発光レーザ素子は基板に垂直な方向にレーザ出力が取り出せる事から、高密度 2 次元アレイ集積が容易であり、並列光インターコネクション用光源、高速高精度電子写真システム等への応用が検討されている。

【0004】

現在、面発光レーザ素子の代表的な構造として、注入電流の狭窄構造の違いから、選択酸化型の面発光レーザ素子と、イオン注入型の面発光レーザ素子との 2 種の構造を挙げる事ができる。いずれの構造も、電流の注入領域を素子の中央部にあたる特定の領域に狭窄する事により、大幅な発振閾値電流の低減を実現している。

【0005】

例えば非特許文献1では、InGaAsを活性層とした $0.98\mu\text{m}$ 帯面発光レーザー素子が示されている。この面発光レーザー素子では、活性層の上部に設けた $p\text{-Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}/\text{GaAs}$ からなる上部分布ブラッグ反射器中に、 $\text{Al}_{0.98}\text{Ga}_{0.02}\text{As}$ 被選択酸化層が設けられている。この面発光レーザー素子は、結晶成長の後、エッチングにより被選択酸化層の側面が露出するように上部分布ブラッグ反射器を方形状のメサにエッチング加工し、 85°C に加熱した水を窒素ガスでバブリングした雰囲気中において 425°C に加熱して、エッチング側面からメサの中央に向かって $\text{Al}_{0.98}\text{Ga}_{0.02}\text{As}$ 被選択酸化層の選択酸化を行っている。選択酸化によってメサの周辺には AlO_x (Al の酸化物)による絶縁領域が形成され、メサの中央には、非酸化領域による導通領域が形成される。

10

【0006】

以上の様に、通常、面発光レーザーにおける選択酸化領域は、 AlGaAs 被選択酸化層の一部をエッチング等によって水蒸気を含む雰囲気中に晒し、加熱する事によって行われている。

【0007】

この種の面発光レーザー素子では、上部分布ブラッグ反射器の表面から注入された正孔は、メサの中央の非酸化導通領域へと狭窄されて活性層に注入される。 AlO_x は非常に良好な絶縁体であり、正孔の注入領域をメサの中央部に限定する事が可能であり、このような選択酸化構造を用いる事によって発振閾値電流を大幅に低減する事ができる。非特許文献2に示されている素子では、非酸化領域の面積を $4.5\mu\text{m} \times 8\mu\text{m}$ とした素子において、 $900\mu\text{m}$ の低閾値電流が得られている。

20

【0008】

また、 AlO_x の屈折率は1.6程度と、他の半導体層に比べて低い事から、選択酸化型の面発光レーザー素子では、選択酸化層によって共振器構造内に横方向の屈折率差が生じ、発振光がメサ中央に閉じ込められるので、回折による損失が低減し、素子の効率を向上させる事が可能である。しかし、逆に光閉じ込めが大きくなるので、高次横モードの発振を抑制する為に酸化狭窄径を小さくする事が必要となる。波長帯にもよるが、従来、単一の酸化狭窄構造を設けた面発光レーザー素子では、酸化狭窄の直径、または、一辺の長さを発振波長の3~4倍程度に絞る事によって、単一基本モード発振を得る事が可能である。以上の様に、選択酸化構造を用いる事により、発振閾値の低減と、回折損失の低減、及び単一基本モード制御が実現できる。

30

【0009】

これに対し、水素イオン注入型の面発光レーザー素子は、選択酸化型の面発光レーザー素子のように作りつけの導波構造は持っておらず、電流通電時に発生する熱によって生じる僅かな屈折率の変化によって導波構造を形成し(サーマルレンズ効果)、横モードの閉じ込めを行なっている。水素イオン注入型の面発光レーザー素子では、光閉じ込めが弱いので、比較的大きな電流狭窄径においても単一基本横モード発振を得る事が可能である。非特許文献3では、 GaAs を活性層とした $0.85\mu\text{m}$ 帯水素イオン注入型面発光レーザー素子が示されている。この非特許文献3の面発光レーザー素子では、直径 $10\mu\text{m}$ の正孔注入領域により、 2.5mA の発振閾値電流を得ている。

40

【0010】

また、面発光レーザーの多くの用途では、低閾値特性以外にも、高出力での単峰性のビーム形状が強く要求されており、単一横モード制御は非常に重要な課題として挙げられる。しかしながら、以上の構造の面発光レーザー素子において単一基本横モード制御が可能なのは比較的低注入レベルでの動作時のみであって、高注入レベルとした場合には、キャリアの空間的ホールバーニングにより高次横モードが発振してしまうという問題がある。

【0011】

つまり、高注入動作時には、共振器内部の光密度が増加する為、光強度が強い領域におけるキャリアの誘導放出レートが増加し、キャリア密度が低下するという現象(空間的ホールバーニング現象)が起こる。基本横モードはメサの中心に大きなモード分布(電界分

50

布)を有するので、電流の注入レベルが増加し、共振器内の光密度が大きくなるに従って、メサの中心付近のキャリア密度が低下し、基本横モードに対するレーザ利得の飽和が起こる。この一方で、メサの中心部から側面部における領域では、メサ中心部に対してキャリア密度が高くなっているため、メサ中心部から側面部にかけてモード振幅を有する高次横モードでは、レーザ利得が増加して、レーザ発振が開始する。

【0012】

この現象は、特に選択酸化構造によって強く横モード閉じ込めを行なっている選択酸化型の面発光レーザにおいて顕著に生じ、出射ビーム品質を低下させてしまう深刻な原因となっている。また、水素イオン注入型の面発光レーザ素子では、もともと作りつけの光閉じ込め構造を有していないことから、横モードに対する安定性が悪く、同様に注入レベルの増加に対し、容易に高次モードが発振してしまうという問題がある。

10

【0013】

高次横モードの発振を抑圧して以上の様な問題を解決するために、種々の提案がなされているが、例えば非特許文献4には、メサ中心部の電流注入領域に対応した領域の $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 層を、結晶成長表面から選択的に酸化し、共振器構造の一部に選択酸化構造からなる反導波構造を形成することによって、高次横モードの発振を抑制する手法に関して記述がなされている。この例では、 $0.98\mu m$ 帯の素子において、加熱水蒸気雰囲気中において、厚さ $18.6nm$ の $AlAs$ 被選択酸化層をエッチング側面から選択酸化する事によって設けた直径 $10\sim 17\mu m$ の電流狭窄構造径に対して、メサの中心領域の電流注入領域に対応した位置に、同様に、水蒸気を含む加熱雰囲気中において、素子表面から $1/2$ 厚さの $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 混晶を直径 $15\mu m$ の範囲に渡って選択酸化し、反導波構造を設けて、閾値の20倍もの注入電流においても、高次横モード発振が抑圧された単峰性の放射パターンを得ている。

20

【0014】

この非特許文献4のように、共振器構造の中心に反導波構造を設けると、高次横モードと活性層における利得領域(電流注入領域)の空間的重なりを減少できるので、高次横モードの発振を抑圧する事が可能となる。図3(a)、(b)は、部分的に設けた反導波構造によって、基本横モードと1次の高次モードの分布がどのような影響を受けるかを説明するための図である。ここで、図3(a)は反導波構造が無い場合のモード分布を示す図であり、図3(b)は素子の中心部に部分的に反導波構造を設けた場合のモード分布を示す図である。図3(a)、(b)の上段が基本横モード分布、下段が1次の高次横モード分布を示している。また、図中には、電流注入によって生じる利得領域が示されている。

30

【0015】

図3(a)、(b)からわかるように、メサの中心部に大きなモード分布を有する基本横モードは、反導波構造によりモード分布をメサの側面方向へ押し広げる事が困難であるが、高次横モードではメサの中心において電界強度が零であり、周辺に領域に大きなモード分布を有するので、反導波構造によって、モード分布をメサの側面方向に容易に押し広げる事が可能であり、メサ中心部のモード分布(電界強度)を低減する事ができる。

【0016】

以上の様な理由から、反導波構造を導入する事により、高次横モードに対する利得は低減し、高出力までの基本横モード動作が可能となる。更に、基本横モードは、モード分布を大きく押し広げる事は困難であるが、メサ中央部における電界強度が反導波構造によって平坦化される効果が期待できるものと考えられる。従って、メサ中央部における電界強度分布は低下し、ホールバーニングの発生を抑制できる事が考えられる。

40

【非特許文献1】Applied Physics Letters vol.66, No.25, pp.3413-3415, 1995、及びElectronics Letters No.24, Vol.30, pp.2043-2044, 1994

【非特許文献2】Electronics Letters No.24, Vol.30, pp.2043-2044, 1994

50

【非特許文献3】Electronics Letters No. 5, Vol. 27, 1991, pp. 457 - 458

【非特許文献4】IEEE Photonics Technology Letters Vol. 10, No. 1, 1998, pp. 12 - 14

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0017】

上述した非特許文献4の面発光レーザ素子では、 AlO_x による反導波構造を共振器内部に設ける為に、水蒸気を含む加熱雰囲気中においてAl組成の大きなAlGaAs層の選択酸化（以後、単に水蒸気選択酸化と略す）を行なっている。反導波を形成する為に設ける AlO_x 層は、共振器の中心部の基本モード振幅が大きな位置に設ける必要がある為、従来の面発光レーザのようにメサ側面部のエッチング端面から酸化する方法は適用できない。従って、素子表面部から選択酸化を行なっている。また、反導波構造による高次モードへの十分な作用を得るには、反導波構造は共振器内の比較的電界強度の大きな位置に形成する必要があり、上部分布ブラッグ反射器中に作り込む必要がある。しかし、 AlO_x 上へのエピタキシャル成長は困難である事から、誘電体分布ブラッグ反射器の蒸着によりレーザ構造の形成を行なうなどの手法が必要であり、誘電体の蒸着工程が余計に必要となっている。また、上面電極部から電流注入を行なう為に、誘電体分布ブラッグ反射器の除去工程が余分に必要となってしまう。

10

【0018】

また、以上の様に水蒸気を含む加熱雰囲気中における選択酸化工程において、反導波構造を形成する選択酸化層を常に素子表面部に設けなくてはならないので、素子の設計の自由度が制約されるという問題がある。更に、上部に誘電体多層膜反射鏡を設けている為に、p側電極と選択酸化層の距離が近く、正孔は反導波構造を形成する為に設けた AlO_x 層の外周部分から狭窄領域に向けて横方向に注入されるので、素子が高抵抗になってしまうという問題がある。

20

【0019】

また、光ファイバ通信用途、及び電子写真システムの書き込み光源用途では、単一基本横モードにおける高出力動作以外にも、素子の偏光方向が特定の方向に制御されている必要がある。つまり、高速の光ファイバ通信用途では、システムを構成する光学部品の偏光方向に依存した反射、透過特性の違いによって生じる雑音の発生が問題となっている。また、書き込み用途でも同様に、光学系の偏光方向依存性により、感光体表面におけるビームスポット形状に歪が生じるという問題がある。

30

【0020】

しかし、上記の公知文献では、偏光方向の制御について言及はなされておらず、このまま実用に供する素子を得る事は難しいと考えられる。また、偏光方向を制御する試みとして、傾斜基板上の素子を形成する方法や、加工条件によって、素子に異方性応力を加える方法等が提案されているが、前者の方法では良好に素子を結晶成長する事ができる成長条件の幅が狭いという問題があり、また、後者の方法では加工条件の制御性、再現性に偏光の制御性が依存するという問題がある。

40

【0021】

本発明は、素子の設計の自由度を大きくし、より効果的に高次横モード発振が抑制され、単一基本横モードにおいて高出力動作が可能であり、更に偏光方向が特定の方向に制御された面発光レーザ素子および面発光レーザアレイおよび光インターコネクションシステムおよび光通信システムおよび電子写真システムおよび光ディスクシステムを提供する事を目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0022】

上記目的を達成するために、請求項1記載の発明は、活性層と、前記活性層の両側に設けられた共振器スペーサー層と、前記活性層への電流注入領域を規定する電流狭窄構造と

50

、前記活性層および共振器スペーサー層を挟み対向する一対の分布ブラッグ反射器とを有し、電流狭窄構造が選択酸化によって形成される面発光レーザ素子において、前記一対の分布ブラッグ反射器は AlGaAs 系半導体材料により構成され、更に、前記半導体分布ブラッグ反射器中において、前記電流狭窄構造によって規定される電流注入領域とレーザ共振方向に空間的重なりを有する部位に、Alの酸化物を含んだ、周辺に対して相対的に屈折率が低い領域が設けられている事を特徴としている。

【0023】

また、請求項2記載の発明は、活性層と、前記活性層の両側に設けられた共振器スペーサー層と、前記活性層への電流注入領域を規定する電流狭窄構造と、前記活性層および共振器スペーサー層を挟み対向する一対の分布ブラッグ反射器とを有し、電流狭窄構造がイオン注入による高抵抗化領域によって形成される面発光レーザ素子において、前記一対の分布ブラッグ反射器は AlGaAs 系半導体材料により構成され、更に前記半導体分布ブラッグ反射器中において、前記電流狭窄構造によって規定される電流注入領域とレーザ共振方向に空間的重なりを有する部位に、Alの酸化物を含んだ、周辺に対して相対的に屈折率が低い領域が設けられている事を特徴としている。

10

【0024】

また、請求項3記載の発明は、活性層と、前記活性層への電流注入領域を規定する電流狭窄構造と、前記活性層を挟み対向する一対の分布ブラッグ反射器とを有し、電流狭窄構造が選択酸化によって形成される面発光レーザ素子において、前記面発光レーザ素子は、分布ブラッグ反射器を構成するAlGaAs混晶層を含み、該AlGaAs混晶層の一部は、前記電流狭窄構造によって規定される電流注入領域とレーザ共振方向に空間的重なりを有し、前記電流狭窄構造によって規定される電流注入領域とレーザ共振方向に空間的重なりを有するAlGaAs混晶層の部位は、酸素を含む分子の選択的なイオン注入とイオン注入後の熱処理とによって、レーザ共振方向に垂直な同一面内の酸素を含む分子のイオン注入がなされていない周辺領域に対して、Alの酸化物を含む相対的に屈折率の低い領域を形成している事を特徴としている。

20

【0025】

また、請求項4記載の発明は、活性層と、前記活性層への電流注入領域を規定する電流狭窄構造と、前記活性層を挟み対向する一対の分布ブラッグ反射器とを有し、電流狭窄構造がイオン注入による高抵抗化領域によって形成される面発光レーザ素子において、前記面発光レーザ素子は、分布ブラッグ反射器を構成するAlGaAs混晶層を含み、該AlGaAs混晶層の一部は、前記電流狭窄構造によって規定される電流注入領域とレーザ共振方向に空間的重なりを有し、前記電流狭窄構造によって規定される電流注入領域とレーザ共振方向に空間的重なりを有するAlGaAs混晶層の部位は、酸素を含む分子の選択的なイオン注入とイオン注入後の熱処理とによって、レーザ共振方向に垂直な同一面内の酸素を含む分子のイオン注入がなされていない周辺領域に対して、Alの酸化物を含む相対的に屈折率の低い領域を形成している事を特徴としている。

30

【0026】

また、請求項5記載の発明は、請求項3または請求項4に記載の面発光レーザ素子において、レーザ共振方向に垂直な同一面内の酸素を含む分子のイオン注入がなされていない周辺領域に対して、相対的に屈折率の低い領域を形成する前記AlGaAs混晶層にレーザ共振方向に接して、GaAs層またはGaInP混晶層が設けられている事を特徴としている。

40

【0027】

また、請求項6記載の発明は、請求項3または請求項4に記載の面発光レーザ素子において、レーザ共振方向に垂直な同一面内の酸素を含む分子のイオン注入がなされていない周辺領域に対して、相対的に屈折率の低い領域を形成するAlGaAs混晶層は、共振器構造中において、発振光の定在波の腹に対応する位置に設けられ、且つ、素子を構成する他のAlGaAs混晶層に比べて相対的に高濃度にドーピングされている事を特徴としている。

50

【0029】

また、請求項7記載の発明は、請求項1乃至請求項6のいずれか一項に記載の面発光レーザー素子において、前記相対的に屈折率が低い領域が、一对の分布ブラッグ反射器のうちのn型分布ブラッグ反射器中に設けられている事の特徴としている。

【0030】

また、請求項8記載の発明は、請求項1乃至請求項7のいずれか一項に記載の面発光レーザー素子において、前記レーザー共振領域とレーザー共振方向に空間的重なりを有して設けられた相対的に屈折率が低い領域の周辺に、前記相対的に屈折率が低い領域に対し高屈折率である高屈折率領域が設けられ、更に、前記高屈折率領域の周辺に、前記高屈折率領域に対し低屈折率であるクラッド領域が設けられている事の特徴としている。

10

【0031】

また、請求項9記載の発明は、請求項8記載の面発光レーザー素子において、前記クラッド領域により取り囲まれた高屈折率領域の幅に異方性を設けた事の特徴としている。

【0032】

また、請求項10記載の発明は、請求項8記載の面発光レーザー素子において、前記クラッド領域が、レーザー共振領域を挟んで対向するレーザー共振方向に垂直な一对の方向にのみ設けられている事の特徴としている。

【0033】

また、請求項11記載の発明は、請求項1乃至請求項10のいずれか一項に記載の面発光レーザー素子において、レーザー共振領域と空間的重なりを有して設けられる前記相対的に屈折率が低い領域が、異方性形状を有している事の特徴としている。

20

【0034】

また、請求項12記載の発明は、請求項1乃至請求項11のいずれか一項に記載の面発光レーザー素子において、活性層はIII-V族元素により構成され、活性層を構成するIII族元素として、Ga, Inのうちのいずれか、又は全てを含み、また、V族元素として、As, N, Sb, Pのうちのいずれか、又は全てを含んでいる事の特徴としている。

【0035】

また、請求項13記載の発明は、請求項1乃至請求項12のいずれか一項に記載の面発光レーザー素子がアレイ状に配列されて構成されている事の特徴とする面発光レーザーアレイである。

30

【0036】

また、請求項14記載の発明は、請求項1乃至請求項12のいずれか一項に記載の面発光レーザー素子、または、請求項13記載の面発光レーザーアレイが光源として用いられている事の特徴とする光インターコネクションシステムである。

【0037】

また、請求項15記載の発明は、請求項1乃至請求項12のいずれか一項に記載の面発光レーザー素子、または、請求項13記載の面発光レーザーアレイが通信光源として用いられている事の特徴とする光通信システムである。

【0038】

また、請求項16記載の発明は、請求項1乃至請求項12のいずれか一項に記載の面発光レーザー素子、または、請求項13記載の面発光レーザーアレイが書き込み用光源として用いられている事の特徴とする電子写真システムである。

40

【0039】

また、請求項17記載の発明は、請求項1乃至請求項12のいずれか一項に記載の面発光レーザー素子、または、請求項13記載の面発光レーザーアレイが読み出し/書き込み用光源として用いられている事の特徴とする光ディスクシステムである。

【発明の効果】

【0040】

請求項1記載の発明によれば、選択酸化電流狭窄層によって電流注入領域が規定される酸化型面発光レーザー素子において、半導体分布ブラッグ反射器中のレーザー共振領域と重な

50

りを有する部位に、Alの酸化物よりなる低屈折領域を設ける構成とする事によって、製造コストが低く、素子の設計の自由度が高く、更に素子抵抗の低い、反導波構造を有する選択酸化型面発光レーザ素子を提供することができる。

【0041】

すなわち、請求項1記載の発明によれば、Alの酸化物による反導波構造を有した選択酸化型面発光レーザ素子において、素子の設計の自由度を大きくする事によって、より効果的に高次横モード発振が抑制された、単一基本横モードにおいて高出力動作が可能な素子を提供することができる。

【0042】

また、請求項2記載の発明によれば、イオン注入による高抵抗化領域によって活性層への電流注入領域が規定される水素イオン注入型面発光レーザ素子において、半導体分布ブラッグ反射器中のレーザ発振領域と重なりを有する部位に、Alの酸化物よりなる低屈折領域を設ける構成とする事により、素子の設計の自由度が高く、更に素子抵抗の低い、Alの酸化物を用いた反導波構造を有する水素イオン注入型面発光レーザ素子が容易に得られる。

10

【0043】

すなわち、請求項2記載の発明によれば、Alの酸化物による反導波構造を有した水素イオン注入型面発光レーザ素子において、素子の設計の自由度を大きくする事によって、より効果的に高次横モード発振が抑制された、単一基本横モードにおいて高出力動作が可能な素子を提供することができる。

20

【0044】

また、請求項3記載の発明によれば、素子の設計の自由度を大きくし、より効果的に高次横モード発振が抑制され、単一基本横モードにおいて高出力動作が可能な面発光レーザ素子を提供することができる。

【0045】

非特許文献4の従来技術の素子では、反導波構造を設ける方法として、レーザ発振領域の近くに、Alの酸化物を含んだ低屈折率領域を設ける方法を用いており、このような構成を得る為に、共振器スペーサー層と分布ブラッグ反射器の途中までを半導体材料により形成した後、素子表面におけるAlを組成に含んだ半導体層を、水蒸気雰囲気中における選択酸化によって酸化し、レーザ発振領域に空間的重なりを有した部位にAlの酸化物からなる低屈折率領域を設けている。

30

【0046】

従って、素子部の形成の途中において、素子表面には酸化物による領域が形成されており、引き続いて半導体材料の結晶成長を行う事が困難となっている。このため、従来技術の素子では、上部反射鏡を誘電体分布ブラッグ反射器とする構成が用いられている。しかしながら、誘電体分布ブラッグ反射器を用いた場合、電流注入経路に制限が生じ、素子が高抵抗化し易い上に、半導体材料の成長装置の他にも誘電体の蒸着装置が必要となり、また精密な膜厚制御が必要とされる分布ブラッグ反射器の形成工程を、異なった2つの装置で行なわなければならない、製造コストが高くなる等の問題点がある。

【0047】

このような、従来技術における問題点は、素子の最表面を酸化させる事無く、半導体構造内部に酸化領域を形成する事によって解決する事が可能であり、このような方法として、例えば、素子表面から酸素イオン注入を行い、その後熱処理を行い、素子内部の酸素イオンが注入されている領域のみを選択的に酸化する方法等を挙げる事ができる。

40

【0048】

すなわち、請求項3の発明によれば、反導波構造を形成する為に必要な低屈折率層を、結晶成長表面から酸素イオン注入を行なった後、熱処理を行なう事により、酸素イオン注入を行なった領域に対し選択的に形成する事ができる。このように酸素イオン注入、又は酸素を含む分子のイオン注入の後、熱処理を行なう事により、AlGaAs混晶の酸化が可能である事は、特開平9-27650号公報または特開2002-289967号公報

50

に開示されている。尚、AlGaAs混晶は、Al組成の大きなもの程酸化が進行しやすく、GaAs層は殆ど酸化がなされない。これらの公知技術では、結晶成長を完了した素子において、共振領域の外側におけるAlGaAsを酸化して共振器に導波構造を作りこむ為の技術として開示がなされており、素子の表面から基板にわたるエピ膜全てを選択酸化している。しかし、これらの公知技術においては、反導波構造の形成、結晶成長後の再成長に関しては言及されていない。一方、この様に酸素イオン注入により、AlGaAs層の酸化を行なう場合には、従来の素子の様に、水蒸気を含む加熱雰囲気中に、選択的に酸化したい層を晒す事無く、イオン注入深さとイオン注入面積を選ぶ事によって、エピ構造中における所望の場所のAlGaAs層を選択的に酸化させる事が可能である。従って、従来技術の素子の様に、素子表面部のAlGaAs層を露呈した後、酸化を行なう必要が無く、素子表面部にAlO_x層が形成される事が無いので、アニールによって注入による欠陥を回復させる事によって、再び結晶性良く素子部の成長を行なう事が可能である。従って、素子構造内部の任意の領域に容易に反導波構造を形成する事が可能となり、設計の自由度が飛躍的に増加する。また、メサ中央部の反導波構造を形成する為の酸化構造は、周辺領域に比べ相対的に屈折率が低くなっておれば良いので、AlGaAs混晶が必ずしも完全に酸化されている必要はない。換言すると、設計に対し所望の屈折率変化が得られる様に、酸素イオンの注入量を調整する事ができる。以上の様に、低屈折率層による反導波構造を有する面発光レーザの設計の自由度が非常に大きくなるという効果が得られる。

【0049】

このように、請求項3の発明では、選択酸化による電流狭窄型面発光レーザにおいて、酸素を含む分子のイオン注入と熱処理によるAlGaAs混晶の選択酸化を用いて反導波構造を形成する事によって、素子構造内部の任意の領域に容易に反導波構造を形成する事が可能になる。これによって、素子の設計の自由度は大きくなり、また、より効果的に高次横モード発振が抑制された単一基本横モードにおいて高出力動作が可能な素子を得る事ができる。

【0050】

また、請求項4記載の発明によれば、活性層と、前記活性層への電流注入領域を規定する電流狭窄構造と、前記活性層を挟み対向する一対の分布ブラッグ反射器とを有し、電流狭窄構造がイオン注入による高抵抗化領域によって形成される面発光レーザ素子において、前記面発光レーザ素子は、分布ブラッグ反射器を構成するAlGaAs混晶層を含み、該AlGaAs混晶層の一部は、前記電流狭窄構造によって規定される電流注入領域とレーザ共振方向に空間的重なりを有し、前記電流狭窄構造によって規定される電流注入領域とレーザ共振方向に空間的重なりを有するAlGaAs混晶層の部位は、酸素を含む分子の選択的なイオン注入とイオン注入後の熱処理とによって、レーザ共振方向に垂直な同一面内の酸素を含む分子のイオン注入がなされていない周辺領域に対して、Alの酸化物を含む相対的に屈折率の低い領域を形成しているので、素子の設計の自由度を大きくし、より効果的に高次横モード発振が抑制され、単一基本横モードにおいて高出力動作が可能な面発光レーザ素子を提供することができる。

【0051】

すなわち、請求項4の発明のように、水素イオン注入による高抵抗化領域によって電流狭窄を行なうイオン注入型面発光レーザ素子においても、請求項3の発明の場合と同様に、素子構造内部の任意の領域に容易に反導波構造を形成する事が可能となり、設計の自由度が大きくなるという効果が得られる。

【0052】

水素イオン注入型面発光レーザ素子では、もともと作りつけの導波構造を持たないので、僅かな屈折率の変化によって容易にモード分布を変化させる事が可能である。従って、反導波構造を共振器中に設けた場合、非常に効果的に高次横モードの、モード振幅が大きな領域を電流注入領域(利得領域)の外側に移動させる事が可能であり、より効果的に高次横モードの発振を抑制する事が可能である。

【0053】

水素イオン注入型面発光レーザー素子では、横方向の光閉じ込めが弱いので、比較的大きな電流狭窄径であっても、単一基本横モード発振するものの、作りつけの導波構造が無い為に、横モードが不安定で、更に、注入レベルの増加に対し容易に高次モードが発振してしまう問題がある。しかし、請求項4のように部分的に僅かな反導波構造を作りこむ事によって、容易に高次横モードにおけるモード振幅の大きな領域を利得領域から遠ざける事ができる。また、水素イオン注入型面発光レーザーでは、上述のように酸化狭窄型面発光レーザー素子に比べて電流狭窄径を大きくできる為、高出力動作が得やすいという利点も有している。尚、水素イオン注入型面発光レーザーは、作りつけの導波構造がない為、非常に僅かの屈折率差であっても、モード分布に大きな影響を及ぼすので、基本横モードへの影響を低減する為に、反導波構造の位置は光強度の大きな活性領域から遠い所に設ける事が望ましい。また、請求項4のように、酸素イオン注入と熱処理により反導波構造を設ける場合には、注入する酸素イオンの量を調節する事によって、屈折率の変化を低く抑える事もできる。

10

【0054】

以上のように、請求項4の発明では、水素イオン注入型面発光レーザー素子において、特に効果的に高次横モードの発振を抑制し、単一基本横モード発振において高出力が得られる。

【0055】

また、請求項5記載の発明によれば、請求項3または請求項4に記載の面発光レーザー素子において、レーザー共振方向に垂直な同一面内の酸素を含む分子のイオン注入がなされていない周辺領域に対して、相対的に屈折率の低い領域を形成する前記AlGaAs混晶層にレーザー共振方向に接して、GaAs層またはGaInP混晶層が設けられているので、酸化領域を限定する事ができ、より精密に位相条件を調整する事が可能となる。

20

【0056】

一般にイオン注入では、注入されるイオンは加速電圧に応じ、ある注入深さにピークを有した連続的な分布をとる。例えば、加速電圧を小さくし、注入ピークの位置を浅くすると、急峻な注入プロファイルを得る事ができ、容易に所望の位置のAlGaAs混晶層のみを選択的に酸化する事ができる。しかし、ある程度以上の注入深さにイオン注入を行なう場合には、注入プロファイルの幅が広くなり、選択的に酸化を行ないたいAlGaAs層の前後のAlGaAsにまで酸化が及び、屈折率が変化する不具合が生じる。反導波構造中におけるAlGaAs層の厚さは酸化後の屈折率値において、ブラッグ反射器の多重反射の位相条件を満たすように設ける事が望ましいので、このような予期しない領域の屈折率の変化は、ブラッグ反射器の反射率を低下させてしまうため望ましくない。しかし、請求項5のように、選択的に酸化を行ないたいAlGaAs層を含むブラッグ反射器に隣接して、GaInP混晶層、又はGaAs層、又はGaInP/GaAsによる分布ブラッグ反射器(半導体構造)を設ける事によって、酸化領域を限定する事ができ、より精密に位相条件を調整する事が可能となる。GaInPはGaAs基板に格子整合させて結晶成長を行なう事が可能であり、更にAlを構成元素として含んでいないので、酸素イオン注入がなされていても、殆ど酸化が進行しない。従って、注入イオン幅に分布がある場合でも、特定の領域のAlGaAs層のみ酸化を行なう事が可能である。また、このように、所望の位置のAlGaAsのみを酸化させる事によって、メサ中央部における分布ブラッグ反射器の反射波長(基本横モードに対する反射波長)を精密に制御性良く調整する事が非常に容易になり、発振閾値特性等の素子特性の優れた素子を得る事が可能となる。

30

40

【0057】

また、請求項6記載の発明によれば、請求項3または請求項4に記載の面発光レーザー素子において、レーザー共振方向に垂直な同一面内の酸素を含む分子のイオン注入がなされていない周辺領域に対して、相対的に屈折率の低い領域を形成するAlGaAs混晶層は、共振器構造中において、発振光の定在波の腹に対応する位置に設けられ、且つ、素子を構成する他のAlGaAs混晶層に比べて相対的に高濃度にドーピングされているので、より効果的に高次横モードの発振を抑制し、単一基本横モードにおいて高出力動作が可能な

50

素子を得る事ができる。

【0058】

高濃度にドーピングされた半導体は、自由キャリア吸収等によって、光の吸収が顕著になる。p型半導体では、これに加えて、価電子帯間吸収がある為、特に長波長の光に対して吸収が大きくなるという性質がある。酸素イオン注入と熱処理による選択酸化によって、低屈折率領域を形成するAlGaAs層を結晶成長時に周囲のAlGaAs層に対し高濃度にドーピングしておくこと、この層による自由キャリア吸収または価電子帯間吸収による吸収損失を大きくできる。しかし、酸素イオン注入が行なわれた部位では、熱処理によってAlO_xの絶縁物が形成され、発振波長に対し透明に変化するので、メサの中央部（イオン注入領域）に大きなモード振幅を有する基本横モードに対する吸収損失が無くなり、メサの中心から側面にかけて大きなモード振幅を有する高次横モードに対してのみ吸収が生じる。従って、吸収損失の増加によって、高次横モードの発振を抑制する事が可能となる。

10

【0059】

また、分布ブラッグ反射器内の発振光の定在波は、光学厚さ1/4 毎に電界の節と腹が繰り返される分布となっており、n 共振器では、共振器側から見てAlGaAs（低屈折率層）からGaAs（高屈折率層）へ向かう界面が電界の節となり、逆にGaAsからAlGaAsへ向かう界面が電界の腹となっている。定在波の腹に当たる位置に高濃度にドーピングを行なったAlGaAs層を設け、発振領域の中心に当たる領域のAlGaAs層を、酸素イオン注入、及び熱処理によって選択的に酸化すると、腹の位置における光の電界強度が大きい事に対応して高次横モードに対する吸収量をより増加させる事ができる。よって、より大きな高次横モードの抑制効果を得る事が可能になる。

20

【0062】

また、請求項7記載の発明によれば、請求項1乃至請求項6のいずれか一項に記載の面発光レーザ素子において、前記相対的に屈折率が低い領域が、一对の分布ブラッグ反射器のうちのn型分布ブラッグ反射器中に設けられているので、素子抵抗が低減された、単一基本横モードにおいて高出力動作が可能な素子を得る事ができる。

【0063】

p導電型半導体は、キャリアの移動度がn導電型半導体に比べて一桁程度小さいので、元々高抵抗である。前述の非特許文献4のように、p導電型半導体中に電流狭窄構造による導通領域と重なるように、反導波構造を形成する酸化領域を設けた場合、この領域が高抵抗である事から、正孔は、前記領域を迂回した後、更に電流狭窄構造によって再びメサの中央部へ狭窄されて注入が行なわれる。従って、電流経路が長く、また狭くなってしまう、移動度が小さいp導電型半導体では、高抵抗化しやすいという問題が生じる。

30

【0064】

これに対し、請求項7のように、反導波構造をn導電型分布ブラッグ反射器中に設けると、反導波構造と活性層の間に電流狭窄構造が無い点と、もともと電子の移動度が大きい点から、たとえメサの中央部に絶縁（或いは高抵抗化）領域があっても抵抗の増加は非常に僅かであり、素子抵抗を従来の素子と同程度に留める事が可能である。本発明の素子では、酸素イオン注入と熱処理によりエピ構造内部に反導波構造を形成でき、従来の水蒸気を含む加熱雰囲気中において、表面部から選択酸化を行なった素子と異なり、表面部においてAlO_xが形成されることがない為、結晶の再成長が可能になり、上述の構造を容易に形成する事が可能となる。また、反導波構造は、p導電型分布ブラッグ反射器、n導電型分布ブラッグ反射器のいずれに設けられていても、横モードに対する作用は殆ど同じであるので、同様に高次横モードを抑制する効果を得る事ができる。また、素子抵抗の増加を抑制する事により、発熱も抑えられるので、より高出力の動作が可能となる。

40

【0065】

本発明では、以上の様に、単一基本横モードにおいて、高出力動作が可能な素子を得る事ができる。

【0066】

50

また、請求項 8 記載の発明によれば、レーザ共振方向に垂直な方向に、レーザ共振領域と空間的重なりを有して設けられる前記相対的に屈折率が低い領域を取り囲んで、A 1 の酸化物を含んだ周辺に対して相対的に屈折率が低いクラッド領域を設けた事により、レーザ共振方向に垂直な方向における、光の漏洩（回折）損失を防止し、より高出力までの単一基本横モード発振が可能になる。

【 0 0 6 7 】

すなわち、請求項 8 記載の発明によれば、A 1 の酸化物による反導波構造を有した面発光レーザ素子において、クラッド領域を設ける事により、更に効果的に高次横モード発振が抑制された、単一基本横モードにおいて高出力動作が可能なる素子を提供することができる。

10

【 0 0 6 8 】

また、請求項 9 記載の発明によれば、請求項 8 記載の面発光レーザ素子において、前記クラッド領域により取り囲まれた高屈折率領域の幅に異方性を設けた事により、レーザ共振光の偏光方向が特定の方向に制御され、更に高出力までの単一基本横モード発振が可能となる。

【 0 0 6 9 】

すなわち、請求項 9 記載の発明によれば、A 1 の酸化物による反導波構造を有した面発光レーザ素子において、異形状を有したクラッド領域を設ける事により、更に効果的に高次横モード発振が抑制され、更に偏光方向が特定の方向に制御された、単一基本横モードにおいて高出力動作が可能なる素子を提供することができる。

20

【 0 0 7 0 】

また、請求項 1 0 記載の発明によれば、請求項 8 記載の面発光レーザ素子において、前記クラッド領域が、レーザ共振領域を挟んで対向するレーザ共振方向に垂直な一対の方向にのみ設けられていることにより（すなわち、レーザ共振領域を中心とした領域の外側に設けられた A 1 の酸化物による低屈折率領域すなわちクラッド領域を、前記レーザ共振領域を挟み対向する一対の方向にのみ設ける構成とした事により）、偏光方向が特定の方向に制御され、更に高出力までの単一基本横モード動作が可能となる。

【 0 0 7 1 】

すなわち、請求項 1 0 記載の発明によれば、A 1 の酸化物による反導波構造を有した面発光レーザ素子において、異形状を有したクラッド領域を設ける事により、更に効果的に高次横モード発振が抑制され、更に偏光方向が特定の方向に制御された、単一基本横モードにおいて高出力動作が可能なる素子を提供することができる。

30

【 0 0 7 2 】

また、請求項 1 1 記載の発明によれば、請求項 1 乃至請求項 1 0 のいずれか一項に記載の面発光レーザ素子において、レーザ共振領域と空間的重なりを有して設けられる前記相対的に屈折率が低い領域が、異形状を有していることにより（すなわち、反導波構造を形成するために、レーザ共振領域に空間的重なりを有して設けられる A 1 の酸化物による低屈折率領域の形状を、例えば長形状や楕円形状等の様に異形状とする事によって）、レーザ共振光の偏光が特定の方向に制御され、更に高出力までの単一基本横モード動作が可能となる。

40

【 0 0 7 3 】

すなわち、請求項 1 1 記載の発明によれば、A 1 の酸化物による反導波構造を有した面発光レーザ素子において、反導波構造を形成する為に設けた低屈折率領域を異形状とする事により、更に効果的に高次横モード発振が抑制され、更に偏光方向が特定の方向に制御された、単一基本横モードにおいて高出力動作が可能なる素子を提供することができる。

【 0 0 7 4 】

また、請求項 1 2 記載の発明によれば、請求項 1 乃至請求項 1 1 のいずれか一項に記載の面発光レーザ素子において、活性層は III - V 族元素により構成され、活性層を構成する III 族元素として、Ga, In のうちのいずれか、又は全てを含み、また、V 族元

50

素として、As, N, Sb, Pのうちのいずれか、又は全てを含んでおり、活性層材料として上記の材料を用いる事で、GaAs基板上に1.1μmから1.6μmまでの発振波長を持つ面発光レーザー素子が得られる。GaAs基板上では、特性の優れたAlGaAs混晶による分布ブラッグ反射器を用いる事が可能で、特性の優れた素子が得られる。更に、これらの材料の中でも、GaInAsに数%以下の窒素を微量添加したGaInNAs材料は、GaAs等のバリア層に対し伝導帯バンド不連続量が大きく、従来のInP基板上における同波長帯の素子と比べ良好な温度特性を有している。更に、請求項1乃至請求項12の構成を備えていることによって、高出力まで単一横モード発振が得られるので、特に光ファイバ等に対する結合効率が高い。以上から、光ファイバ通信に好適な面発光レーザー素子を得る効果を有する。

10

【0075】

また、請求項13記載の発明によれば、請求項1乃至請求項12のいずれか一項に記載の面発光レーザー素子がアレイ状に配列されて構成されている事を特徴とする面発光レーザーアレイであるので、単一基本横モードにおいて高出力動作が可能な面発光レーザーアレイを提供することができる。すなわち、請求項13の発明によれば、高出力まで基本横モード発振が可能なビーム品質の良い面発光レーザーアレイを得る事ができる。従って、本発明の面発光レーザーアレイは、電子写真システムのマルチビーム書き込み系や、長距離の光通信システム等の光源として好適である。

【0076】

また、請求項14記載の発明によれば、請求項1乃至請求項12のいずれか一項に記載の面発光レーザー素子、または、請求項13記載の面発光レーザーアレイが光源として用いられている事を特徴とする光インターコネクションシステムであるので、信頼性の高い光インターコネクションシステムを提供する事ができる。

20

【0077】

すなわち、本発明の面発光レーザー素子、面発光レーザーアレイでは、基本横モードで、高出力まで発振が得られるので、光ファイバとの結合が高い。また、高次横モードの発振が抑制されている事から、出力等の素子の動作状態が変化した場合でも、結合率が変化しファイバへの光入力に変化する様な事が非常に少ない。よって、信頼性の高い光インターコネクションシステムを提供する事ができる。

【0078】

また、請求項15記載の発明によれば、請求項1乃至請求項12のいずれか一項に記載の面発光レーザー素子、または、請求項13記載の面発光レーザーアレイが通信光源として用いられている事を特徴とする光通信システムであるので、信頼性の高い光通信システムを提供する事ができる。

30

【0079】

すなわち、本発明の面発光レーザー素子、面発光レーザーアレイでは、基本横モードで、高出力まで発振が得られるので、光ファイバとの結合が高い。また、高次横モードの発振が抑制されている事から、出力等の素子の動作状態が変化した場合でも、結合率が変化しファイバへの光入力に変化する様な事が非常に少ない。また、従来に比べ、高出力が得られるので、長距離の通信が可能である。よって、信頼性の高い光通信システムを提供する事ができる。

40

【0080】

また、請求項16記載の発明によれば、請求項1乃至請求項12のいずれか一項に記載の面発光レーザー素子、または、請求項13記載の面発光レーザーアレイが書き込み用光源として用いられている事を特徴とする電子写真システムであるので、低コスト、高精彩な電子写真システムを提供する事ができる。

【0081】

すなわち、従来の面発光レーザー素子は、出力が小さく、電子写真システムの書き込み用光源として用いる事が難しかったが、本発明の面発光レーザー素子、面発光レーザーアレイでは、基本横モードで、高出力まで発振が得られる。従って、電子写真システムの書き込み

50

用光源として用いる事が可能である。また、面発光レーザ素子を電子写真システムの書き込み用光源として用いると、出射ビームが円形である事から、ビーム成形が容易である。更に、高いアレイ間の位置精度を有している事から、同一のレンズで複数のビームを再現性良く容易に集光する事ができる。よって、光学系が簡単で済み、低コストに高精彩なシステムを得る事ができる。また、本発明の面発光レーザ素子は、出力が大きい事から、特にアレイを用いた場合には高速書き込みが可能である。以上の様に、本発明では、低コスト、高精彩な電子写真システムを提供する事ができる。

【0082】

また、請求項17記載の発明によれば、請求項1乃至請求項12のいずれか一項に記載の面発光レーザ素子、または、請求項13記載の面発光レーザアレイが読み出し/書き込み用光源として用いられている事の特徴とする光ディスクシステムであるので、信頼性に優れた、高速アクセス（高速読み出し及び書き込み）が可能な光ディスクシステムを提供する事ができる。

10

【0083】

すなわち、従来の面発光レーザ素子は、単一基本横モード発振における出力が小さく、光ディスクシステムの光源として用いる事が難しかったが、本発明の面発光レーザ素子、面発光レーザアレイでは、基本横モードで、安定に高出力まで発振が得られる。従って、光ディスクシステムの書き込み用光源として用いる事が可能で、また信頼性の高い光ディスクシステムを構成する事が可能である。また、面発光レーザアレイを用いる事により、高密度読み出し、及び書き込みが可能であり、高速な光ディスクシステムを構成する事が可能である。以上の様に、本発明によれば、信頼性に優れた、高速アクセス（高速読み出し及び書き込み）が可能な光ディスクシステムを提供する事ができる。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0084】

以下、本発明を実施するための最良の形態を説明する。

【0085】

（第1の形態）

本発明の第1の形態は、活性層と、前記活性層の両側に設けられた共振器スペーサー層と、前記活性層への電流注入領域を規定する電流狭窄構造と、前記活性層および共振器スペーサー層を挟み対向する一对の分布ブラッグ反射器とを有し、電流狭窄構造が選択酸化によって形成される面発光レーザ素子において、前記一对の分布ブラッグ反射器は半導体材料により構成され、更に、前記半導体分布ブラッグ反射器中、若しくは共振器スペーサー層中において、前記電流狭窄構造によって規定される電流注入領域とレーザ共振方向に空間的重なりを有する部位に、Alの酸化物を含んだ、周辺に対して相対的に屈折率が低い領域が設けられている事の特徴としている。

30

【0086】

従来技術の面発光レーザ素子では、Alの酸化物の上方に位置する分布ブラッグ反射器を誘電体材料によって形成しているが、誘電体は絶縁物であるので、これを材料に用いた分布ブラッグ反射器では、分布ブラッグ反射器を介して通電を行なう事は出来ない。従って、誘電体分布ブラッグ反射器を用いた面発光レーザ素子は、例えば従来技術の反導波構造を有した面発光レーザ素子の様に、分布ブラッグ反射器、若しくは素子の内部に設けたコンタクト層から活性領域へ電流注入を行なうイントラキャピティコンタクト等の構造とする必要がある。しかし、一般にイントラキャピティコンタクト構造では、電流注入は素子の周辺部から、厚さの薄いコンタクト層を通して行なう構成となる為、素子が高抵抗化し易いという問題がある。この様に、一般に、誘電体分布ブラッグ反射器を用いた素子では、電流注入経路に大きな制約があり、素子が高抵抗化し易いという問題がある。

40

【0087】

これに対して、本発明の第1の形態の構成では、反導波構造を形成する為に設けられる、Alの酸化物による低屈折領域が含まれた分布ブラッグ反射器を半導体材料によって構成しているので、例えば、従来の選択酸化型面発光レーザ素子の様に、素子の最上部に設

50

けたコンタクト層から基板方向に対して電流注入を行う事が可能である。また、素子中央部に Al の酸化物からなる絶縁領域があった場合でも、その周辺部の、比較的面積の広い面積を有した領域を介して電流注入が行なえるので、素子の高抵抗化を防ぐ事ができる。この様に、分布ブラッグ反射器を介した電流注入が可能であり、また素子抵抗への影響が従来の反導波型面発光レーザ素子と比べ小さいので、高い素子の設計の自由度を得る事ができる。

【0088】

また、分布ブラッグ反射器は非常に精密な膜厚の精度が要求されるものであり、綿密な成膜レートの管理が必要とされている。従って、分布ブラッグ反射器の成膜工程を材料・方式の異なる2種の装置によって行なう事は、製造工程を煩雑にすると共に、製造コストを上昇させる原因となる。これに対して、第1の形態の構成では、分布ブラッグ反射器を例えば MOCVD 装置等の、半導体材料の結晶成長装置によって一括して成長する事が可能であり、製造工程を簡略化する事ができる。

10

【0089】

以上の様に、製造コストが低く、素子の設計の自由度が高く、更に素子抵抗の低い、半導波構造を有する選択酸化型面発光レーザ素子を提供することができる。

【0090】

(第2の形態)

本発明の第2の形態は、活性層と、前記活性層の両側に設けられた共振器スペーサー層と、前記活性層への電流注入領域を規定する電流狭窄構造と、前記活性層および共振器スペーサー層を挟み対向する一对の分布ブラッグ反射器とを有し、電流狭窄構造がイオン注入による高抵抗化領域によって形成される面発光レーザ素子において、前記一对の分布ブラッグ反射器は半導体材料により構成され、更に前記半導体分布ブラッグ反射器中、若しくは共振器スペーサー層中において、前記電流狭窄構造によって規定される電流注入領域とレーザ共振方向に空間的重なりを有する部位に、Al の酸化物を含んだ、周辺に対して相対的に屈折率が低い領域が設けられている事を特徴としている。

20

【0091】

第1の形態で説明した様に、従来技術の反導波型面発光レーザ素子では、反導波構造を形成する為に設けられる、Al の酸化物より成る低屈折率領域の上方に位置した分布ブラッグ反射器を、誘電体材料によって形成しているので、誘電体分布ブラッグ反射器の上方からの電流注入が出来ないという制限がある。

30

【0092】

これに対して、第2の形態の面発光レーザ素子は、Al の酸化物による低屈折領域が含まれた分布ブラッグ反射器を半導体材料によって形成しており、通電が可能である。また、従来の水素イオン注入型面発光レーザ素子は、半導体材料による素子部の形成の後、水素イオン注入による高抵抗化領域を形成しており、結晶成長部のエッチング等の加工無しに、非常に簡単に素子が形成できるという利点を有しているが、従来技術の様に、誘電体ミラーを用いた反導波型面発光レーザ素子の構成では、誘電体ミラーの下方に電流注入の為に電極等を形成する必要があるため、このような簡単な構成とする事は困難である。また、誘電体ミラーの下方から電流注入を行う為には、例えば、イントラキャピティコンタクト型の構成とする必要があるため、前述の様に素子が高抵抗化し易いという問題がある。また、従来技術の選択酸化を用いた反導波型面発光レーザ素子の構成から、反導波構造を備えた水素イオン注入型面発光レーザ素子の構成を推察する事は難しい。

40

【0093】

第2の形態の構成では、Al の酸化物を含んだ分布ブラッグ反射器、若しくは共振器スペーサー層を半導体材料により構成しているので、第1の形態の構成・動作の説明と同様に分布ブラッグ反射器の上面からの電流注入が可能であり、従来の水素イオン注入型面発光レーザ素子の様に、非常に簡単な構成により、反導波構造を備えた素子を得る事ができる。また、素子の上面から電流注入が可能であるため、第1の形態と同様に高抵抗化を防止する事ができる。

50

【0094】

以上の様に、素子の設計の自由度が高く、更に素子抵抗の低い、半導波構造を有する水素イオン注入型面発光レーザー素子を提供することができる。

【0095】

(第3の形態)

本発明の第3の形態は、活性層と、前記活性層への電流注入領域を規定する電流狭窄構造と、前記活性層を挟み対向する一対の分布ブラッグ反射器とを有し、電流狭窄構造が選択酸化によって形成される面発光レーザー素子において、前記面発光レーザー素子は、AlGaAs混晶層を含み、該AlGaAs混晶層の一部は、前記電流狭窄構造によって規定される電流注入領域とレーザー共振方向に空間的重なりを有し、前記電流狭窄構造によって規定される電流注入領域とレーザー共振方向に空間的重なりを有するAlGaAs混晶層の部位は、酸素を含む分子の選択的なイオン注入とイオン注入後の熱処理とによって、レーザー共振方向に垂直な同一面内の酸素を含む分子のイオン注入がなされていない周辺領域に対して、相対的に屈折率の低い領域を形成している事の特徴としている。

10

【0096】

第3の形態の構成では、酸素を含む分子のイオン注入が行なわれた領域のAlGaAs混晶は熱処理により酸化し屈折率が周辺領域に比べて低くなり、共振器内部の一部に反導波構造が形成される。この第1の形態のように、従来の水蒸気を含む加熱雰囲気中における選択酸化に代えて、酸素を含む分子のイオン注入と熱処理による選択酸化によって反導波構造を形成する場合、素子構造内部の任意の場所に反導波構造を形成することができる。また、従来のように、酸化の為にAlGaAs層の表面を加熱水蒸気雰囲気中に露呈する必要が無い事から、素子表面に酸化層が形成されないので、再成長が可能となる。従って、素子の設計の自由度が増し、より高次横モードの抑制に優れた素子構造を実現することができる。

20

【0097】

また、共振器構造の中心に部分的に反導波構造を設けると、高次横モードと活性層における利得領域(電流注入領域)の空間的重なりを減少できるので、高次横モードの発振を抑制することができる。図3(a)、(b)には、この様子が示されている。すなわち、図3(a)には反導波構造が無い場合のモード分布が示され、図3(b)には素子の中心部に部分的に反導波構造を設けた場合のモード分布が示されている。なお、図3(a)、(b)の各図の上段は基本横モード分布を示し、下段は1次の高次横モード分布を示している。また、図3(a)、(b)には、電流注入によって生じる利得領域が示されている。

30

【0098】

メサの中心部に大きなモード分布を有する基本横モードは、反導波構造によってモード分布をメサの側面方向へ押し広げる事が困難である。しかし、高次横モードではメサの中心において電界強度が零であり、周辺領域に大きなモード分布を有するので、反導波構造により、モード分布をメサの側面方向に押し広げて、メサ中心部におけるモード分布(電界強度)を容易に低減できる。

【0099】

従って、高次横モードに対する利得は低減し、高出力までの基本横モード動作が可能となる。更に、基本横モードは、高次横モードの様に反導波構造によって、大きく周辺に押し広げられる程の影響は受けないが、図3(b)の様にモードのピーク値が抑圧され、モード中心における電界強度分布がなだらかなものとなる。これによって、利得領域におけるピーク電界強度を低減できるので、空間的ホールバーニングの発生を低減することができる。また、反導波構造によって、高次横モードが十分に利得領域に対して空間的に隔てられているので、電流の狭窄径を従来に比べて大きく設ける事が可能となる。従って、素子抵抗が低減され、更に高出力動作が可能となる。

40

【0100】

(第4の形態)

50

本発明の第4の形態は、活性層と、前記活性層への電流注入領域を規定する電流狭窄構造と、前記活性層を挟み対向する一対の分布ブラッグ反射器とを有し、電流狭窄構造がイオン注入による高抵抗化領域によって形成される面発光レーザ素子において、前記面発光レーザ素子は、AlGaAs混晶層を含み、該AlGaAs混晶層の一部は、前記電流狭窄構造によって規定される電流注入領域とレーザ共振方向に空間的重なりを有し、前記電流狭窄構造によって規定される電流注入領域とレーザ共振方向に空間的重なりを有するAlGaAs混晶層の部位は、酸素を含む分子の選択的なイオン注入とイオン注入後の熱処理とによって、レーザ共振方向に垂直な同一面内の酸素を含む分子のイオン注入がなされていない周辺領域に対して、相対的に屈折率の低い領域を形成している事を特徴としている。

10

【0101】

第4の形態の構成においても、酸素を含む分子のイオン注入が行なわれた領域のAlGaAs混晶層は熱処理により酸化し屈折率が周辺領域に比べて低くなって、共振器内部の一部に反導波構造が形成される。この第4の形態のように、従来の水蒸気を含む加熱雰囲気中における選択酸化に代えて、酸素を含む分子のイオン注入と熱処理による選択酸化によって反導波構造を形成する場合には、素子構造内部の任意の場所に反導波構造を形成することができる。また、従来のように、酸化の為にAlGaAs層の表面を加熱水蒸気雰囲気中に露呈する必要が無い事から、素子表面に酸化層が形成されないため、再成長が可能となる。従って、素子の設計の自由度が増し、より高次横モードの抑制に優れた素子構造を実現することができる。

20

【0102】

更に、イオン注入狭窄型面発光レーザ素子では、作りつけの導波構造を持たないので、反導波構造によって、容易に且つ効果的に、図3(b)に示した様に高次横モードをメサの側面方向に押し広げ、メサ中心部における高次横モードの分布(電界強度)を低減する事ができる。これによって、高次横モードと活性層における利得領域(電流注入領域)の空間的重なりを減少できて、高次横モードの発振を抑制することができる。イオン注入狭窄型面発光レーザ素子では、作りつけの導波構造を持たないので、駆動条件の変化に対し、横モードが不安定で、容易に発振しやすいが、本発明のように反導波構造を設けると、安定に高次横モードを抑制することができる。

【0103】

また、基本横モードは、図3(b)の様にモードのピーク値が抑圧され、モード中心における電界強度分布がなだらかなものとなり、これによって、利得領域におけるピーク電界強度を低減できるので、空間的ホールバーニングの発生を低減することができる。

30

【0104】

(第5の形態)

本発明の第5の形態は、第1乃至第4のいずれかの形態の面発光レーザ素子において、レーザ共振方向に垂直な同一面内の酸素を含む分子のイオン注入がなされていない周辺領域に対して、相対的に屈折率の低い領域を形成する前記AlGaAs混晶層にレーザ共振方向に接して、GaAs層またはGaInP混晶層が設けられている事を特徴としている。

40

【0105】

GaInP, GaAs半導体層は酸素イオン注入がなされても殆ど酸化がなされない。従って、AlGaAs層中における酸素イオン注入のプロファイルが急峻で無い場合等に、注入プロファイルの広がり幅に対応して、第5の形態の構成のように、選択酸化を行なわせたいAlGaAs層と接してGaInP、又はGaAs層、あるいはこれらから成る半導体構造を設ける構成とする事により、所望の領域以外に酸化層が生じる事を防止でき、共振条件の調整が容易になる。

【0106】

(第6の形態)

本発明の第6の形態は、第1乃至第5のいずれかの形態の面発光レーザ素子において、

50

レーザ共振方向に垂直な同一面内の酸素を含む分子のイオン注入がなされていない周辺領域に対して、相対的に屈折率の低い領域を形成する AlGaAs 混晶層は、共振器構造中において、発振光の定在波の腹に対応する位置に設けられ、且つ、素子を構成する他の AlGaAs 混晶層に比べて相対的に高濃度にドーピングされている事の特徴としている。

【0107】

第6の形態の構成とする事により、酸素分子を含むイオン注入がなされ熱処理が行なわれた領域は、酸化によって AlO_x を形成し、基本横モード光に対し透明となる。よって、基本横モードに対する損失が無くなる。また、酸素を含む分子のイオン注入がなされていない領域は、高濃度のドーピングの作用により、前記領域において大きなモード振幅を有する高次横モード光を吸収するので、高次横モードの発振を効果的に抑制する。また、特に共振器内における定在波の腹の位置では、モード分布（電界強度）が大きい為、高次横モード光に対し、より大きな吸収損失が生じ、効果的に高次横モードを抑制することができる。

10

【0108】

（第7の形態）

本発明の第7の形態は、第1乃至第6のいずれかの形態の面発光レーザ素子において、前記相対的に屈折率が低い領域が、複数設けられている事の特徴としている。

【0109】

第7の形態の構成の様に、周辺領域に対し相対的に屈折率の低い領域から成る反導波構造を複数設ける事により、反導波の作用の調整を容易に行なうことができ、設計の自由度を増大させることができる。また、反導波構造を複数にする事によって、大きな反導波作用を得る事ができるので、より効果的に高次横モードを抑制することができる。

20

【0110】

（第8の形態）

本発明の第8の形態は、第1乃至第7のいずれかの形態の面発光レーザ素子において、前記相対的に屈折率が低い領域が、一对の分布ブラッグ反射器のうちのn型分布ブラッグ反射器中に設けられている事の特徴としている。

【0111】

第8の形態の構成では、周辺領域に対し相対的に屈折率の低い領域からなる反導波構造をn型分布ブラッグ反射器中に設ける事により、素子抵抗を増加させる事なく、効果的に高次横モードを抑制することができる。

30

【0112】

（第9の形態）

本発明の第9の形態は、第1乃至第8のいずれかの形態の面発光レーザ素子において、前記レーザ共振領域とレーザ共振方向に空間的重なりを有して設けられた相対的に屈折率が低い領域の周辺に、前記相対的に屈折率が低い領域に対し高屈折率である高屈折率領域が設けられ、更に、前記高屈折率領域の周辺に、前記高屈折率領域に対し低屈折率であるクラッド領域が設けられている事の特徴としている。

【0113】

従来技術の様に、レーザ発振領域に対応する領域に、低屈折率領域を備えた反導波構造面発光レーザ素子では、導波構造の性質上、レーザ発振方向と垂直な方向へのモードの漏洩による（回折）損失が生じやすいという性質があり、閾値電流の増加、出力の低減といった不具合の原因となる。

40

【0114】

これを改善する方法として、例えば、文献「Applied Physics Letters vol. 76, No. 13, 2000, p.p. 1659」には、S-ARROWと呼ばれる面発光レーザ素子の構造が示されている。この従来技術では、基板面に平行な方向に実効屈折率が異なる領域を形成する手段として、エッチングにより膜厚を調整する方法を用いており、レーザ発振領域を中心とした低屈折率領域の周辺を取り囲んで高屈折率領域を設け、更に前記の高屈折率領域を取り囲んだ外側に低屈折率領

50

域を設ける構成が示されている。

【0115】

この様に、レーザ発振領域を中心とした低屈折率領域の周辺に高屈折率領域、及び、低屈折率領域を順次設けた場合、レーザ発振領域を中心とする低屈折率領域と、その周辺に設けられた高屈折率領域とによって、反導波構造が形成される。また、前記の高屈折率領域の周辺に設けた低屈折率領域は、クラッド層と同様に動作し、横モードの閉じ込め作用を有するので、基板面に平行な方向への回折による漏洩損失を低減することができる。

【0116】

また、光は高屈折率領域に閉じ込められ易いので、クラッド層とレーザ発振領域を中心とした低屈折率領域との間に設けた高屈折率領域には、特に高次横モードが集中し易く、利得領域と高次モードとの結合を低減する事ができる。これにより、高次横モードの発振を効果的に抑制する事ができる。

【0117】

これに対して、本発明の第1乃至第8の形態の、反導波構造を形成する為の方法として、レーザ共振領域に空間的に重なりを有して、Alの酸化物より成る低屈折率領域を用いた面発光レーザ素子に対して、第9の形態の構成とすると、Alの酸化物の屈折率が、半導体材料の屈折率に比べ半分程度と小さいので、従来技術に対しより大きな屈折率差を設ける事が可能であり、大きな反導波作用を容易に得る事ができる。従って、高次横モードと利得領域との結合をより低減できるので、高次横モードの発振を更に効果的に抑制できる。

【0118】

また、同様に、クラッド領域をAlの酸化物を含む低屈折率領域によって構成すると、大きな横モードの閉じ込め作用が得られるので、モードの漏洩による損失を大幅に低減できる動作を得る事ができる。また、反導波構造を設ける方法として、第1乃至第6の形態の様に、酸素を含む分子、イオンの注入と熱処理による選択酸化を用いた場合、エッチング等の加工、及び再成長を必要とせずに素子を製造する事ができるので、簡単な工程により素子を製造できる。

【0119】

また、特に水素イオン注入型面発光レーザ素子は、以下の様に、より大きな効果を得る事ができる。つまり、水素イオン注入型面発光レーザ素子は、横モードの閉じ込め構造を持たないので、反導波構造とした場合に、モードの漏洩による損失が大きくなり易いという問題がある。これに対し、第9の形態の面発光レーザ素子の様に、Alの酸化物からなる低屈折率クラッドをレーザ発振領域の外側に設ける事により、モードの漏洩による損失を大幅に低減する事が可能である。

【0120】

また、横モードの閉じ込めを行なうクラッド領域としては、この他にも低屈折率領域、及び高屈折率領域を交互に繰り返し設けてなる周期構造とする事もできる。この様な屈折率の周期構造において、各領域の幅を基本横モード光のレーザ発振方向に垂直な面内における波長の1/4の奇数倍に選ぶ事によって、レーザ共振方向に設けた分布ブラッグ反射器と同様な光閉じ込め構造(共振器)を形成する事が可能であり、繰り返し周期等を適切に選び反射帯域の幅を調整する事により、基本横モード光のみに対して高い光閉じ込め効果を得る事ができる。

【0121】

以上の様に、第9の形態では、レーザ共振方向と垂直な方向へのモード漏洩が低減される事と、より大きな高次横モードの抑制効果が得られる事とにより、更に高出力までの単一基本横モード発振が得られる。

【0122】

(第10の形態)

本発明の第10の形態は、第9の形態の面発光レーザ素子において、前記クラッド領域により取り囲まれた高屈折率領域の幅に異方性を設けた事を特徴としている。

10

20

30

40

50

【 0 1 2 3 】

第 10 の形態では、前記クラッド領域により、レーザ共振方向に垂直な方向に取り囲まれる領域の幅に異方性を設けた事により、レーザ発振光の偏光方向が特定の方向に制御され、更に高出力までの単一基本横モード発振が可能となる。

【 0 1 2 4 】

第 9 の形態で述べた様に、レーザ発振領域を中心とした低屈折率領域の周辺を取り囲んで高屈折率領域及び低屈折率領域を設けると、高屈折率領域の外側に設けた低屈折率領域は、クラッド層として動作し、横モードが閉じ込められるため、モード漏洩による損失を低減できる。また、クラッド層とレーザ発振領域を中心とする低屈折率領域の間に設けた高屈折率領域には、高次横モードが集中し、利得領域と高次横モードとの結合が低減するので、高次横モードの発振を抑制する事が可能となる。

10

【 0 1 2 5 】

また更に、第 10 の形態の様に、低屈折率クラッド領域によって挟まれる領域の幅を、例えば長方形（又は楕円形状）等の様に異方性形状とすると、横方向の閉じ込めに異方性が生じ、横モード分布を、異方性を設けた方向の間で変化させることができる。この際に、低屈折率クラッドで挟まれる領域の幅、クラッド領域、高屈折率領域、及び低屈折率コアの実効屈折率を適切に調整し、特定の方向における基本横モード分布が、利得領域と高い結合を得る様に設定する事で、特定の方向に偏光を有する基本横モードのみを選択的に発振させる事ができる。

【 0 1 2 6 】

尚、高次横モードは、レーザ発振領域における電場振幅が小さいので、反導波構造による影響を強く受け易く、従って反導波構造としている事により、元々利得領域との結合は小さく、発振は十分に抑制する事ができる。

20

【 0 1 2 7 】

以上から、第 10 の形態では、偏光が制御され、高出力まで単一基本横モード動作が可能な素子を提供することができる。

【 0 1 2 8 】

（第 11 の形態）

本発明の第 11 の形態は、第 9 の形態の面発光レーザ素子において、前記クラッド領域が、レーザ共振領域を挟んで対向するレーザ共振方向に垂直な一対の方向にのみ設けられている事を特徴としている。

30

【 0 1 2 9 】

第 11 の形態の面発光レーザ素子では、レーザ発振領域を中心とした領域の外側に設けられた A1 の酸化物による低屈折率領域を、前記レーザ共振領域を挟み対向する一対の方向にのみ設ける構成とした事により、偏光方向が特定の方向に制御され、高出力まで単一基本横モード動作が得られる。

【 0 1 3 0 】

前述の様に、反導波構造では横方向へのモード漏洩による損失が生じ易い傾向がある。また、モードの漏洩損失を低減する為には、第 9 の形態の面発光レーザ素子の様に、低屈折率クラッドを設ける事が効果的である。従って、第 11 の形態の面発光レーザ素子の様に、レーザ発振領域を挟む一対の方向にのみ低屈折率クラッド層を設ける構成とする事によって、低屈折率クラッド領域を設けた方向では、モードの漏洩損失を低くする事ができ、この方向に電場成分（偏光）を有した基本横モードを選択的に発振させる事が可能となる。

40

【 0 1 3 1 】

また、特に水素イオン注入型面発光レーザ素子では、導波構造を有していないので、特にモードの漏洩が生じやすく、低屈折率クラッド領域を設けた方向と、設けていない方向における発振利得の差が大きい。従って、高い偏光比を得る事が可能である。

【 0 1 3 2 】

以上の様に、第 11 の形態では、偏光方向が特定の方向に制御され、且つ単一基本横モ

50

ードにおいて高出力動作が可能な素子を提供することができる。

【 0 1 3 3 】

(第 1 2 の形態)

本発明の第 1 2 の形態は、第 1 乃至第 1 1 のいずれかの形態の面発光レーザ素子において、レーザ共振領域と空間的重なりを有して設けられる前記相対的に屈折率が低い領域が、異方性形状を有している事を特徴としている。

【 0 1 3 4 】

第 1 2 の形態の面発光レーザ素子の様に、レーザ共振領域に空間的重なりを有して設けられる A 1 の酸化物による低屈折率コア領域の形状を、例えば長方形形状や楕円形状等の様に異方性形状とすると、第 1 0 の形態と同様に、横方向の閉じ込めに異方性が生じ、横モード分布を、異方性を設けた方向の間で変化させることができる。この際に、低屈折率コア領域の幅、及び実効屈折率を適切に調整し、特定の方向における基本横モード分布が、利得領域と高い結合を得る様に設定する事で、特定の方向に偏光を有する基本横モードのみを選択的に発振させる事ができる。

10

【 0 1 3 5 】

尚、高次横モードは、レーザ共振領域における電場振幅が小さいので、反導波構造による影響を強く受け易く、従って反導波構造としている事により、元々利得領域との結合は小さく、発振は十分に抑制する事ができる。

【 0 1 3 6 】

以上の様に、第 1 2 の形態では、偏光方向が特定の方向に制御され、且つ単一基本横モードにおいて高出力動作が可能な素子を提供することができる。

20

【 0 1 3 7 】

(第 1 3 の形態)

本発明の第 1 3 の形態は、第 1 乃至第 1 2 のいずれかの形態の面発光レーザ素子において、活性層は I I I - V 族元素により構成され、活性層を構成する I I I 族元素として、Ga, In のうちのいずれか、又は全てを含み、また、V 族元素として、As, N, Sb, P のうちのいずれか、又は全てを含んでいる事を特徴としている。

【 0 1 3 8 】

第 1 3 の形態の構成とする事によって、特に、温度特性にすぐれた、光通信光源に最適な素子が得られる。

30

【 0 1 3 9 】

(第 1 4 の形態)

本発明の第 1 4 の形態は、第 1 乃至第 1 3 のいずれかの形態の面発光レーザ素子がアレイ状に配列されて構成されている事を特徴とする面発光レーザアレイである。

【 0 1 4 0 】

この第 1 4 の形態の面発光レーザアレイは、単一基本横モードで高出力まで発振が可能な面発光レーザアレイとして動作する。

【 0 1 4 1 】

(第 1 5 の形態)

本発明の第 1 5 の形態は、第 1 乃至第 1 3 のいずれかの形態の面発光レーザ素子、または、第 1 4 の形態の面発光レーザアレイが光源として用いられている事を特徴とする光インターコネクションシステムである。

40

【 0 1 4 2 】

第 1 乃至第 1 3 の形態の面発光レーザ素子、第 1 4 の形態の面発光レーザアレイは、単一基本横モードで、高出力まで発振が得られ、光ファイバとの結合が高く、素子の動作状態の変化に対しても横モードが安定しているので、これが光源として用いられた光インターコネクションシステムは信頼性の高いものとなる。

【 0 1 4 3 】

(第 1 6 の形態)

本発明の第 1 6 の形態は、第 1 乃至第 1 3 のいずれかの形態の面発光レーザ素子、また

50

は、第14の形態の面発光レーザアレイが通信光源として用いられている事を特徴とする光通信システムである。

【0144】

第1乃至第13の形態の面発光レーザ素子、第14の形態の面発光レーザアレイは、単一基本横モードで、高出力まで発振が得られ、光ファイバとの結合が高く、素子の動作状態の変化に対しても横モードが安定しているため、これが通信光源として用いられた光通信システムは信頼性の高いものとなる。また、基本横モード出力が高いことから、遠距離通信が可能な光通信システムとなる。

【0145】

(第17の形態)

本発明の第17の形態は、第1乃至第13のいずれかの形態の面発光レーザ素子、または、第14の形態の面発光レーザアレイが書き込み用光源として用いられている事を特徴とする電子写真システムである。

【0146】

第1乃至第13の形態の面発光レーザ素子、第14の形態の面発光レーザアレイは、単一基本横モードで、高出力まで発振が得られる。また、出射ビームが円形であり、高いアレイ間の位置精度を有していることから、同一のレンズで複数のビームを再現性良く容易に集光できるので、光学系が簡単で済み、低コストな電子写真システムを構成できる。また、基本横モードで高出力が得られるため、アレイを用いた場合、特に高速書き込みが可能であり、高速な電子写真システムを構成できる。

【0147】

(第18の形態)

本発明の第18の形態は、第1乃至第13のいずれかの形態の面発光レーザ素子、または、第14の形態の面発光レーザアレイが読み出し/書き込み用光源として用いられている事を特徴とする光ディスクシステムである。

【0148】

第1乃至第13の形態の面発光レーザ素子、第14の形態の面発光レーザアレイは、単一基本横モードで、高出力まで発振が得られ、更に射出ビームが円形であることから、信頼性の高い光ディスクシステムを構成できる。また、特にアレイを用いた場合、高密度の読み出し/書き込みが可能であり、高速な光ディスクシステムを構成できる。

【実施例1】

【0149】

図1は実施例1の面発光レーザ素子を示す図である。図1の面発光レーザ素子は、GaAs/Al_{0.15}Ga_{0.85}As多重量子井戸構造を活性層とする0.85μm帯面発光レーザ素子である。以下、その構造を製造工程に従い説明する。

【0150】

図1の面発光レーザ素子は、有機金属気相成長法(MOCVD法)により結晶成長がなされており、III族原料に、トリメチルアルミニウム(TMA)、トリメチルガリウム(TMGa)、トリメチルインジウム(TMI)を用い、V族原料に、アルシン(AsH₃)ガスを用いている。また、p型ドーパントにはCBr₄を用い、n型ドーパントにはH₂Seを用いている。

【0151】

具体的に、図1の素子は、n-GaAs基板101上に、n-GaAsバッファ層102、n-Al_{0.9}Ga_{0.1}As/Al_{0.15}Ga_{0.85}Asの対を1周期とした36周期のn-Al_{0.9}Ga_{0.1}As/Al_{0.15}Ga_{0.85}As下部半導体分布ブラッグ反射器103、ノンドープAl_{0.15}Ga_{0.85}As共振器スペーサー104、GaAs/Al_{0.15}Ga_{0.85}As多重量子井戸活性層105、ノンドープAl_{0.15}Ga_{0.85}As共振器スペーサー106、20周期のp-Al_{0.9}Ga_{0.1}As/Al_{0.15}Ga_{0.85}As上部半導体分布ブラッグ反射器107が順次結晶成長されている。また、上部分布ブラッグ反射器107の最表面層となるAl₀

10

20

30

40

50

$\text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ 層では、表面付近のp型ドーパント（炭素）のドーピングを高濃度としたコンタクト層（図示せず）を設けている。また、 $\text{p-Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As} / \text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ 上部半導体分布ブラッグ反射器107中には、電流狭窄の為に p-AlAs 被選択酸化層108を設けている。ここで、 p-AlAs 被選択酸化層108は、水蒸気を含む加熱雰囲気中において、エッチング端面から選択酸化を行なう事によって、酸化が成された酸化領域（黒く示した領域；以降の実施例についても同様）と、酸化が成されていない領域とが形成される。

【0152】

図1の面発光レーザ素子は、結晶成長の後、公知の写真製版技術によって一辺が $30\mu\text{m}$ の正方形レジストパターンを形成し、公知のドライエッチング技術を用いて $\text{p-Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As} / \text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ 上部半導体分布ブラッグ反射器107の表面から $\text{n-Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As} / \text{Al}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}$ 下部分布半導体ブラッグ反射器103の途中までの各層のエッチング除去を行なって、正方形メサを形成している。

【0153】

次に、メサの中心部にアラインして、同じく正方形のレジスト開口パターンを形成し、メサの中心部への酸素分子のイオン注入を行っている。図では酸素イオン注入領域113として示されている。次に、レジストの除去を行った後、水蒸気を含む加熱雰囲気中において、エッチング端面からメサ中央部に向けて、基板と平行方向に p-AlAs 被選択酸化層108の選択酸化を行なって選択酸化電流狭窄構造を形成している。また、この水蒸気を含む加熱雰囲気中における選択酸化工程の熱処理によって、酸素イオン注入領域113においては、 $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 混晶の酸化が同時に進行し、メサの中央部に周囲の領域に比べ屈折率が相対的に低い、酸素イオン注入による選択酸化領域が形成されている。ここで、酸素イオン注入領域の一辺の長さを $15\mu\text{m}$ 、電流狭窄領域の一辺の長さを $10\mu\text{m}$ としている。

【0154】

次に、気相化学堆積法（CVD法）を用いて、ウエハ全面に SiO_2 層109を形成した後、メサの中央部にアラインして、絶縁樹脂110のスピンコートを行い、メサ上の絶縁樹脂の除去を行っている。次に、絶縁樹脂除去部の SiO_2 層109の除去を行い、メサ上の光出射部となる領域に $10\mu\text{m}$ の方形レジストパターンを形成し、p型電極材料の蒸着を行なっている。次に、出射部の電極材料をリフトオフにより除去し、p側電極111を形成している。次に、 n-GaAs 基板101の裏面研磨の後、基板101の裏面に蒸着によってn側電極112を設け、アニールによって両電極111、112のオーミック導通を取っている。

【0155】

図2は、図1において酸素イオン注入が行なわれている領域113の一部を詳細に示す図である。酸素イオン注入が行なわれた領域に位置する $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 混晶は、酸素イオン注入後の熱処理によって、Al原子と反応して酸化し、周囲の $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 混晶に対し相対的に屈折率の低い領域（黒く示した領域）を形成し、共振器中に反導波構造を形成している。尚、 AlGaAs 混晶は、Al組成の大きなもの程酸化が進行しやすく、本素子のGaAs層は殆ど酸化がなされていない。また、メサ中央部の反導波構造を形成する為の酸化構造は、周辺領域に比べて相対的に屈折率が低くなっていれば良いので、 AlGaAs 混晶が必ずしも完全に酸化されている必要はない。従って、換言すると、設計に対し所望の屈折率変化が得られる様に、酸素イオンの注入量を調整する事ができる。

【0156】

ここで、酸素イオン注入が行なわれた AlGaAs 混晶は、熱処理後の屈折率と、膜厚をもって、分布ブラッグ反射器の多重反射の位相条件が満たされる様に、予め膜厚が選ばれている。つまり、イオン注入、熱処理によって屈折率が相対的に低くなった領域は、分布ブラッグ反射器の低屈折率層として形成されている。従って、イオン注入がなされたp

10

20

30

40

50

- $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ は、これの上下に位置する $p-Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 層とは厚さが異なり、屈折率の変化分を考慮し他の領域における $p-Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ と比べ厚く形成されている。尚、酸素イオン注入領域も含め、分布ブラッグ反射器の膜厚は、ブラッグ反射器の多重反射の位相条件を満たす様に、それぞれ層における発振光の位相変化が $\pi/2$ となる層厚としている。

【0157】

この様に、イオン注入領域の $AlGaAs$ 混晶の厚さを設定し、酸化後の屈折率に対しブラッグ反射の共振条件が満たされる様にすることで、メサ中心部（イオン注入がなされた部位）では共振波長に対し、高い反射率が得られ、逆にイオン注入がなされなかったメサの中心から側面部にかけては、位相条件が崩れる事により反射率を低下させる事が可能である。従って、反射率が低下した領域に大きなモード振幅を有する高次モードは、反射鏡損失が増大し、発振を抑制する効果も得る事ができる。

10

【0158】

図1の面発光レーザー素子は、 $AlGaAs$ 混晶への酸素イオン注入と熱処理によって設けた低屈折領域からなる反導波構造により、図3(b)に示す様に、高次横モード分布がメサの周辺部へ押しやられ、同図において模式的に示した電流注入径によって決まる利得領域との重なりが少なくなり、また更にメサの周辺部でブラッグ反射器の反射率が低下する事により、高次横モードの発振が抑制され、従来の素子に比べて高出力まで単一基本横モード発振を得る事ができた。

【実施例2】

20

【0159】

図4、図5は実施例2の面発光レーザー素子を説明するための図である。図4を参照すると、実施例2では、図1の面発光レーザー素子において、 p 型分布ブラッグ反射器107の途中までが、実施例1の素子と同様の方法によって結晶成長されている。実施例2では、 p 型分布ブラッグ反射器107の途中までの結晶成長を行なった後、素子の結晶成長を一旦中断し、先に実施例1と同様にメサの中央部となる領域に酸素を含む分子のイオン注入を行なった後、注入による結晶欠陥を回復させる為に、熱処理を行ない、残りの素子部を再成長によって設けている。この際、結晶欠陥を回復させる為に行なった熱処理、及び残る素子部分の結晶成長時の加熱により、酸素がイオン注入された領域113は、選択的に酸化され、周辺領域に対し低屈折率となり、反導波構造が形成されている。

30

【0160】

このような作製手順とする事によって、酸素イオン注入を行なう深さを浅く出来るので、非常に制御性良く、急峻な注入プロファイルを得る事が可能である。従って、熱処理によって屈折率が変化する領域を成長方向に精度良く限定する事が可能であり、分布ブラッグ反射器における多重反射の位相条件の調整が非常に容易になる。

【0161】

更に、図5に示す様に $Al_{0.9}Ga_{0.1}As / Al_{0.15}Ga_{0.85}As$ よりなる分布ブラッグ反射器の前後に $Ga_{0.5}In_{0.5}P / Al_{0.15}Ga_{0.85}As$ による分布ブラッグ反射器を設ける事によって、より精密に位相条件を調整する事が可能である。図5では、1ペアの $Al_{0.9}Ga_{0.1}As / Al_{0.15}Ga_{0.85}As$ 分布ブラッグ反射器に接して $Ga_{0.5}In_{0.5}P / Al_{0.15}Ga_{0.85}As$ よりなる分布ブラッグ反射器を設けた例を示している。つまり、 $Ga_{0.5}In_{0.5}P$ は、 $GaAs$ 基板に格子整合させて結晶成長を行なう事が可能であり、更に Al を構成元素として含んでいないので、酸素イオン注入がなされていても、殆ど酸化が進行しない。従って、注入イオン幅に分布がある場合でも、特定の領域の $AlGaAs$ 層のみ酸化を行なう事が可能である。また、このように、所望の位置の $AlGaAs$ のみを酸化させる事によって、メサ中央部における分布ブラッグ反射器の反射波長（基本横モードに対する反射波長）を精密に制御性良く調整する事が容易になる。

40

【0162】

また、上述した様に、この実施例2では、図4の様に、上部分布ブラッグ反射器の成長

50

中断を行なって、先に酸素イオン注入を行なった場合には、急峻な酸素原子の注入プロファイルが得る事が可能であり、更に、図5の様に $Ga_{0.5}In_{0.5}P/Al_{0.15}Ga_{0.85}As$ 分布ブラッグ反射器を設ける事によって、より精密にイオン注入によって選択酸化がなされる領域を制御する事ができる。また、イオン注入プロファイルが急峻である為、酸化を防止する為に設ける $Ga_{0.5}In_{0.5}P/Al_{0.15}Ga_{0.85}As$ 分布ブラッグ反射器の層数を少なくできるので、反射率への影響を最小限に留める事ができる。

【0163】

このようにして作製された実施例2の面発光レーザ素子は、実施例1の素子と同様に、 $AlGaAs$ 混晶への酸素イオン注入と熱処理による選択酸化によって設けた反導波構造により、図3(b)に示す様に、高次横モードの分布がメサの周辺部へ押しやられ、同図に模式的に示した電流注入径によって決まる利得領域との重なりが少なくなり、また更にメサの周辺部でブラッグ反射器の反射率が低下し、高次横モードの発振が抑制され、従来の素子に比べて高出力まで単一基本横モード発振を得る事ができる。また、更に分布ブラッグ反射器の反射条件を制御性良く調整する事ができる為、発振閾値特性等の特性の優れた素子が得られる。

【実施例3】

【0164】

図6は実施例3の面発光レーザ素子を説明するための図である。図6を参照すると、実施例3では、図1の面発光レーザ素子における反導波構造113の周り領域が、別の構成のものとなっている。

【0165】

すなわち、図6では、酸素を含む分子のイオン注入と熱処理とによる選択酸化において、低屈折率領域を形成する為に設けた $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 混晶を、他の領域における $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 混晶に比べてドーピング密度が高くなる様にして、結晶成長を行なっている。その他の素子作製手順・方法については実施例1の素子と同様である。

【0166】

高濃度にドーピングされた半導体は、自由キャリア吸収等によって光の吸収が顕著になる。特にp型半導体では、これに加えて価電子帯間吸収がある為、特に長波長の光に対して吸収が大きくなるという性質がある。

【0167】

従って、この実施例3の様に、イオン注入、熱処理による酸化によって、低屈折率領域を形成する $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 層を結晶成長時に高濃度にドーピングしておくこと、p-DBRの直列抵抗が低減する事に加えて、反導波構造部における自由キャリア吸収、又は価電子帯間吸収による吸収損失は大きくなる。しかし、酸素イオン注入が行なわれた部位では、 AlO_x による絶縁物が形成され、発振波長に対し透明に変化するので、メサの中央部(イオン注入領域)に大きなモード振幅を有する基本横モードに対する吸収損失が無くなり、メサの中心から側面にかけて大きなモード振幅を有する高次横モードに対してのみ吸収が生じる。従って、吸収損失の増加によって、高次横モードの発振を抑制する事が可能となる。

【0168】

また、図7の構成とする事によって、更に高次横モードの吸収効果を大きくする事が可能である。ここで、図7は、実施例1における面発光レーザ素子の酸素イオン注入領域113の別の構成例を示したものであり、図6と同様に高濃度にp導電型ドーピングが施された $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 層が設けられている。図6と異なるのは、3/4厚さの $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 層が設けられている点である。分布ブラッグ反射器内の発振光の定在波は、1/4厚さ毎に(位相で表現すると1/2毎に)電界の節と腹が繰り返される分布となっている。n共振器では、共振器側から見て $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ から $Al_{0.15}Ga_{0.85}As$ へ向かう界面が電界の節となり、逆に $Al_{0.15}Ga_{0.85}As$ から $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ へ向かう界面が電界の腹となっている。従って

10

20

30

40

50

、図7の様に、 $3/4$ 厚さの $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 層を設けると、 $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 層中に定在波の腹が含まれる事になる。図7においては、矢印で示した場所が定在波の腹の位置に対応している。この定在波の腹に当たる位置では、光の電界強度が強くなる事に対応し、高濃度にドーピングを行なった $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 層による吸収量が増加する。従って、上で説明した様に、高次横モードに対する吸収損失を更に大きくする事ができる。よって、より大きな高次横モードの抑制効果を得る事が可能になる。

【0169】

この実施例3の様に、酸素を含む分子のイオン注入と熱処理による選択酸化によって低屈折率領域より成る反導波構造を形成する $AlGaAs$ 層を、結晶成長時に他の領域における $AlGaAs$ 層に対し高濃度にドーピングすると、低屈折率領域の周辺に、高次横モード光に対する吸収領域を形成する事ができる。以上の様に、この実施例3の素子は、更に高出力まで、単一基本横モード発振を得る事が可能であった。

【実施例4】

【0170】

図8は実施例4の面発光レーザ素子を示す図である。図8の面発光レーザ素子は、 $GaInNAs/GaAs$ 多重量子井戸構造を活性層とする $1.3\mu m$ 帯面発光レーザ素子である。以下、その構造を製造工程に従い説明する。

【0171】

図8の面発光レーザ素子は、実施例1の素子と同様に、有機金属気相成長法(MOCVD法)により結晶成長がなされており、III族原料に、トリメチルアルミニウム(TMA)、トリメチルガリウム(TMg)、トリメチルインジウム(TMI)を用い、V族原料に、アルシン(AsH_3)ガスを用いている。また、p型ドーパントには CBr_4 を用い、n型ドーパントには H_2Se を用いている。また、活性層の窒素原料にはジメチルヒドラジン(DMH_y)を用いている。

【0172】

具体的に、図8の素子は、n- $GaAs$ 基板201上に、n- $GaAs$ バッファ層202、n- $Al_{0.9}Ga_{0.1}As/GaAs$ の対を1周期とした36周期のn- $Al_{0.9}Ga_{0.1}As/GaAs$ 下部半導体分布ブラッグ反射器203、ノンドープ $GaAs$ 共振器スペーサー204、 $GaInNAs/GaAs$ 多重量子井戸活性層205、ノンドープ $GaAs$ 共振器スペーサー206、20周期のp- $Al_{0.9}Ga_{0.1}As/GaAs$ 上部半導体分布ブラッグ反射器207が順次結晶成長されている。また、上部分布ブラッグ反射器207の最表面層となる $GaAs$ 層では、表面付近のp型ドーパント(炭素)のドーピングを高濃度としたコンタクト層(図示せず)を設けている。また、p- $Al_{0.9}Ga_{0.1}As/GaAs$ 上部半導体分布ブラッグ反射器207中には、p- $AlAs$ 被選択酸化層208を設けている。

【0173】

図8の素子は、n導電型分布ブラッグ反射器の結晶成長の途中で、成長中断を行って、実施例2の素子と同様に、先にメサの中央部に酸素イオン注入を行なった後、結晶欠陥の回復の為にアニール処理を行い、再び残りの素子の結晶成長を行なっている。この際、結晶欠陥を回復させる為に行なった熱処理、及び残る素子部分の結晶成長時の加熱により、酸素がイオン注入された領域213は、選択的に酸化され周辺領域に対し低屈折率となり、反導波構造が形成されている。

【0174】

その後、実施例1の素子と同様の手段・方法によってメサ形成、p- $AlAs$ 被選択酸化層208の水蒸気を含む加熱雰囲気中における選択酸化を行い、樹脂による埋め込み平坦化、電極形成を行って図8の様な面発光レーザ素子としている。

【0175】

ここで、実施例4の面発光レーザ素子は、イオン注入、熱処理によって形成される低屈折率層による反導波構造213が、n型分布ブラッグ反射器中に設けられている点が、実施例1乃至実施例3と大きく異なっている。また、反導波構造の周辺の層構成については

、導電型をn型とする事によって、実施例1乃至実施例3で説明したいずれかの構造を用いる事ができる。この実施例4の素子の様に、反導波構造をn導電型分布ブラッグ反射器中に設ける事によって、実施例1乃至実施例3と同様に高次横モードを効率良く抑制する事が可能な事に加え、素子の抵抗を大きく低減する事が可能になる。

【0176】

p導電型半導体中に電流注入領域と空間的に重なる様に反導波構造を設けると、この領域が高抵抗である事から、正孔は、前記領域を迂回した後、更に電流狭窄構造によって再びメサの中央部へ狭窄されて注入が行なわれるので、電流経路は長く、また狭くなってしまふという問題がある。p導電型半導体は、キャリア(正孔)の移動度がn導電型半導体に比べ桁程度小さいので、これにより、素子が高抵抗化しやすいという問題が生じる。

10

【0177】

これに対し、この実施例4の様に、反導波構造をn導電型分布ブラッグ反射器中に設けると、反導波構造と活性層の間に電流狭窄構造が無い点と、もともと電子の移動度が大きい点とから、たとえメサの中央部に絶縁(或いは高抵抗化)領域があったとしても抵抗の増加は非常に僅かであり、素子抵抗を従来の素子と同程度に留める事が可能である。また、反導波構造は、p導電型分布ブラッグ反射器、n導電型分布ブラッグ反射器のいずれに設けられていても、横モードに対する作用は、殆ど同じであるので、実施例1、実施例2と同様の効果を得る事ができる。

【0178】

この実施例4の素子では、実施例1乃至実施例3と同様に、高出力まで単一基本横モード動作が可能であり、また素子抵抗は十分低いものであった。また、素子の抵抗が低減した事によって、より高出力動作を得る事が可能であった。

20

【実施例5】

【0179】

図9は実施例5の面発光レーザ素子を示す図である。図9の面発光レーザ素子は、GaInNAs/GaAs多重量子井戸構造を活性層とする1.3 μ m帯面発光レーザ素子である。以下、その構造を製造工程に従い説明する。

【0180】

図9の面発光レーザ素子は、実施例4と同様な方法・手段によって結晶成長がなされている。

30

【0181】

具体的に、図9の素子は、n-GaAs基板301上に、n-GaAsバッファ層302、n-Al_{0.9}Ga_{0.1}As/GaAsの対を1周期とした36周期のn-Al_{0.9}Ga_{0.1}As/GaAs下部半導体分布ブラッグ反射器303、ノンドープGaAs共振器スペーサー304、GaInNAs/GaAs多重量子井戸活性層305、ノンドープGaAs共振器スペーサー306、20周期のp-Al_{0.9}Ga_{0.1}As/GaAs上部半導体分布ブラッグ反射器307が順次結晶成長されている。また、上部分布ブラッグ反射器307の最表面層となるGaAs層では、表面付近のp型ドーパント(炭素)のドーピングを高濃度としたコンタクト層(図示せず)を設けている。

【0182】

40

図9の面発光レーザ素子は、結晶成長の後、公知の写真製版技術によって一辺が3 μ mの正方形レジスト開口パターンを形成し、p-Al_{0.9}Ga_{0.1}As/GaAs上部半導体分布ブラッグ反射器307の表面から酸素イオン注入を行なっている。次に、熱処理によって酸素イオン注入部の選択酸化を行って、低屈折率領域313からなる反導波構造を設けている。図9には、基板面に平行な方向における実効屈折率を併せて示しており、低屈折率領域を設けた部位では、実効屈折率が相対的に小さく形成されている。この後、再び酸素イオン注入部にアラインして、10 μ mのレジストパターンを形成し、酸素イオン注入部より注入ピークが深くなるように水素イオン注入を行ない、水素イオン注入部の高抵抗化を行なっている。なお、ここで、水素イオンの代わりに、酸素イオン注入を行なっても、高抵抗化領域を形成する事ができる。

50

【0183】

次に、素子表面にp型電極311を形成し、基板301の裏面研磨の後、基板301の裏面にn型電極312を形成し、アニールによってオーミック導通をとって、図9の面発光レーザ素子としている。

【0184】

ここで、図9の様な水素イオン注入による電流狭窄構造を用いた面発光レーザ素子では、水素イオン注入部の屈折率変化が殆ど無く、作り付けの光閉じ込め構造(導波構造)を持たないので、反導波構造のモード分布に対する作用は、酸化狭窄型面発光レーザ素子よりも大きい。従って、非常に効率良く、高次横モードを利得領域の外側へ押し広げる事が可能であり、顕著に高次横モードの抑制効果を得る事ができる。また、この実施例5の素子では、基本横モードへの影響が大きくなり過ぎないように、酸素イオン注入領域は活性層から離れた素子表面に近い位置とし、酸素イオン注入領域の幅を3 μ m程度と狭くしている。

10

【0185】

また、p導電型ブラッグ反射器307の高抵抗化を防止する為に、酸素イオン注入領域と水素イオン注入領域とが重ならない様に、水素イオンの注入電圧を十分大きくし、注入深さを深くしている。この実施例5の素子では、非常に高出力まで単一基本横モード動作が可能であった。

【0186】

また、図10は、図9の面発光レーザ素子に対し、実施例4と同様に、反導波構造313をn型分布ブラッグ反射器303中に設けた例を示す図である。すなわち、図10の例は、実施例4と同様に、n型分布ブラッグ反射器303の結晶成長の途中で一旦成長中断を行い、酸素を含む分子のイオン注入と、熱処理により、酸素イオン注入領域313の選択酸化を行なった後に、残りの素子部の結晶成長を行なったものである。図10の素子は、図9の素子と同様に非常に大きな高次横モード抑制効果を有する上に、n型分布ブラッグ反射器中に反導波構造を設けている為、実施例4と同様に素子の抵抗を低減することができる。

20

【0187】

実際、この実施例5の素子では、非常に高出力まで単一基本横モード動作が可能であり、また素子抵抗は十分低いものであった。また、素子の抵抗が低減した事によって、より高出力動作を得る事が可能であった。

30

【実施例6】

【0188】

図11(a)、(b)は実施例6の面発光レーザ素子を示す図である。なお、図11(b)は、図11(a)の面発光レーザ素子の上面図を示す図である。図11(a)、(b)の面発光レーザ素子は、GaInNAs/GaAs多重量子井戸構造を活性層とする1.3 μ m帯面発光レーザ素子である。以下、その構造を製造工程に従い説明する。

【0189】

図11(a)、(b)の面発光レーザ素子は、実施例4と同様な方法・手段によって結晶成長がなされている。具体的に、図11(a)、(b)の素子は、n-GaAs基板301上に、n-GaAsバッファ層302、n-Al_{0.9}Ga_{0.1}As/GaAsの対を1周期とした36周期のn-Al_{0.9}Ga_{0.1}As/GaAs下部半導体分布ブラッグ反射器303、ノンドープGaAs共振器スペーサー304、GaInNAs/GaAs多重量子井戸活性層305、ノンドープGaAs共振器スペーサー306、20周期のp-Al_{0.9}Ga_{0.1}As/GaAs上部半導体分布ブラッグ反射器307が順次結晶成長されている。また、上部分布ブラッグ反射器307の最表面層となるGaAs層では、表面付近のp型ドーパント(炭素)のドーピングを高濃度としたコンタクト層(図示せず)を設けている。

40

【0190】

図11(a)、(b)の面発光レーザ素子は、結晶成長の後、公知の写真製版技術を用

50

い、図11(b)の低屈折率領域1, 2に対応した部分に開口を有する正方形のレジストパターンの形成を行った後、 $p\text{-Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}/\text{GaAs}$ 上部半導体分布ブラッグ反射器307の表面から酸素イオン注入を行なっている。次に、熱処理によって酸素イオン注入部の選択酸化を行い、素子の中央部に反導波構造を形成するための低屈折率領域1と、素子の周辺部に横モードを閉じ込めを行うための低屈折率領域2(クラッド領域)を形成している。ここで、低屈折率領域1に対応した領域のレジストパターンの開口 d_1 を $5\mu\text{m}$ 、低屈折率領域2に対応した領域のレジストパターンの開口 d_2 を $30\mu\text{m}$ としている。また、図11(a)には、基板面に平行な方向における実効屈折率を併せて示しており、低屈折率領域を設けた部位では、実効屈折率が相対的に小さく形成されている。本実施例では、素子の中央部に位置する低屈折率コアの両側に高屈折率領域が形成

10

【0191】

この後、再び酸素イオン注入部にアラインして、正方形のレジストパターンを形成し、酸素イオン注入部より注入ピークが深くなるように水素イオン注入を行ない、水素イオン注入部の高抵抗化を行なっている。レジストパターンの一辺 d_3 は $8\mu\text{m}$ とした。なお、ここで、水素イオンの代わりに、酸素イオン注入を行なっても、高抵抗化領域を形成する事ができる。

【0192】

次に、素子表面にp型電極311を形成し、基板301の裏面研磨の後、基板301の裏面にn型電極312を形成し、アニールによってオーミック導通をとって、図11(a)

20

【0193】

従来、水素イオン注入による電流狭窄構造を用いた面発光レーザー素子では、水素イオン注入部の屈折率変化が殆ど無く、作り付けの光閉じ込め構造(導波構造)を持たないので、酸化型面発光レーザー素子よりも反導波構造による作用が大きい。従って、モード分布を素子の周辺部に押し広げる効果を大きく得ることが可能である。しかし、この反面、横方向へのモード漏洩が起こりやすく、損失が大きくなり易いという問題がある。これに対し本実施例の面発光レーザー素子では、素子の周辺部に低屈折率領域からなるクラッドを設けた事により、横モードが閉じ込められるので、モード漏洩による損失を低減する事が可能

30

【0194】

また、低屈折率領域1, 2における実効屈折率は、Alの酸化領域の厚さ及び深さにより調整することができる。更に、低屈折率領域1, 2に対応する部位への酸素イオン注入は、それぞれの領域に対し、異なった加速電圧、イオン電流によって2工程に分けて行う事もできる。また、各部の寸法も本実施例に示す以外の値とする事ができる。基本横モードと利得領域との結合が大きく、且つ高次横モードと利得領域との結合が低くなるように、各部の寸法、イオン注入条件を最適に選ぶ事で、より大きな効果を得ることができる。

【0195】

以上から、本実施例の素子は、より高出力までの単一基本横モード動作が可能であった。

40

【実施例7】

【0196】

図12(a), (b)は実施例7の面発光レーザー素子を示す図である。なお、図12(b)は、図12(a)の面発光レーザー素子の上面図を示す図である。図12(a), (b)の面発光レーザー素子は、 $\text{GaInAs}/\text{GaAs}$ 多重量子井戸構造を活性層とする $0.98\mu\text{m}$ 帯面発光レーザー素子である。以下、その構造を製造工程に従い説明する。図12(a), (b)の面発光レーザー素子は、実施例4と同様な方法・手段によって結晶成長がなされている。

【0197】

具体的に、図12(a), (b)の素子は、 $n\text{-GaAs}$ 基板401上に、 $n\text{-GaA}$

50

s バッファ層 402、 $n\text{-Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}/\text{GaAs}$ の対を 1 周期とした 3 6 周期の $n\text{-Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}/\text{GaAs}$ 下部半導体分布ブラッグ反射器 403、ノンドープ GaAs 共振器スペーサー 404、 $\text{GaInAs}/\text{GaAs}$ 多重量子井戸活性層 405、ノンドープ GaAs 共振器スペーサー 406、20 周期の $p\text{-Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}/\text{GaAs}$ 上部半導体分布ブラッグ反射器 407 が順次結晶成長されている。また、上部分布ブラッグ反射器 407 の最表面層となる GaAs 層では、表面付近の p 型ドーパント（炭素）のドーピングを高濃度としたコンタクト層（図示せず）を設けている。

【0198】

図 12 (a), (b) の面発光レーザー素子は、結晶成長の後、公知の写真製版技術を用い、図 12 (b) の低屈折率領域 1 に対応した部分に開口を有する正方形のレジストパターン、及び低屈折率領域 2 に対応した部分に開口を有する長方形のレジストパターンの形成を行った後、 $p\text{-Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}/\text{GaAs}$ 上部半導体分布ブラッグ反射器 407 の表面から酸素イオン注入を行なっている。次に、熱処理によって酸素イオン注入部の選択酸化を行い、素子の中央部に反導波構造を形成するための低屈折率領域 1 と、素子の周辺部に横モードを閉じ込めを行うための低屈折率領域 2 を形成している。ここで、低屈折率領域 1 に対応した領域のレジストパターンの開口 d_1 を $5\ \mu\text{m}$ としている。また、低屈折率領域 2 (クラッド領域) に対応した領域のレジストパターンの開口は、図 12 (b) における第 1 の方向における開口 d_2 を $40\ \mu\text{m}$ 、第 2 の方向における開口 d_4 を $20\ \mu\text{m}$ としている。また、図 12 (a) には、基板面に平行な方向における実効屈折率を併せて示しており、低屈折率領域を設けた部位では、実効屈折率が相対的に小さく形成されている。本実施例では素子の中央部に位置する低屈折率コアの両側に高屈折率が形成されており、更に高屈折率領域の外側には低屈折率領域からなるクラッドが設けられている。

【0199】

この後、再び酸素イオン注入部にアラインして、正方形のレジストパターンを形成し、酸素イオン注入部より注入ピークが深くなるように水素イオン注入を行ない、水素イオン注入部の高抵抗化を行ない電流狭窄構造の形成を行なっている。レジストパターンの一辺 d_3 は $8\ \mu\text{m}$ とした。尚、ここで、水素イオンの代わりに、酸素イオン注入を行なっても、高抵抗化領域を形成する事ができる。

【0200】

次に、素子表面に p 型電極 311 を形成し、基板 301 の裏面研磨の後、基板 301 の裏面に n 型電極 312 を形成し、アニールによってオーミック導通をとって、図 12 (a), (b) の面発光レーザー素子としている。

【0201】

本実施例の面発光レーザー素子は、低屈折率領域 2 (クラッド領域) によって、レーザー共振方向に垂直な方向に、レーザー共振領域を含み挟まれた領域の幅を、第 1 の方向と第 2 の方向とにおいて、異なる幅に形成している。これにより、第 1 の方向と第 2 の方向におけるモード分布を互いに異なるものとする事ができる。この際、特定の方向における基本横モード分布が、利得領域と高い結合を得る様に設定する事で、特定の方向に偏光を有する基本横モードのみを選択的に発振させる事が可能である。尚、高次横モードは、レーザー発振領域における電場振幅が小さいので、反導波構造による影響を強く受け易く、従って反導波構造としている事により、元々利得領域との結合は小さく、発振は十分に抑制する事ができる。

【0202】

また、各部の寸法は本実施例に示す以外の値とする事ができ、更に、低屈折率領域 1, 2 における実効屈折率は、Al の酸化領域の厚さ、及び深さにより調整することができる。偏光方向を設定する方向における基本横モードと、利得領域との結合が大きく、且つ他の方向における基本横モードと利得領域との結合が低くなるように、各部の寸法、実効屈折率差を最適に設定する事で、より大きな効果を得ることができる。また、低屈折率領域

10

20

30

40

50

1, 2に対応する部位への酸素イオン注入は、それぞれの領域に対し、異なった加速電圧、イオン電流によって2工程に分けて行う事もできる。

【0203】

また、更に本実施例の面発光レーザ素子では、偏光方向は、写真製版時のレジストパターンの制御によって、任意の方向に制御、設定する事が可能である。

【0204】

本実施例の面発光レーザ素子では、第1の方向に偏光を有した単一基本横モードによって発振し、高出力動作を得る事ができた。

【実施例8】

【0205】

図13(a), (b)は実施例8の面発光レーザ素子を示す図である。なお、図13(b)は、図13(a)の面発光レーザ素子の上面図を示す図である。図13(a), (b)の面発光レーザ素子は、GaInAs/GaAs多重量子井戸構造を活性層とする0.98 μ m帯面発光レーザ素子である。以下、その構造を製造工程に従い説明する。図13(a), (b)の面発光レーザ素子は、実施例4と同様な方法・手段によって結晶成長がなされている。

【0206】

具体的に、図13(a), (b)の素子は、n-GaAs基板401上に、n-GaAsバッファ層402、n-Al_{0.9}Ga_{0.1}As/GaAsの対を1周期とした36周期のn-Al_{0.9}Ga_{0.1}As/GaAs下部半導体分布ブラッグ反射器403、ノンドープGaAs共振器スペーサー404、GaInAs/GaAs多重量子井戸活性層405、ノンドープGaAs共振器スペーサー406、20周期のp-Al_{0.9}Ga_{0.1}As/GaAs上部半導体分布ブラッグ反射器407が順次結晶成長されている。また、上部分布ブラッグ反射器407の最表面層となるGaAs層では、表面付近のp型ドーパント(炭素)のドーピングを高濃度としたコンタクト層(図示せず)を設けている。

【0207】

図13(a), (b)の面発光レーザ素子は、結晶成長の後、公知の写真製版技術を用い、図13(b)の低屈折率領域1に対応した部分に開口を有する正方形のレジストパターン、及び低屈折率領域2に対応した部分に開口を有するレジストパターンの形成を行った後、p-Al_{0.9}Ga_{0.1}As/GaAs上部半導体分布ブラッグ反射器407の表面から酸素イオン注入を行なっている。次に、熱処理によって酸素イオン注入部の選択酸化を行い、素子の中央部に反導波構造を形成するための低屈折率領域1と、素子の周辺部に横モードを閉じ込めを行うための低屈折率領域2を形成している。ここで、低屈折率領域1に対応した領域のレジストパターンの開口d1を5 μ mとしている。また、図13(b)に示す様に、低屈折率領域2(クラッド領域)は、レーザ共振領域を挟んで対向する一対の方向(第1の方向)のみに設けている。ここで、第1の方向に低屈折率クラッド領域によって挟まれた領域の幅d2は、30 μ mとしている。また、図13(a)には、第1の方向における実効屈折率を併せて示しており、低屈折率領域を設けた部位では、実効屈折率が相対的に小さく形成されている。本実施例では、素子の中央部に位置する低屈折率コアの両側に高屈折率領域が形成されており、更に高屈折率領域の外側には低屈折率領域からなるクラッドが設けられている。また、図13(b)には、第2の方向における実効屈折率を示している。この方向では、クラッド領域が設けられていないので、素子の中央部に位置するコアのみが、低屈折率領域となっている。

【0208】

この後、再び酸素イオン注入部にアラインして、正方形のレジストパターンを形成し、酸素イオン注入部より注入ピークが深くなるように水素イオン注入を行ない、水素イオン注入部の高抵抗化を行ない、電流狭窄構造の形成を行なっている。レジストパターンの一辺d3は8 μ mとした。尚、ここで、水素イオンの代わりに、酸素イオン注入を行なっても、高抵抗化領域を形成する事ができる。

10

20

30

40

50

【0209】

次に、素子表面にp型電極311を形成し、基板301の裏面研磨の後、基板301の裏面にn型電極312を形成し、アニールによってオーミック導通をとって、図13(a)、(b)の面発光レーザー素子としている。

【0210】

本実施例の面発光レーザー素子は、低屈折率領域2(クラッド領域)を、レーザー発振領域を含んで対向する一対の方向にのみ設けている。前述した様に、低屈折率クラッド領域を設けた第1の方向に対しては、モードの漏洩による損失が低減する。一方、低屈折率クラッド領域を設けていない第2の方向では、モードの漏洩による損失が生じている。また、更に、第2の方向では、レーザー発振方向に垂直な方向におけるモード分布が広がっており、第1の方向に比べ利得領域との結合が低下している。また、前述の様に高次横モードは、第1、第2の両方向において、反導波構造により利得領域との結合が非常に小さくなっている。

10

【0211】

以上の様に、利得領域との結合が大きく、またモードの漏洩損失の少ない第1の方向に電場振幅を有した基本横モードを選択的に発振させる事ができる。また、本実施例の面発光レーザー素子では、偏光方向は、写真製版時のレジストパターンの制御によって、任意の方向に制御、設定する事が可能である。

【0212】

本実施例の素子は、偏光方向が第1の方向に揃い、高出力まで単一基本横モード導を得る事が可能であった。

20

【実施例9】

【0213】

図14(a)、(b)は実施例9の面発光レーザー素子を示す図である。なお、図14(b)は、図14(a)の面発光レーザー素子の上面図を示す図である。図14(a)、(b)の面発光レーザー素子は、GaInAs/GaAs多重量子井戸構造を活性層とする0.98 μ m帯面発光レーザー素子である。以下、その構造を製造工程に従い説明する。図14(a)、(b)の面発光レーザー素子は、実施例1と同様な方法・手段によって結晶成長がなされている。

【0214】

具体的に、図14(a)、(b)の素子は、n-GaAs基板401上に、n-GaAsバッファ層402、n-Al_{0.9}Ga_{0.1}As/GaAsの対を1周期とした36周期のn-Al_{0.9}Ga_{0.1}As/GaAs下部半導体分布ブラッグ反射器403、ノンドープGaAs共振器スペーサー404、GaInAs/GaAs多重量子井戸活性層405、ノンドープGaAs共振器スペーサー406、20周期のp-Al_{0.9}Ga_{0.1}As/GaAs上部半導体分布ブラッグ反射器407が順次結晶成長されている。また、上部分布ブラッグ反射器407の最表面層となるGaAs層では、表面付近のp型ドーパント(炭素)のドーピングを高濃度としたコンタクト層(図示せず)を設けている。

30

【0215】

また、p-Al_{0.9}Ga_{0.1}As/Al_{0.15}Ga_{0.85}As上部半導体分布ブラッグ反射器407中には、電流狭窄の為にp-AlAs被選択酸化層408を設けている。ここで、p-AlAs被選択酸化層408は、水蒸気を含む加熱雰囲気中において、エッチング端面から選択酸化を行なう事によって、酸化領域(黒く示した領域)が形成されている。

40

【0216】

図14(a)、(b)の面発光レーザー素子は、結晶成長の後、公知の写真製版技術によって一辺が30 μ mの正方形レジストパターンを形成し、公知のドライエッチング技術を用いてp-Al_{0.9}Ga_{0.1}As/Al_{0.15}Ga_{0.85}As上部半導体分布ブラッグ反射器407の表面からn-Al_{0.9}Ga_{0.1}As/Al_{0.15}Ga_{0.8}

50

5 A s 下部分布半導体ブラッグ反射器 4 0 3 の途中までの各層のエッチング除去を行なって、正方形メサを形成している。

【 0 2 1 7 】

次に、メサの中心部にアラインして、図 1 4 (b) の低屈折率領域 1 に対応した長方形形状のレジスト開口パターンを形成し、メサの中心部への酸素分子のイオン注入を行っている。ここで、レジストパターンの幅は、第 1 の方向における一辺の長さ d_6 (長辺の長さ) を $20 \mu\text{m}$ 、第 2 の方向における一辺の長さ d_5 (短辺の長さ) を $15 \mu\text{m}$ としている。

【 0 2 1 8 】

次に、レジストの除去を行った後、水蒸気を含む加熱雰囲気中において、エッチング端面からメサ中央部に向けて、基板と平行方向に p - A l A s 被選択酸化層 4 1 4 の選択酸化を行なって選択酸化電流狭窄構造を形成している。また、この水蒸気を含む加熱雰囲気中における選択酸化工程の熱処理によって、酸素イオン注入領域 4 1 3 においては、A l _{0.9} G a _{0.1} A s 混晶の酸化が同時に進行し、メサの中央部に周囲の領域に比べ屈折率が相対的に低い、酸素イオン注入による選択酸化領域が形成されている。ここで、電流狭窄領域 (非選択酸化領域) の一辺の長さ d_3 を $10 \mu\text{m}$ としている。

【 0 2 1 9 】

次に、ウエハ全面に S i O ₂ 層 4 0 9、絶縁樹脂の形成を行なっている。次に p 側電極 4 1 1 を形成し、n - G a A s 基板 4 0 1 の裏面研磨の後、n 側電極 4 1 2 を設け、アンニールによって両電極 4 1 1、4 1 2 のオーミック導通を取っている。

【 0 2 2 0 】

本実施例の面発光レーザー素子は、図に示す様に低屈折率領域 1 の形状を異方性形状とした事により、発振モード分布を、長方形の長辺に対応する方向と短辺に対応する方向とで異なったものとする事が可能であり、特定の方向における基本横モード分布が、利得領域と高い結合を得る様に設定する事で、特定の方向に偏光を有する基本横モードのみを選択的に発振させる事ができる。

【 0 2 2 1 】

ここで、各部の寸法は本実施例に示す以外の値とする事ができ、更に低屈折率コアにおける実効屈折率は、A l の酸化領域の厚さ及び深さにより調整することができる。メサ、低屈折率コアのサイズ、及び実効屈折率を適切に調整し、偏光方向を設定する方向における基本横モードと利得領域との結合が大きく、且つ他の方向における基本横モードと利得領域との結合が低くなるように、最適に設定する事で、より大きな効果を得ることが可能である。

【 0 2 2 2 】

尚、高次横モードは、レーザー発振領域における電場振幅が小さいので、反導波構造による影響を強く受け易く、従って反導波構造としている事により、元々利得領域との結合は小さく、発振は十分に抑制する事ができる。

【 0 2 2 3 】

また、本実施例の面発光レーザー素子では、偏光方向は、写真製版時のレジストパターンの制御によって、任意の方向に制御、設定する事が可能である。

【 0 2 2 4 】

本実施例では、矩形状の低屈折率領域 1 を有する面発光レーザー素子について例を示したが、この他にも低屈折率領域 1 の形状として、楕円形状等とする事も可能である。いずれの場合も、同様な効果を得る事ができる。また、面発光レーザー素子の構造も、選択酸化型以外に実施例 6 から実施例 8 で示した水素イオン注入型とする事もできる。

【 0 2 2 5 】

本実施例の面発光レーザー素子では、第 1 の方向に偏光を有した単一基本横モードによって発振し、高出力動作を得る事ができた。

【 0 2 2 6 】

以上の各実施例では、結晶成長方法として、MOCVD法を例に挙げて説明を行なった

10

20

30

40

50

が、この他にも、分子線結晶成長法（MBE法）等の、その他の結晶成長法を用いる事もできる。また、基板として、n型基板，半絶縁性基板の他にも、p型基板を用いても良い。また、発振波長も、以上で説明した0.85μm帯，1.3μm帯以外にも0.65μm帯，0.98μm帯，1.5μm帯等の波長帯で有っても良い。また、素子を構成する半導体材料は、発振波長に応じ、上述以外のものが用いられていても良い。例えば、0.65μm帯ではAlGaInP系混晶を用い、0.98μm帯ではInGaAs系混晶を用い、1.5μm帯ではGaInNAs(Sb)系混晶半導体を用いる事ができる。分布ブラッグ反射器の材料は、これらの波長帯で透明であって、且つ可能な限り屈折率差が大きく取れる組み合わせを用いれば良い。また、素子構造は、上述の各実施例で示した以外の構造であっても良く、また、上述の各実施例で示した素子も、他の発振波長で有っても

10

【0227】

また、素子の抵抗をより低減する為には、Al(Ga)As/GaAs等のヘテロ界面には、これらの間の組成を有するヘテロスパイク緩衝層を設ける事が効果的であり、被選択酸化層等の界面にもヘテロスパイク緩衝層が設けられていても良い。ヘテロスパイク緩衝層としては、ヘテロ界面を構成する2層の間の組成を有する単層や、組成の異なる複数の層を組み合わせたもの、又は組成を連続的に変化させたもの等が挙げられる。

【実施例10】

【0228】

図15は実施例10の面発光レーザアレイを示す図である。すなわち、図15は、本発明の面発光レーザ素子を2次元に4×4個集積したモノリシックレーザアレイの上面図である。図15では、個々の面発光レーザ素子を独立に駆動する為に個別に上部電極に配線が設けられている。図15の面発光レーザアレイは前述の各実施例のいずれかと同様の手順・方法で作製されたものである。

20

【0229】

図15の面発光レーザアレイを構成する個々の素子は、実施例1乃至実施例4に示す様に共振器構造中に酸素イオン注入と熱処理によって形成された低屈折率層からなる反導波構造によって、高次横モードが非常に効率良く抑制されているので、図15の面発光レーザアレイは、単一基本横モードにおいて高出力が得られた。また、反導波構造をn導電型分布ブラッグ反射器中に設ける構造とした面発光レーザアレイは、低抵抗であり、高出力動作が可能であった。よって、発熱が少なく、更に高出力まで、単一基本横モードで発振した。以上の様に、単一横モードで高出力動作する面発光レーザアレイが得られた。

30

【実施例11】

【0230】

図16は面発光レーザモジュールの一例を示す図であり、図17は機器間並列光インターコネクションシステムの一部(実施例11)を示す図である。

【0231】

図16のレーザアレイモジュールは、シリコン基板の上に、本発明の1次元モノリシック面発光レーザアレイと、マイクロレンズアレイと、ファイバアレイとが実装されて構成されている。ここで、面発光レーザアレイは、ファイバに対向して設けられており、マイクロレンズアレイを介してシリコン基板に形成したV溝に実装された石英シングルモードファイバと結合している。面発光レーザアレイの発振波長は1.3μm帯であり、石英シングルモードファイバを用いる事で高速伝送が行える。

40

【0232】

また、図17のインターコネクションシステムは、機器1と機器2の間を、光ファイバアレイを用いて接続して構成されている。送信側である機器1は、本発明の面発光レーザ素子または面発光レーザアレイを用いた1次元レーザアレイモジュールと、これの駆動回路とを備えている。また、受信側である機器2は、フォトダイオードアレイモジュールと、信号検出回路とを備えている。

50

【0233】

また、この実施例11の光インターコネクションシステムは、本発明の面発光レーザーレイを用いた事で、環境温度等、駆動条件の変化に対しても基本横モードで安定に発振し、ファイバとの結合率の変化も少なく、信頼性の高いインターコネクションシステムを構成する事ができた。

【0234】

なお、この実施例11では、並列光インターコネクションシステムを例に説明したが、この他にも、単一素子を用いたシリアル伝送システムを構成する事もできる。また、機器間の他にも、ボード間、チップ間、チップ内インターコネクションに応用する事もできる。

10

【実施例12】

【0235】

図18は実施例12の光通信システムを示す図であり、図18の光通信システムは、光LANシステムとして構成されている。

【0236】

図18の光LANシステムでは、サーバーとコアスイッチ間、及び、コアスイッチと各スイッチ間、及びスイッチと各端末間の光伝送の光源に、本発明の面発光レーザー素子または面発光レーザーレイが用いられている。また、各機器間は石英シングルモードファイバまたはマルチモードファイバによって結合されている。

【0237】

図18の光LANシステムでは、光源に、本発明の面発光レーザー素子または面発光レーザーレイを用いた事で、環境温度等、駆動条件の変化に対しても基本横モードで安定に発振し、ファイバとの結合率の変化も少なく信頼性の高いシステムを構成する事ができた。

20

【実施例13】

【0238】

図19は実施例13の電子写真システムを示す図である。

【0239】

図19の電子写真システムは、感光ドラム、走査収束光学系(光学走査系)、書き込み光源、同期制御部からなっており、書き込み光源には、本発明の面発光レーザー素子または面発光レーザーレイが用いられている。図19の電子写真システムでは、同期制御回路によって制御がなされ、光源からの光は、ポリゴンミラー、レンズ収束系からなる走査収束光学系により、感光ドラム上に集光され潜像を形成する。従来、面発光レーザー素子は、発熱の影響により高出力動作が困難であったが、本発明の面発光レーザー素子では、従来の素子に比べて高出力動作が可能であり、電子写真システムの書き込み光源として用いる事ができる。また、発振モードも単一基本横モードであるので、遠視野像は単峰性であり、ビームの集光が容易な事から高精彩な画質を得る事ができる。

30

【0240】

また、AlGaInP系材料を活性層材料とした赤色面発光レーザー素子は、発振波長が650nm程度とAlGaAs系材料に比べ短波長発振が可能であり、光学設計の余裕度を大きくする事ができる。従って、高精彩な電子写真システムの書き込み光源として好適である。この様な赤色面発光レーザー素子は、活性層にAlGaInP系材料を用い、分布ブラッグ反射器にAlGaAsやAlGaInP系材料を用いて構成する事ができる。また、これらの材料はGaAs基板に格子整合して結晶成長を行う事が可能であるので、AlAs材料等を選択酸化層として用いる事が可能である。ところが、AlGaInP系材料は、温度変化に対する影響を非常に受けやすく、素子発熱による温度上昇により、出力の飽和、発振の停止等が問題となっている。しかしながら、本発明を用いて作製した面発光レーザー素子は、反導波構造により高次横モードの分布がメサ側面へ押し広げられ、利得領域の結合が減少する事によって、高次横モードの発振が抑制されるので、電流狭窄の径を従来に比べ大きく設ける事が可能である。従って、赤色面発光レーザーにおいて小さく設定する必要があった電流狭窄径を、従来より大きく設定する事が可能であり、低抵抗な素

40

50

子を得る事ができる。以上から、素子発熱が低減されており、単一基本横モード発振において、従来に比べ高出力動作が可能である。以上の様に電子写真システムの書き込み光源として好適である。

【0241】

また、実施例10の面発光レーザアレイを用いる事によりマルチビーム書き込み系を得る事ができるので、書き込み速度等も従来に比べて高速にできる。以上から、高速、且つ高精彩な電子写真システムを得る事ができる。

【実施例14】

【0242】

図20は実施例14の光ディスクシステムを示す図である。

10

【0243】

図20の光ディスクシステムは、光ディスク、光学系1、光学系2、ビームスプリッター、光検出器、レーザ光源、同期制御部(同期制御回路)からなっており、レーザ光源には、本発明の面発光レーザ素子または面発光レーザアレイが用いられている。

【0244】

ここで、光学系1、光学系2、ビームスプリッター、光検出器、レーザ光源は、光ヘッドを構成し、アクチュエーターによってディスクの任意のトラックにアクセスできる様に構成されている。また、ここで、光学系1は、回折格子、光束拡大レンズから構成されており、光学系2は、1/4波長板、絞込みレンズから構成されている。

【0245】

20

図20の光ディスクシステムでは、同期制御回路によって制御されたレーザ光源からのレーザ光は、光学系1及び光学系2によってディスク表面に収束されてディスク表面を照射する。ディスク表面には、情報ピットと、例えば情報ピットの規則配列によって構成されるトラックが形成されている。例えば、読み出し操作においては、ディスク表面で反射されたレーザ光は、再び光学系2を通った後、ビームスプリッターによって光検出器に導かれる。光検出器では、情報ピットによる情報信号と、トラック信号を検出し、これを元にして、ディスクとヘッドの距離、及び情報トラックに対する光ヘッドのサーボを行なっている。

【0246】

本発明の面発光レーザ素子では、従来の素子に比べて基本単一横モードにおいて高出力動作が可能である為、単峰性のビームスポットを安定に得る事が可能であり、ビーム成形に必要な光学系を非常に簡略化でき、コストを低減する事ができる。また、更に単峰性のビームスポットが安定に得られる為、信頼性の高い光ディスクシステムを構成する事が可能である。また、レーザ光源として、実施例10の面発光レーザアレイを用いる場合には、高速な読み出しを行なう事が可能である。以上の様に、高速、且つ信頼性の高い光ディスクシステムを得る事ができる。

30

【図面の簡単な説明】

【0247】

【図1】実施例1の面発光レーザ素子を示す図である。

【図2】図1において酸素イオン注入が行なわれている領域の一部を詳細に示す図である

40

【図3】反導波構造が無い場合と有る場合とのモードの分布を示す図である。

【図4】実施例2の面発光レーザ素子を説明するための図である。

【図5】実施例2の面発光レーザ素子を説明するための図である。

【図6】実施例3の面発光レーザ素子を説明するための図である。

【図7】実施例1における面発光レーザ素子の酸素イオン注入領域の別の構成例を示す図である。

【図8】実施例4の面発光レーザ素子を示す図である。

【図9】実施例5の面発光レーザ素子を示す図である。

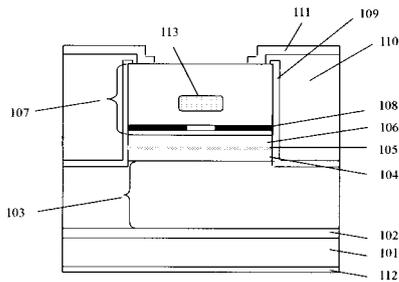
【図10】図9の面発光レーザ素子に対し、実施例4と同様に、反導波構造をn型分布ブ

50

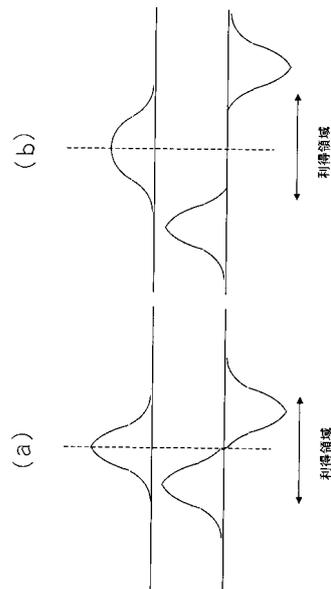
ラッグ反射器中に設けた例を示す図である。

- 【図 1 1】実施例 6 の面発光レーザ素子を示す図である。
- 【図 1 2】実施例 7 の面発光レーザ素子を示す図である。
- 【図 1 3】実施例 8 の面発光レーザ素子を示す図である。
- 【図 1 4】実施例 9 の面発光レーザ素子を示す図である。
- 【図 1 5】実施例 1 0 の面発光レーザアレイを示す図である。
- 【図 1 6】面発光レーザモジュールの一例を示す図である。
- 【図 1 7】機器間並列光インターコネクションシステムの一部を示す図である。
- 【図 1 8】実施例 1 2 の光通信システムを示す図である。
- 【図 1 9】実施例 1 3 の電子写真システムを示す図である。
- 【図 2 0】実施例 1 4 の光ディスクシステムを示す図である。

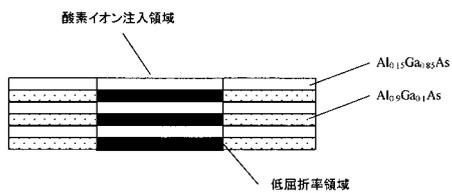
【 図 1 】



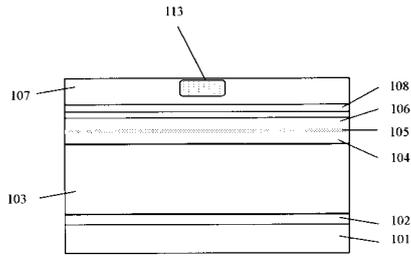
【 図 3 】



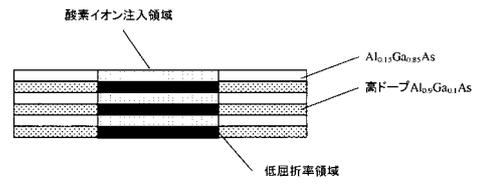
【 図 2 】



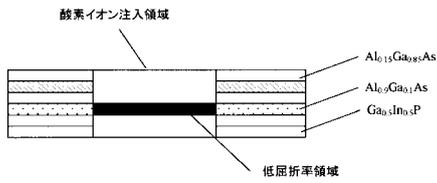
【図4】



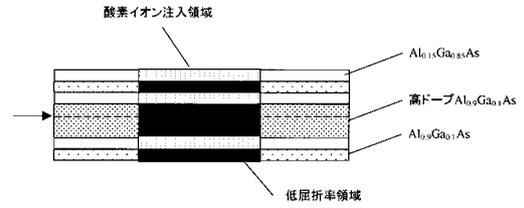
【図6】



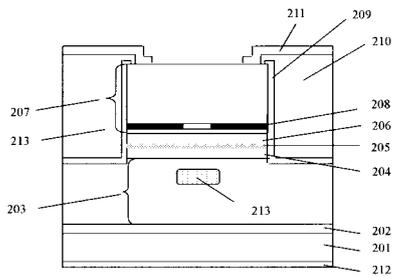
【図5】



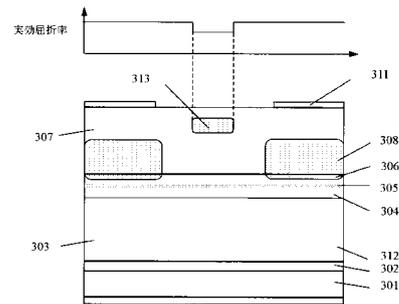
【図7】



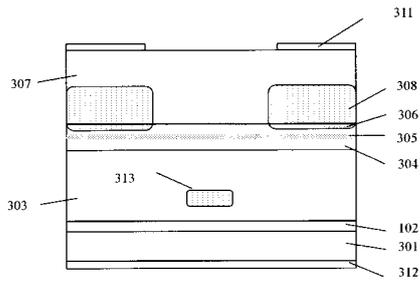
【図8】



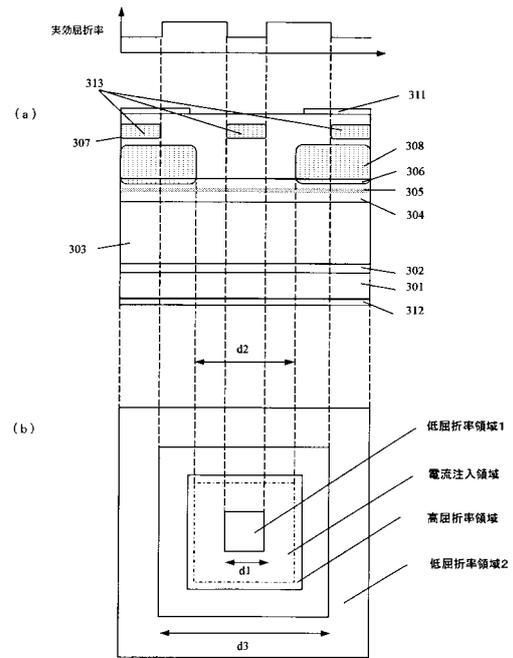
【図9】



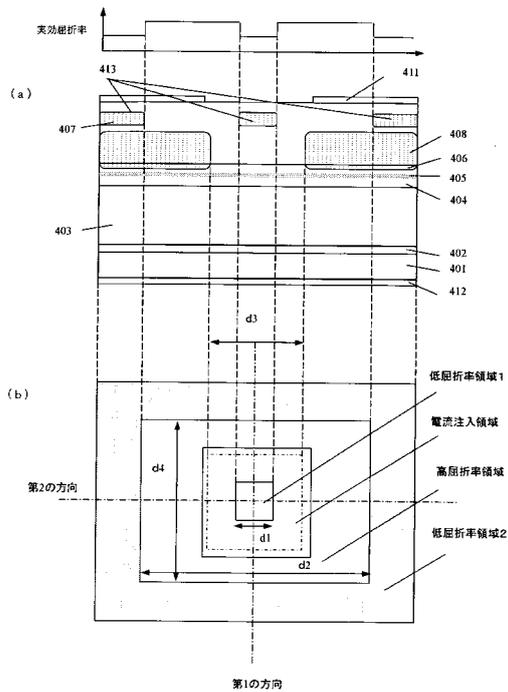
【図10】



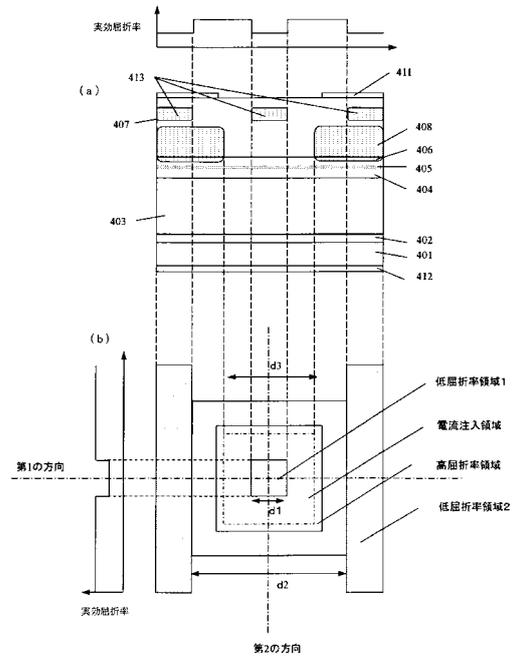
【図11】



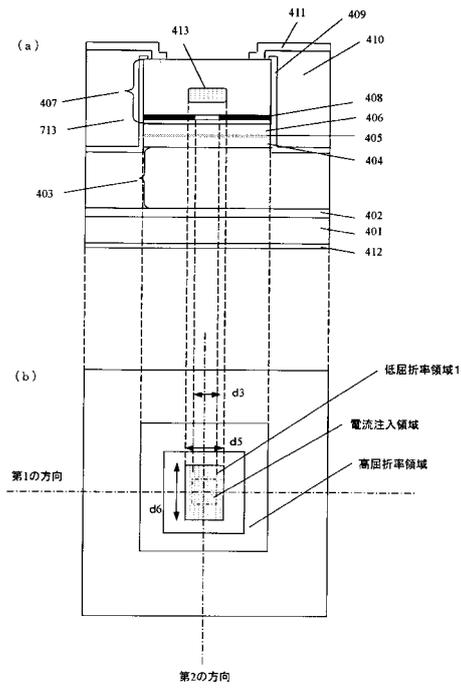
【図12】



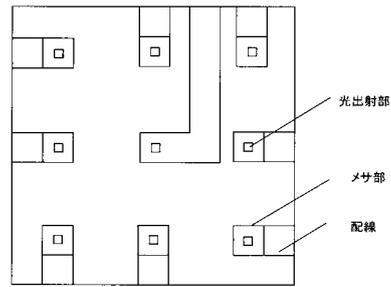
【図13】



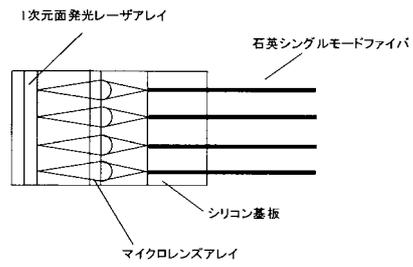
【図14】



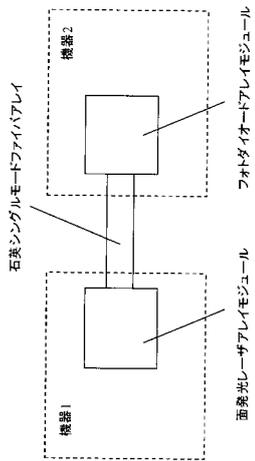
【図15】



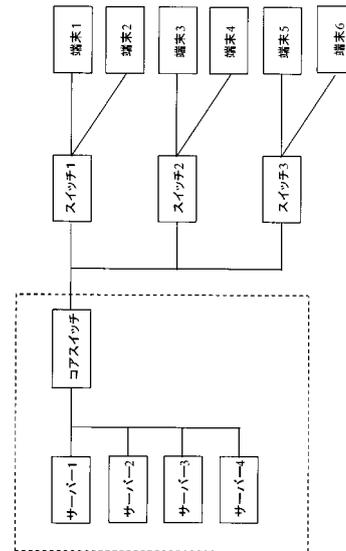
【図16】



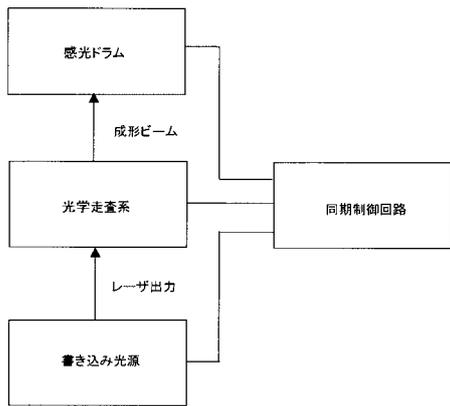
【図17】



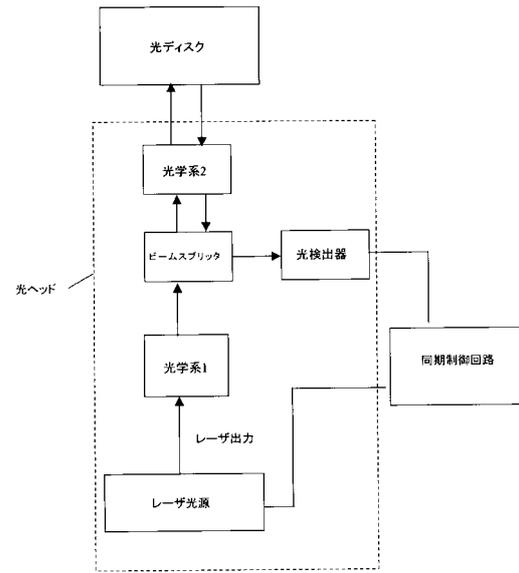
【図18】



【図19】



【図20】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2003-124570(JP,A)
特開2002-289967(JP,A)
特開平09-027650(JP,A)
特開2003-218449(JP,A)
特開平11-121867(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S 5/00-5/50