

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4097232号

(P4097232)

(45) 発行日 平成20年6月11日(2008.6.11)

(24) 登録日 平成20年3月21日(2008.3.21)

(51) Int.Cl.

H01S 5/34 (2006.01)

F I

H01S 5/34

請求項の数 2 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願平8-255421	(73) 特許権者	000006747
(22) 出願日	平成8年9月5日(1996.9.5)		株式会社リコー
(65) 公開番号	特開平10-84163		東京都大田区中馬込1丁目3番6号
(43) 公開日	平成10年3月31日(1998.3.31)	(74) 代理人	100090240
審査請求日	平成13年11月26日(2001.11.26)		弁理士 植本 雅治
審判番号	不服2006-735(P2006-735/J1)	(72) 発明者	佐藤 俊一
審判請求日	平成18年1月12日(2006.1.12)		東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式 会社 リコー内
		合議体	
		審判長	小牧 修
		審判官	岩本 勉
		審判官	向後 晋一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体レーザ素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

半導体基板上に、V族元素としてN（窒素）を含んだIII-V族混晶半導体層が活性層として用いられ、さらに一对のクラッド層が設けられている半導体レーザ素子において、前記活性層は、GaP基板上に形成されていて、前記一对のクラッド層間に設けられており、前記活性層は $Ga_yIn_{1-y}N_zP_{1-z}$ （ $0 \leq y < 1$ 、 $0 < z < 1$ ）からなる直接遷移材料の井戸層とバリア層とが交互に積層されたものであり、前記一对のクラッド層および前記バリア層には、 $Al_bGa_{1-b}P$ （ $0 \leq b \leq 1$ ）が用いられていることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項2】

半導体基板上に、V族元素としてN（窒素）を含んだIII-V族混晶半導体層が活性層として用いられ、さらに一对のクラッド層および一对の光ガイド層が設けられている半導体レーザ素子において、前記活性層は、GaP基板上に形成されていて、前記一对の光ガイド層間に設けられ、前記一对の光ガイド層は、前記一对のクラッド層間に設けられており、前記活性層は $Ga_yIn_{1-y}N_zP_{1-z}$ （ $0 \leq y < 1$ 、 $0 < z < 1$ ）からなる直接遷移材料の井戸層とバリア層とが交互に積層されたものであり、前記一对の光ガイド層および前記バリア層には、 $Al_cGa_{1-c}P$ （ $0 \leq c \leq 1$ ）が用いられ、前記一对のクラッド層には、 $Al_dGa_{1-d}P$ （ $c < d \leq 1$ ）が用いられていることを特徴とする半導体レーザ素子。

【発明の詳細な説明】

10

20

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、カラーディスプレイ等に用いられる高輝度緑色～赤色発光ダイオードや、光書き込みなどに用いられる可視光半導体レーザなどの半導体発光素子に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来、カラーディスプレイ等に用いられる高輝度緑色～赤色発光ダイオードや光書き込みなどに用いられる可視光半導体レーザの材料として、 AlGaInP 系材料の研究開発が行なわれている。 AlGaInP 系は、 GaAs 基板に格子整合するIII-V族半導体の中でも最も大きい直接遷移型の材料であり、バンドギャップエネルギーは最大で約2.3 eV(波長540 nm)が得られる。

10

【0003】

しかしながら、 AlGaInP 系は、ヘテロ接合を形成すると、伝導帯のバンドオフセット比が小さく、活性層(発光層)と活性層よりもバンドギャップの大きい材料からなるクラッド層との伝導帯側のバンド不連続(ΔE_c)が小さいので、注入キャリア(電子)が活性層からクラッド層にオーバーフローしやすく、半導体レーザの発振しきい値電流の温度依存性が大きく、温度特性が悪いなどの問題があった。

【0004】

なお、この問題を解決するため、特開平4-114486号には、活性層とクラッド層の間に多重量子障壁(MQB)構造を設け、注入キャリアを閉じ込める構造が提案されている。

20

【0005】

また、半導体レーザを作製するためには、クラッド層を用い、キャリアと光を活性層に閉じ込める構造が必要であるが、通常バルク活性層のダブルヘテロ(DH)構造では、上述の理由により、あまり大きなバンドギャップの材料を活性層に用いることができない。また、Alの添加はバンドギャップを大きくする効果があるが、Alが非常に活性なため、成長中雰囲気内や原料内のわずかな酸素等と結合しディープレベルを形成し発光効率の低下を招きやすいので、Al組成は小さい方が好ましい。基板に GaAs を用い、 GaAs 基板に格子整合する AlGaInP 系材料を用いた半導体レーザでは、活性層に $(\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.81})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ を用いた構造で、発振波長632.7 nmでの室温連続発振が報告されている。そこで、発振波長を短波長化するために活性層を量子井戸(QW)構造とする方法が行なわれており、さらに低しきい値化するために、例えば特開平6-77592号に示されているように量子井戸層に歪を加えた歪量子井戸構造の提案も行なわれている。

30

【0006】

例えばHamadaらによる文献「Electronics Letter, Vol.28, No.19(1992)p1834」には、 $(\text{Al}_{0.08}\text{Ga}_{0.92})_{0.45}\text{In}_{0.55}\text{P}$ を井戸層に用いた圧縮歪多重量子井戸活性層と多重量子障壁(MQB)構造を組み合わせた素子で、発振波長615 nmでの室温連続発振が報告されている。しかしながら、この素子は、温度特性が非常に悪いので、実用的ではない。

【0007】

このように、従来の GaAs 基板格子整合系材料では、温度特性を良好なものにすると短波長化に限界があり、発振波長が600 nm程度以下の短波長での室温連続発振は現在実現されていない。

40

【0008】

なお、例えば特開平6-53602号には、発振波長600 nm以下の短波長レーザを実現するために、基板に GaP 基板を用い、 GaP 基板上に、クラッド層として $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{P}$ ($0 \leq y \leq 1$)を用い、活性層として直接遷移型の $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}$ ($0 < x < 1$)量子障壁層および量子井戸層を用い、活性層にはアイソエレクトロニックトラップ(Isoelectronic trap)の不純物としてNをドーピングした素子が提案されている。

【0009】

50

また、例えば特開平5-41560号には、GaAs基板上に $(AlGa)_aIn_{1-a}P(0.51 < a \leq 0.73)$ からなるダブルヘテロ構造体を形成する際、GaAs基板と上記ダブルヘテロ構造体との格子不整合を解消するため、基板に $GaAs_xP_{1-x}$ バッファ層などを介して上記ダブルヘテロ構造体を形成する素子が提案されている。

【0010】

しかしながら、これらの構造は、活性層のAl含有量が少ない材料を用いて短波長化できるという利点があるものの、キャリアを十分に活性層に閉じ込めることができないという欠点がある。

【0011】

図1(a)、(b)には、特開平6-53602号に提案されているGaP基板上の素子のバンド構造の例が示されている。ヘテロ接合のラインアップは、文献「Appl. Phys. Lett. 60(5), 3, 1992 P630~632 (Sandip Tiwari, David J. Frank)」を参照した。図1(a)は、GaPをクラッド層、 $Ga_{0.7}In_{0.3}P$ を活性層とした場合であり、この場合、伝導帯のエネルギー差(ΔE_c)は100meV程度であるが、価電子帯のエネルギー差(ΔE_v)はほぼ0meV程度である。また、図1(b)は、AlPをクラッド層、 $Ga_{0.7}In_{0.3}P$ を活性層とした場合であり、この場合、価電子帯のエネルギー差(ΔE_v)は470meV程度であるが、伝導帯のエネルギー差(ΔE_c)は、逆に、 $Ga_{0.7}In_{0.3}P$ 活性層の方が190meV程度大きくなってしまふ。また、クラッド層にGaPとAlPとの混晶を用いると、伝導帯、価電子帯のいずれにも、キャリアの閉じ込め可能な材料を存在させることができるが、伝導帯のエネルギー差(ΔE_c)は100meV以下となってしまう、キャリアを十分に活性層に閉じ込めることができない。なお、活性層のGa組成を減らしAlを添加することで、伝導帯のエネルギー差(ΔE_c)を大きくすることは可能であるが、この増加分は、わずかであり、また、 $Ga_{0.7}In_{0.3}P$ とGaP基板との格子不整合度(すでに2.3%程度の格子不整合度が存在する)が、さらに増加してしまい、格子不整合に起因するミスフィット転位が発生しない臨界膜厚が薄くなってしまふので好ましくない。このことは、特開平5-41560号に提案されている素子についても言えることである。

【0012】

すなわち、これらの素子では、活性層にAlを含まない材料系でも短波長化できるという利点があるが、ヘテロ障壁 ΔE_c および ΔE_v をともに大きくできる材料系(例えば $\Delta E_c \geq 190meV$ 以上かつ $\Delta E_v \geq 60meV$ 以上の材料系)が存在しなかった。

【0013】

さらに、特開平7-7223号には、可視発光素子をSi基板またはGaP基板上に得るために、V族元素としてN(窒素)を含んだIII-V族混晶半導体材料、例えばInNSb、AlNSb系材料が提案されている。この場合、混晶のバンドギャップエネルギーは、それぞれInNとInSb、AlNとAlSbの間を直線で見積もっており、 $AlN_{0.4}Sb_{0.6}$ でSi基板に格子整合し、バンドギャップエネルギーはおおよそ4eVであるとして見積もられている。このような材料が存在し形成できれば、確かに紫外光までの発光素子が形成できる。しかしながら、このようなV族元素としてN(窒素)を含んだIII-V族混晶半導体材料は、ほとんどが非混和領域にあり通常の成長方法では結晶成長は困難であり、非平衡度の高い成長方法であるMOCVD法やMBE法により形成できるものである。MOCVD法やMBE法によって形成できるとしても、現在N組成は10%程度が限界であり、N組成が40%の混晶は作製が非常に困難である。さらにこの材料系は、特開平6-334168号に示されているように、Nの電気陰性度が大きいため混晶のバンドギャップに大きなボーイングが生じる。つまりInSbやAlSbにNを添加していくとバンドギャップは小さい方に向かい、このため、Si基板やGaP基板等に格子整合する混晶では、InSbやAlSbのバンドギャップよりも大きくなるどころか逆に小さくなってしまふ。従って、特開平7-7223号に提案されているような短波長発光素子は実現困難であると考えられる。すなわち、例えば特開平6-37355号に提案されているように、混晶のバンドギャップに大きなボーイングが生じることを利用して、GaAs基板上的InGaAs系材料で赤外光である1.5 μm 等の長波長発光素子を形成することは

10

20

30

40

50

できるが、この逆の短波長発光素子を形成することはできない。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】

そこで、本発明は、ヘテロ障壁 ΔE_c および ΔE_v をともにレーザ発振するために必要なほど大きくできる材料系を提案し、この材料系を用いて、温度特性の良好な赤色半導体レーザ、室温において600nm以下の短波長で発振する可視半導体レーザや、高発光効率の可視発光ダイオードなどの半導体発光素子を提供することを目的としている。

【0015】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、請求項1記載の半導体レーザ素子は、半導体基板上に、V族元素としてN（窒素）を含んだIII-V族混晶半導体層が活性層として用いられ、さらに一对のクラッド層が設けられている半導体レーザ素子において、前記活性層は、GaP基板上に形成されていて、前記一对のクラッド層間に設けられており、前記活性層は $Ga_y In_{1-y} N_z P_{1-z}$ ($0 \leq y < 1$ 、 $0 < z < 1$) からなる直接遷移材料の井戸層とバリア層とが交互に積層されたものであり、前記一对のクラッド層および前記バリア層には、 $Al_b Ga_{1-b} P$ ($0 \leq b \leq 1$) が用いられていることを特徴としている。

【0016】

また、請求項2記載の半導体レーザ素子は、半導体基板上に、V族元素としてN（窒素）を含んだIII-V族混晶半導体層が活性層として用いられ、さらに一对のクラッド層および一对の光ガイド層が設けられている半導体レーザ素子において、前記活性層は、GaP基板上に形成されていて、前記一对の光ガイド層間に設けられ、前記一对の光ガイド層は、前記一对のクラッド層間に設けられており、前記活性層は $Ga_y In_{1-y} N_z P_{1-z}$ ($0 \leq y < 1$ 、 $0 < z < 1$) からなる直接遷移材料の井戸層とバリア層とが交互に積層されたものであり、前記一对の光ガイド層および前記バリア層には、 $Al_c Ga_{1-c} P$ ($0 \leq c \leq 1$) が用いられ、前記一对のクラッド層には、 $Al_d Ga_{1-d} P$ ($c < d \leq 1$) が用いられていることを特徴としている。

【0033】

請求項1記載の半導体レーザ素子は、半導体基板上に、V族元素としてN（窒素）を含んだIII-V族混晶半導体層が活性層として用いられ、さらに一对のクラッド層が設けられている半導体レーザ素子において、前記活性層は、GaP基板上に形成されていて、前記一对のクラッド層間に設けられており、前記活性層は $Ga_y In_{1-y} N_z P_{1-z}$ ($0 \leq y < 1$ 、 $0 < z < 1$) からなる直接遷移材料の井戸層とバリア層とが交互に積層されたものであり、前記一对のクラッド層および前記バリア層には、 $Al_b Ga_{1-b} P$ ($0 \leq b \leq 1$) が用いられている。
 $Al_b Ga_{1-b} P$ よりも伝導帯のエネルギーが充分小さくかつ価電子帯のエネルギーが大きく活性層となるような $(Al_x Ga_{1-x})_y In_{1-y} P$ ($0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$) 材料は従来存在せず、Nを添加することでバンドギャップエネルギーは小さくなるが、伝導帯、価電子帯のエネルギーがともに小さくなるので、任意のバンドオフセット比のヘテロ接合を形成することが可能となる。このため、活性層よりバンドギャップが大きく屈折率の小さい組成を選んでクラッド層とすることで、
 $(Al_x Ga_{1-x})_y In_{1-y} N_z P_{1-z}$ ($0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 < z < 1$) を活性層として、この活性層にキャリアと光を閉じ込めることが可能となる。

【0034】

また、V族元素としてN（窒素）を含んだIII-V族混晶半導体層のNの濃度が $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 程度以下ではアイソエレクトロニックトラップからの発光が支配的であるが、Nの濃度を $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上とすることで、バンドギャップエネルギーが小さくなり、また、伝導帯、価電子帯のエネルギーがともに小さくなる効果が十分に現われ、組成を選ぶことにより従来にはない任意のバンドオフセット比のヘテロ接合を形成することができる。

また、上記V族元素としてN（窒素）を含んだIII-V族混晶半導体層はNの添加により格子定数が小さくなるので、GaP基板上に形成した場合、圧縮歪量を小さくできる

10

20

30

40

50

【0041】

また、請求項2記載の半導体レーザ素子は、光ガイド層として $Al_cGa_{1-c}P$ ($0 \leq c < 1$)を用い、クラッド層として $Al_dGa_{1-d}P$ ($c < d \leq 1$)を用いているので、 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}N_zP_{1-z}$ ($0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 < z < 1$)を活性層としたSCH (Separate Confinement Heterostructure) 構造の素子を形成できる。この場合、伝導帯、価電子帯ともに活性層とのヘテロ障壁を大きくできる $Al_cGa_{1-c}P$ ($0 \leq c < 1$)光ガイド層でキャリアの閉じ込めを行ない、屈折率の小さい $Al_dGa_{1-d}P$ ($c < d \leq 1$)で光の閉じ込めを行なうことができる。

10

【0051】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施形態について図面に基づいて説明する。

【0052】

本願の発明者は、V族元素としてN(窒素)を含んだIII-V族混晶半導体層 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}N_zP_{1-z}$ ($0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 < z < 1$)を作製し、その特性を調べた。すなわち、V族元素としてN(窒素)を含んだIII-V族混晶半導体層 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}N_zP_{1-z}$ ($0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 < z < 1$)を、MOCVD法(有機金属気相成長法)やMBE法によるエピタキシャル成長により形成した。この場合、Nの原料も他の原料と同様に反応室に供給した。Pを含んだ混晶は、成長中にPがエピタキシャル成長時に基板から抜けやすいので、成長雰囲気中のPの分圧を高くできるMOCVD法が好ましい。また、Nの原料には NH_3 等が考えられるが、分解効率が極めて低い。このため、低温でも分解しやすい有機系窒素化合物を用いることが好ましい。さらに有機系窒素化合物はMMHy(モノメチルヒドラジン)等も考えられるが、蒸気圧が低いためキャリアガスを多く必要とするので、蒸気圧の高いDMHy($(CH_3)_2NNH_2$:ジメチルヒドラジン)やTBA($(CH_3)_3CNH_2$:ターシャリブチルアミン)であることが好ましい。

20

【0053】

図2は $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ と $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ にNを添加した $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}N_zP_{1-z}$ とを接合した場合のバンド構造を示す図である。近藤らによる文献「応用物理第65巻第2号(1996) p148」には、 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ のような従来からあるIII-V族半導体にNを数%添加すると、バンドギャップは小さくなり($E_{g1} > E_{g2}$)、さらに伝導帯および価電子帯のエネルギーは小さくなることが示されている。すなわち、 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ をクラッド層、 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}N_zP_{1-z}$ を活性層としたヘテロ構造では、価電子帯のエネルギー E_v は、クラッド層よりも活性層の方が小さく、ホールを活性層に閉じ込めることができず、この構造のままでは発光素子には向かないことがわかる。

30

【0054】

しかしながら、本願の発明者は、 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ をクラッド層、 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}N_zP_{1-z}$ を活性層としたヘテロ構造では、大きな伝導帯のバンド不連続(ΔE_c)が生じることに着目した。また、バンドギャップが充分大きいクラッド層を用いるなど、クラッド層と活性層の組成を適切に選べば、ホールをも活性層に閉じ込めることが可能になることを見出した。また、 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}N_zP_{1-z}$ は、 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ と $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}N$ との混晶であるので、格子定数はN組成の増加とともに小さくなることに着目した。

40

【0055】

図3は本発明に係る半導体発光素子の第1の構成例を示す図である。図3を参照すると、この半導体発光素子は、V族元素としてN(窒素)を含んだIII-V族混晶半導体層 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}N_zP_{1-z}$ ($0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 < z < 1$)を活性層(発光可能な活性層)に用いている。

【0056】

50

すなわち、この半導体発光素子は、面方位が(100)面から[011]方向に15°傾いているn-GaAs基板101上に、n-GaAsバッファ層102、 $n-(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.51}In_{0.49}P$ クラッド層103、 $(Al_{0.2}Ga_{0.8})_{0.49}In_{0.51}N_{0.01}P_{0.99}$ 活性層104、 $p-(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.51}In_{0.49}P$ クラッド層105、p-GaAsコンタクト層106が、例えばMOCVD法により、順次に形成されたものとなっている。

【0057】

ここで、この半導体発光素子は、クラッド層103、105、活性層104によるダブルヘテロ接合構造をもつ半導体レーザ素子として機能し、クラッド層103、105、活性層104に上記のような材料系が用いられる場合、クラッド層103、105および活性層104は、GaAs基板101に格子整合している。

10

【0058】

また、図3の半導体発光素子(半導体レーザ素子)では、コンタクト層106上に、さらに、絶縁膜である SiO_2 107と、p側電極108であるAuZn/Auとが形成され、また、素子の裏面には、n側電極109であるAuGe/Ni/Auが形成されている。

【0059】

なお、図3の例では、半導体発光素子は、絶縁膜ストライプ構造のものとなっているが、もちろん他の構造を用いることもできる。

【0060】

図4(a)、(b)は図3の半導体発光素子のクラッド層と活性層のバンド構造を説明するための図である。なお、図4(a)は活性層にN添加なしの $(Al_{0.2}Ga_{0.8})_{0.49}In_{0.51}P$ を用いた場合、図4(b)は活性層にN添加の $(Al_{0.2}Ga_{0.8})_{0.49}In_{0.51}N_{0.01}P_{0.99}$ を用いた場合のバンド構造をそれぞれ示している。 In 組成がクラッド層は0.49であるのに対し、活性層は0.51となっているが、これは、N添加により格子定数が小さくなるために、N添加した状態で格子定数がGaAs基板と同じになるように調整しているためである。図4(a)から、N添加なしの場合でも、 $(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.51}In_{0.49}P$ クラッド層の方が、 $(Al_{0.2}Ga_{0.8})_{0.49}In_{0.51}P$ 活性層よりもバンドギャップは大きいことがわかる。また、図4(b)から、Nの添加により、バンドギャップは E_{g1} から E_{g2} ($E_{g1} > E_{g2}$)と小さくなり、また、伝導帯のバンド不連続(ΔE_c)は、Nを添加する前の ΔE_{c1} よりもNを添加した後の ΔE_{c2} の方が大きくなっていることがわかる。

20

【0061】

このように活性層104を、N添加の $(Al_{0.2}Ga_{0.8})_{0.49}In_{0.51}N_{0.01}P_{0.99}$ とすることで、伝導帯のバンド不連続(ΔE_c)が大きい素子を形成することができた。そして、この半導体発光素子の発振波長は室温で650nmであった。これはGaAs基板に格子整合する $Ga_{0.51}In_{0.49}P$ を活性層に用いた素子と同じ波長であった。このように、得たい発振波長に対応するバンドギャップより大きなバンドギャップがあり、かつ、GaAsより大きな格子定数である適切な組成の材料にNを添加すると、GaAs基板に格子整合し、かつ、得たい発振波長である発光素子を得ることができる。

30

【0062】

図5には、比較のため、従来の一般的な構造である $(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.51}In_{0.49}P$ クラッド層、 $Ga_{0.51}In_{0.49}P$ 活性層によるバンド構造を示す。従来の一般的な構造である $(Al_{0.7}Ga_{0.3})_{0.51}In_{0.49}P$ クラッド層、 $Ga_{0.51}In_{0.49}P$ 活性層によるバンド構造では、 ΔE_c は略189meV、 ΔE_v は約224meVである。これに対し、図3の半導体発光素子では、 ΔE_c が189meVよりも充分大きくなるので、発振しきい値電流等の温度依存性は従来材料の素子より小さくなる。また、組成を適切に選べば、 ΔE_c を350meV以上にすることも可能である。ただし、N添加後の ΔE_v がホールを閉じ込めるのに必要な値以上(例えば60meV)になるような材料(組成)である必要がある。

40

【0063】

このように、本発明によれば、従来のAlGaInP系材料の素子より温度特性の良好な発光素子を得られる。なお、従来、発光効率向上のためにGaPやGaAsPにアイソエレクトロニックトラップの不純物としてNをドーブした発光ダイオードがある。Nの濃度

50

は $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下となっている。本発明では $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上 (N 組成 z を、 $z \geq \text{約} 0.4\%$) にすることでバンドギャップエネルギーが小さくなり、また伝導帯、価電子帯のエネルギーがともに小さくなる効果が十分に現われ、これらの作用効果を利用しているものである。

【0064】

また、本発明では、活性層に V 族元素として N (窒素) を含んだ III-V 族混晶半導体層 ($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{In}_{1-y}\text{N}_z\text{P}_{1-z}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, $0 < z < 1$)) を用いたが (例えば、活性層には、 $(\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8})_{0.49}\text{In}_{0.51}\text{N}_{0.01}\text{P}_{0.99}$ を用いたが)、必要に応じて、この組成を変えることができる。例えば、V 族に As が含まれていても良い。しかしながら、As の添加は波長を長くする効果があるので、短波長化するには $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{N}_z\text{P}_{1-z}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$, $0 < z < 1$) を用いることが好ましい。

10

【0065】

また、図 3 の例では、半導体発光素子 (半導体レーザ素子) は、通常のダブルヘテロ接合構造のものとなっているが、活性層を量子井戸層とし、活性層と $(\text{Al}_h\text{Ga}_{1-h})_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}$ ($0 < h \leq 1$) クラッド層との間に、バンドギャップがクラッド層よりも小さく活性層よりも大きい $(\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a})_b\text{In}_{1-b}\text{N}_c\text{P}_{1-c}$ ($0 \leq a \leq 1$, $0 < b < 1$, $0 \leq c < 1$) ガイド層を用いた構造のものにすることもできる。

【0066】

また、上述の例では、GaAs 基板として、その面方位が (100) 面から [011] 方向に 15° 傾いているものを用いたが、GaAs 基板としては、その面方位が、(100) 面から [011] 方向に -54.7° から 54.7° の範囲、または、(100) 面から [011] 方向に 10° から 54.7° , -10° から -54.7° の範囲で傾いているものであれば良く、この範囲のものであれば、自然超格子の形成を抑制できるので、バンドギャップの減少を防ぐことができ、(100) 面上に形成する場合に比べて、短波長化に有利である。また、活性層には、GaAs 基板と同じ格子定数の材料を用いたが、歪を有していても、ミスフィット転位が発生する臨界膜厚以下の厚さであれば良い。

20

【0067】

また、図 3 の例では、クラッド層 103, 105 に $(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}$ を用いたが、クラッド層 103, 105 として GaAs 基板に格子整合する $\text{Al}_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}$ を用いることもできる。

30

【0068】

図 6 は本発明に係る半導体発光素子の第 2 の構成例を示す図である。図 6 の半導体発光素子 (半導体レーザ素子) は、図 3 の半導体発光素子に対し、クラッド層 203 および 205 として GaAs 基板に格子整合する $\text{Al}_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}$ を用いている点で相違している。なお、図 6 の半導体発光素子の活性層 204 には、GaAs 基板に格子整合する $(\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5})_{0.49}\text{In}_{0.51}\text{N}_{0.01}\text{P}_{0.99}$ を用いている。

【0069】

図 7 (a), (b) は図 6 の半導体発光素子のクラッド層と活性層のバンド構造を説明するための図である。なお、図 7 (a) は活性層に N 添加なしの $(\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5})_{0.49}\text{In}_{0.51}\text{P}$ を用いた場合、図 7 (b) は活性層に N 添加の $(\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5})_{0.49}\text{In}_{0.51}\text{N}_{0.01}\text{P}_{0.99}$ を用いた場合のバンド構造をそれぞれ示している。図 7 (a) から、活性層に N を添加する前の材料では、伝導帯のエネルギー E_c は、クラッド層よりも活性層の方が大きい (ΔE_c が負の値) ことがわかる。これに対し、図 7 (b) から、活性層に N を添加することで、バンドギャップは小さく ($E_{g1} > E_{g2}$) なり、更に伝導帯及び価電子帯のエネルギー ΔE_c , ΔE_v が小さくなることがわかる。すなわち、活性層の伝導帯側のエネルギーをクラッド層より小さくできることがわかる。実際、図 6 の半導体発光素子の発振波長は約 600 nm であった。

40

【0070】

従来、活性層には $(\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a})_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}$ ($0 \leq a < 1$) が用いられ、クラッド層には GaAs 基板に格子整合する $(\text{Al}_h\text{Ga}_{1-h})_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}$ ($a < h \leq 1$) が用いられて

50

いるが、その中で、クラッド層には $h = 0.7$ の材料が良く用いられている。何故ならば、 $h > 0.7$ の材料では間接遷移型になるので、伝導帯のバンド不連続 (ΔE_c) は小さくなってしまい、 $h = 0.7$ で最も大きな ΔE_c となるためである。

【0071】

しかしながら、本発明では、Nの添加によりバンドギャップは小さくなるが、 ΔE_c を大きく、 ΔE_v を小さくすることができ、Nを添加する前の材料を必要に応じて選ぶことで任意のバンドオフセット比のヘテロ接合を形成できる。このため、Nを添加する前の材料は ΔE_c が小さく、 ΔE_v が大きい材料が好ましい。

【0072】

例えば、GaInPは、Gaの組成を大きくすると伝導帯のエネルギーが大きくなり ΔE_c が小さくなる。また、AlInPは、Al組成が0.51以下のときに、 $Al_{0.51}In_{0.49}P$ よりも伝導帯のエネルギーが大きくなりうる材料である。従って、これらの混晶を組み合わせた材料にNを添加することで、任意のバンドオフセット比のヘテロ接合を形成でき、このため、クラッド層にはバンドギャップの大きい $Al_{0.51}In_{0.49}P$ を用いるのが好ましい。ただし、N添加後の ΔE_v がホールを閉じ込めるのに必要な値以上(例えば60 meV)になるような材料(組成)を用いる必要がある。

【0073】

図8は本発明に係る半導体発光素子の第3の構成例を示す図である。図8の半導体発光素子(半導体レーザ素子)は、図6の半導体発光素子に対し、活性層とクラッド層との間に、GaAs基板に格子整合する $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}N_zP_{1-z}$ ($0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 < z < 1$) からなるガイド層301、303及びバリア層302を設け、活性層を厚さ3 nm程度の量子井戸層204(10井戸層)として構成している点で、相違している。

【0074】

ここで、ガイド層のバンドギャップは、活性層よりも大きく、クラッド層よりも小さい。実際、図8の半導体発光素子の発振波長は約560 nmであった。

【0075】

上述の各構成例のように、本発明では、大きいバンドギャップの活性層を用いても従来無駄に大きかった ΔE_v を小さくして、その分 ΔE_c を大きくすることができるので、従来実現できなかった600 nm以下の短波長レーザを室温で発振させることができる。すなわち、従来、岸野らによる文献「1991 信学春季大 GC-1 pp4-437」には、 $\Delta E_c = 120$ meV、 $\Delta E_v = 320$ meVである $Al_{0.5}In_{0.5}P$ バリア層と $Ga_{0.5}In_{0.5}P$ 井戸層を用いた多重量子井戸構造とMQBを用いて、発振波長608 nmでの室温パルス発振が報告されているが、本発明のように、 ΔE_v が例えば60 meV、 ΔE_c が120 meVである $Al_{0.5}In_{0.5}P$ バリア層と $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}N_zP_{1-z}$ ($0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 < z < 1$) 井戸層を用いれば、室温で発振波長を約540 nm程度まで短かくすることができる。

【0076】

図9は本発明に係る半導体発光素子の第4の構成例を示す図である。図9の半導体発光素子(半導体レーザ素子)は、GaP基板401上に形成されており、クラッド層403、406およびバリア層405(バリア層の厚さは2 nm)には $Al_{0.5}Ga_{0.5}P$ が用いられている。また、活性層には、厚さ3 nmの $Ga_{0.7}In_{0.3}N_{0.01}P_{0.99}$ 井戸層404(10井戸層)が用いられており、この井戸層404は、2.1%程度の圧縮歪を有している。なお、図9において、402はn-GaPバッファ層、407はGaPコンタクト層、408は絶縁膜である SiO_2 、409はp側電極、410はn側電極である。

【0077】

なお、図9の例では、半導体発光素子は、絶縁膜ストライプ構造のものとなっているが、もちろん他の構造を用いることもできる。

【0078】

図10は図9の半導体発光素子のクラッド層と活性層のバンド構造を説明するための図である。なお、図10(a)は活性層にN添加なしの $Ga_{0.7}In_{0.3}P$ を用いた場合、図10

10

20

30

40

50

(b)は活性層にN添加の $\text{Ga}_{0.7}\text{In}_{0.3}\text{N}_{0.01}\text{P}_{0.99}$ を用いた場合のバンド構造をそれぞれ示している。図10(a)から、活性層にNを添加していない場合には伝導帯のエネルギーは活性層の方が大きい(ΔE_c が負の値)ことがわかる。また、図10(b)から、活性層にNを添加することで、活性層の伝導帯側のエネルギー E_c をクラッド層より小さくでき、活性層にキャリアを閉じ込めることができる。

【0079】

図9の半導体発光素子の発振波長は、約560nmであった。そして、活性層として、できるだけ格子定数の小さい $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{P}$ ($0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$)にNを添加した材料を用いると、同じバンドギャップの材料を得るためにAl含有量を少なくできるという利点がある。

【0080】

図11は本発明に係る半導体発光素子の第5の構成例を示す図である。図11の半導体発光素子(半導体レーザ素子)は、図9の半導体発光素子に対し、 $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{P}$ をガイド層502、503およびバリア層405(バリア層の厚さは2nm)に用い、さらに、クラッド層501、504にAlPを用いている点において、相違している。

【0081】

図12は図11の半導体発光素子のクラッド層と活性層のバンド構造を説明するための図である。図12から、伝導帯のエネルギーはクラッド層よりもガイド層の方が大きくなっていることがわかる。すなわち、図11の構造では、伝導帯側での活性層へのキャリア(電子)の閉じ込めは、ガイド層が行なう。そして、クラッド層を構成するAlPの屈折率がガイド層を構成する $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{P}$ よりも小さいので、図9の半導体発光素子に比べて光の閉じ込めを良好に行なうことが可能となる。これにより、しきい値電流を小さくできた。なお、組成は、光ガイド層が $\text{Al}_c\text{Ga}_{1-c}\text{P}$ ($0 \leq c < 1$)であり、クラッド層が $\text{Al}_d\text{Ga}_{1-d}\text{P}$ ($c < d \leq 1$)であれば、上述の組成に限らず、他の組成でも良い。

【0082】

図13は本発明に係る半導体発光素子の第6の構成例を示す図である。図13の半導体発光素子(半導体レーザ素子)は、GaAs基板601上に、 $n\text{-Ga}_{0.72}\text{In}_{0.28}\text{P}$ バッファ層604、 $(\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5})_{0.72}\text{In}_{0.28}\text{P}$ クラッド層605、607、 $\text{Ga}_{0.70}\text{In}_{0.30}\text{N}_{0.01}\text{P}_{0.99}$ 活性層606からなるダブルヘテロ接合構造が、格子緩和バッファ層である $\text{GaAs}_k\text{P}_{1-k}$ ($0 < k < 1$)を介して形成されている。

【0083】

ここで、格子緩和バッファ層は、GaAs基板601上に、 $k=0$ から0.6まで徐々に組成が変化する組成傾斜層602と、その上の $k=0.6$ の層603とからなっており、格子緩和バッファ層(602、603)全体の層厚は約40 μm である。この場合、上記ダブルヘテロ接合構造は、 $k=0.6$ の $\text{GaAs}_k\text{P}_{1-k}$ 上に形成される。そして、クラッド層605、607および活性層606は、 $\text{GaAs}_{0.6}\text{P}_{0.4}$ に対してほぼ格子整合している。なお、図13において、608は $\text{GaAs}_{0.6}\text{P}_{0.4}$ コンタクト層、609は絶縁膜である SiO_2 、610はp側電極、611はn側電極である。

【0084】

このように、図13の素子では、格子緩和バッファ層(602、603)の存在により、GaAs基板とダブルヘテロ接合構造部との格子不整合による歪は緩和され、このため、図9の素子に比べて活性層を厚く形成できる。

【0085】

なお、図13の例では、半導体発光素子は、絶縁膜ストライプ構造のものとなっているが、もちろん他の構造を用いることもできる。

【0086】

また、図13の例では、素子が通常のダブルヘテロ接合構造をもつものとしたが、活性層を量子井戸層とし、活性層と $(\text{Al}_s\text{Ga}_{1-s})_t\text{In}_{1-t}\text{P}$ ($0 \leq s \leq 1$, $0.5 < t \leq 1$)クラッド層との間に、バンドギャップがクラッド層よりも小さく活性層よりも大きい $(\text{Al}_e\text{Ga}_{1-e})_f\text{In}_{1-f}\text{P}$ ($e < s \leq 1$, $t = f$)ガイド層を用いた構造のものにすることもでき

10

20

30

40

50

る。また、基板601として、 $GaAs_kP_{1-k}$ ($0 < k < 1$) 基板を用いることもでき、この場合にも、 $GaAs$ 基板を用いる場合と同様の効果が得られる。なお、 $GaAs_kP_{1-k}$ ($0 < k < 1$) 基板は、例えば $GaAs$ 上にVPE法により $GaAs_kP_{1-k}$ ($0 < k < 1$) を厚く成長し、その後、 $GaAs$ 基板をエッチングにより除去することで形成できる。

【0087】

図14は本発明に係る半導体発光素子の第7の構成例を示す図である。なお、図14の例では、半導体発光素子は、発光ダイオードとして構成されている。図14を参照すると、この半導体発光素子は、 $GaAs$ 基板701上に形成されており、クラッド層703、705に、 $GaAs$ 基板701と格子整合する $Al_{0.5}In_{0.5}P$ が用いられ、また、活性層704には $GaAs$ 基板701に格子整合する $(Al_{0.6}Ga_{0.4})_{0.49}In_{0.51}N_{0.01}P_{0.99}$ が用いられている。ここで、活性層には、n型となる不純物のSeがドーピングされている。また、図14において、702はn- $GaAs$ バッファ層、706は $GaAs$ コンタクト層、707はp側電極、708はn側電極である。

10

【0088】

図14の発光ダイオードでは、発光中心波長は約590nmであった。すなわち、黄色であった。また、活性層にNを添加することで、従来に比べて ΔE_c を大きくできるので、発光効率は非常に高かった。

【0089】

なお、活性層にドーピングされるn型となる不純物としては、Seの他にS、Siを用いることができた。また、n型だけでなくp型でも良く、不純物としてはZn、Mg、C、Beなどを用いることができた。また、活性層の組成は必要な波長(色)に合わせて任意に選ぶことができる。また、活性層には量子井戸構造を用いても良く、例えば図8の組成の活性層を用いても、560nmなど緑色の発光ダイオードを実現できる。

20

【0090】

図15は本発明に係る半導体発光素子の第8の構成例を示す図である。なお、図15の例では、半導体発光素子は、発光ダイオードとして構成されている。図15を参照すると、この半導体発光素子は、 GaP 基板801上に形成されており、クラッド層803、806およびバリア層805(バリア層の厚さは2nm)には $Al_{0.5}Ga_{0.5}P$ が用いられ、活性層には厚さ3nmの $Ga_{0.75}In_{0.25}N_{0.01}P_{0.99}$ 井戸層804(10井戸層)が用いられている。ここで、井戸層804は、1.7%程度の圧縮歪を有している。また、図15において、802はn- GaP バッファ層、807は GaP コンタクト層、808はp側電極、809はn側電極である。

30

【0091】

図15の構成例では、 GaP 基板上に直接遷移型材料によって圧縮歪量の小さい歪量子井戸活性層を形成できる。すなわち、Nを添加してしていない場合の $Ga_{0.75}In_{0.25}P$ は間接遷移型の材料であり、また、 $Ga_{0.75}In_{0.25}N$ は直接遷移型の材料である。このため、 $Ga_{0.75}In_{0.25}P$ にNを添加すると、あるN組成のところで間接遷移型から直接遷移型に変わる。Nを添加する前の材料が間接遷移型と直接遷移型の境界付近の間接遷移型であれば、わずかのN組成で直接遷移型に変わる。このように、間接遷移型(Al_xGa_{1-x}) $_yIn_{1-y}P$ ($0 \leq x \leq 1$ 、 $0 < y \leq 1$) にNを添加して直接遷移型にすることが可能である。これにより、図15の構成例では、 GaP 基板上に直接遷移型材料によって圧縮歪量の小さい歪量子井戸活性層を形成できる。さらに、従来の直接遷移型材料よりも Γ 帯のエネルギーの大きい材料にNを添加しているので、短波長化が可能となる。

40

【0092】

また、図15の構成例は、発光ダイオードとなっているが、間接遷移型(Al_xGa_{1-x}) $_yIn_{1-y}P$ ($0 \leq x \leq 1$ 、 $0 < y \leq 1$) にNを添加すると、直接遷移型にすることが可能となることから、間接遷移型(Al_xGa_{1-x}) $_yIn_{1-y}P$ ($0 \leq x \leq 1$ 、 $0 < y \leq 1$) にNを添加するものを、半導体レーザの活性層として用いることもできる。また、間接遷移型の材料にNを添加して直接遷移型とならない材料でも間接遷移のX帯またはL帯と直接遷移の Γ 帯のエネルギー差を小さくできることから、直接遷移発光確率を増大させることが可能

50

となり、発光ダイオードの発光効率を高くすることもできる。もちろん、本発明はGaP基板上に形成する材料のみならず、GaAs基板上の $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}N_zP_{1-z}$ ($0 \leq x \leq 1$ 、 $0 < y \leq 1$ 、 $0 < z < 1$)等にも適用できる。

【0093】

このように、図3～図15に示したような本発明の半導体発光素子では、活性層に $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}N_zP_{1-z}$ ($0 \leq x < 1$ 、 $0 \leq y < 1$ 、 $0 < z < 1$)を用いているので、N添加前の $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ ($0 \leq x \leq 1$ 、 $0 < y \leq 1$)へのN添加により、バンドギャップは小さくなるが、 ΔE_c を大きく、 ΔE_v を小さくでき、Nを添加する前の材料を必要に応じて選ぶことで、任意のバンドオフセット比のヘテロ接合を形成できる。これにより、活性層のバンドギャップが同じ材料と比較すると、キャリアのオーバーフローを低減でき、温度特性の良好な可視レーザや発光ダイオードを実現できる。また、従来よりバンドギャップの大きい材料を活性層に用いてもヘテロ障壁 ΔE_c および ΔE_v をともにレーザ発振するために必要なほど大きくできる。このため、室温で発振波長600nm以下の半導体レーザを提供することができる。

10

【0094】

従って、本発明におけるこれらの発光素子は、カラーディスプレイ等に用いられる高輝度緑色～赤色発光ダイオード等や、光書き込み用等に用いられる可視光半導体レーザとして用いることができる。

【0095】

【発明の効果】

20

以上に説明したように、請求項1記載の半導体レーザ素子によれば、半導体基板上に、V族元素としてN（窒素）を含んだIII-V族混晶半導体層が活性層として用いられ、さらに一對のクラッド層が設けられている半導体レーザ素子において、前記活性層は、GaP基板上に形成されていて、前記一對のクラッド層間に設けられており、前記活性層は $Ga_yIn_{1-y}N_zP_{1-z}$ ($0 \leq y < 1$ 、 $0 < z < 1$)からなる直接遷移材料の井戸層とバリア層とが交互に積層されたものであり、前記一對のクラッド層および前記バリア層には、 $Al_bGa_{1-b}P$ ($0 \leq b \leq 1$)が用いられている。 $Al_bGa_{1-b}P$ よりも伝導帯のエネルギーが充分小さくかつ価電子帯のエネルギーが大きく活性層となるような $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ ($0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$)材料は従来存在せず、Nを添加することでバンドギャップエネルギーは小さくなるが、伝導帯、価電子帯のエネルギーがともに小さくなるので、任意のバンドオフセット比のヘテロ接合を形成することが可能となる。このため、活性層よりバンドギャップが大きく屈折率の小さい組成を選んでクラッド層または光ガイド層とすることで、 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}N_zP_{1-z}$ ($0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 < z < 1$)を活性層として、この活性層にキャリアと光を閉じ込めることが可能となる。

30

【0096】

また、V族元素としてN（窒素）を含んだIII-V族混晶半導体層のNの濃度が $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 程度以下ではアイソエレクトロニックトラップからの発光が支配的であるが、Nの濃度を $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以上とすることで、バンドギャップエネルギーが小さくなり、また、伝導帯、価電子帯のエネルギーがともに小さくなる効果が十分に現われ、組成を選ぶことにより従来にはない任意のバンドオフセット比のヘテロ接合を形成することができる。

40

また、上記V族元素としてN（窒素）を含んだIII-V族混晶半導体層はNの添加により格子定数が小さくなるので、GaP基板上に形成した場合、圧縮歪量を小さくできる。

【0103】

また、請求項2記載の半導体レーザ素子によれば、光ガイド層として $Al_cGa_{1-c}P$ ($0 \leq c < 1$)を用い、クラッド層として $Al_dGa_{1-d}P$ ($c < d \leq 1$)を用いているので、 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}N_zP_{1-z}$ ($0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 < z < 1$)を活性層としたSCH (Separate Confinement He

50

ter o s t r u c t u r e) 構造の素子を形成できる。この場合、伝導帯、価電子帯ともに活性層とのヘテロ障壁を大きくできる $\text{Al}_c\text{Ga}_{1-c}\text{P}$ ($0 \leq c < 1$) 光ガイド層でキャリアの閉じ込めを行ない、屈折率の小さい $\text{Al}_d\text{Ga}_{1-d}\text{P}$ ($c < d \leq 1$) で光の閉じ込めを行なうことができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】GaP 基板上に形成された従来の半導体発光素子のバンド構造の例を示す図である。

【図 2】 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{P}$ と $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{P}$ に N を添加した $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{N}_z\text{P}_{1-z}$ とを接合した場合のバンド構造を示す図である。

【図 3】本発明に係る半導体発光素子の第 1 の構成例を示す図である。

10

【図 4】図 3 の半導体発光素子のクラッド層と活性層のバンド構造を説明するための図である。

【図 5】従来の一般的な構造である $(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}$ クラッド層、 $\text{Ga}_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}$ 活性層によるバンド構造を示す図である。

【図 6】本発明に係る半導体発光素子の第 2 の構成例を示す図である。

【図 7】図 6 の半導体発光素子のクラッド層と活性層のバンド構造を説明するための図である。

【図 8】本発明に係る半導体発光素子の第 3 の構成例を示す図である。

【図 9】本発明に係る半導体発光素子の第 4 の構成例を示す図である。

【図 10】図 9 の半導体発光素子のクラッド層と活性層のバンド構造を説明するための図である。

20

【図 11】本発明に係る半導体発光素子の第 5 の構成例を示す図である。

【図 12】図 11 の半導体発光素子のクラッド層と活性層のバンド構造を説明するための図である。

【図 13】本発明に係る半導体発光素子の第 6 の構成例を示す図である。

【図 14】本発明に係る半導体発光素子の第 7 の構成例を示す図である。

【図 15】本発明に係る半導体発光素子の第 8 の構成例を示す図である。

【符号の説明】

101	n-GaAs 基板
102	バッファ層
103	クラッド層
104	活性層
105	クラッド層
106	コンタクト層
107	絶縁膜
108	p 側電極
109	n 側電極
203, 205	クラッド層
204	活性層
301, 303	ガイド層
302	バリア層
401	GaP 基板
402	バッファ層
403, 406	クラッド層
405	バリア層
407	コンタクト層
408	絶縁膜
409	p 側電極
410	n 側電極
501, 504	クラッド層

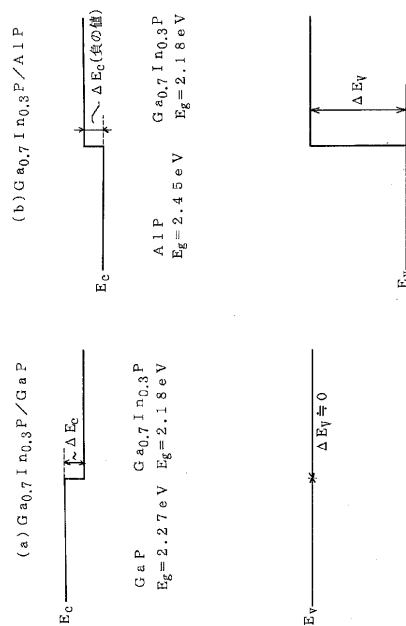
30

40

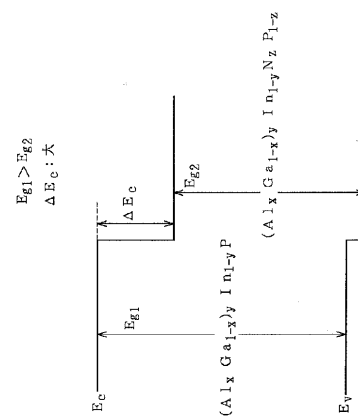
50

502, 503	ガイド層
601	GaAs 基板
602, 603	格子緩和バッファ層
604	バッファ層
605, 607	クラッド層
606	活性層
608	コンタクト層
609	絶縁膜
611	n側電極
610	p側電極
701	GaAs 基板
702	バッファ層
703, 705	クラッド層
704	活性層
706	コンタクト層
707	p側電極
708	n側電極
801	GaP 基板
802	バッファ層
803, 806	クラッド層
805	バリア層
804	活性層
807	コンタクト層
808	p側電極
809	n側電極

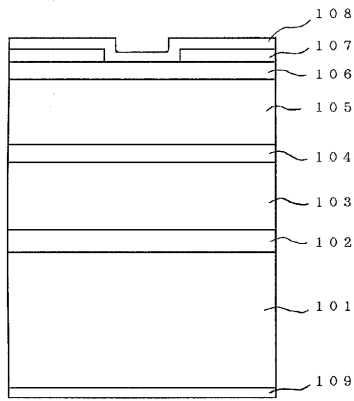
【図1】



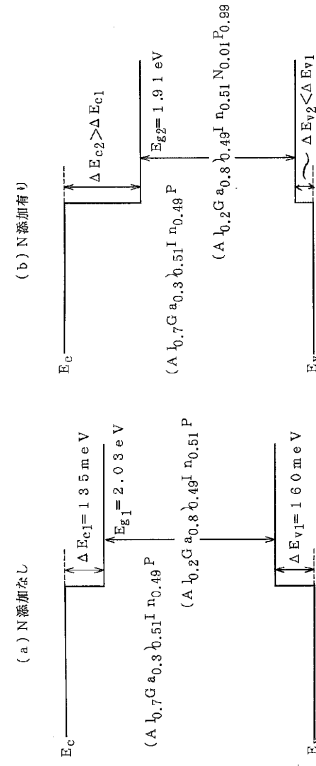
【図2】



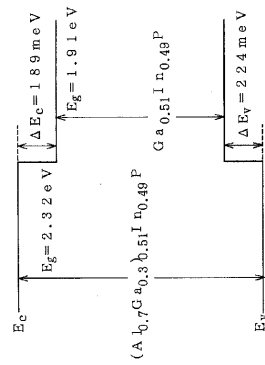
【図 3】



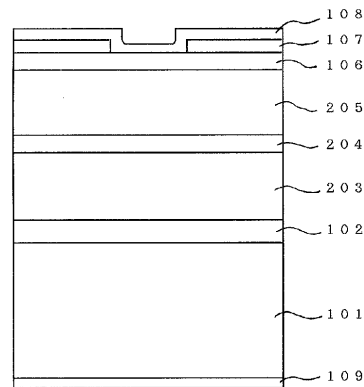
【図 4】



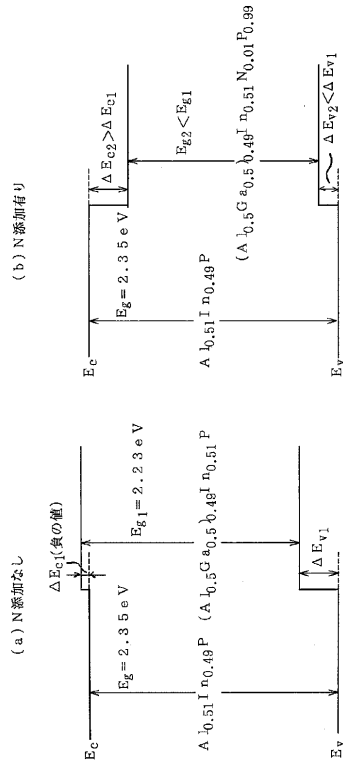
【図 5】



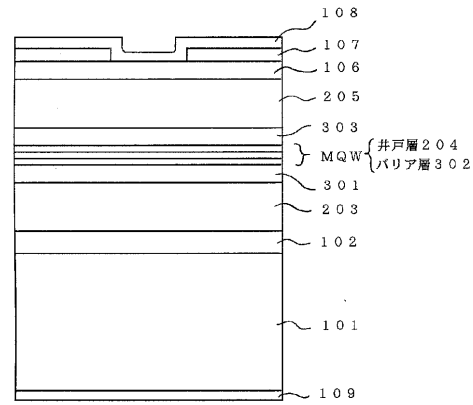
【図 6】



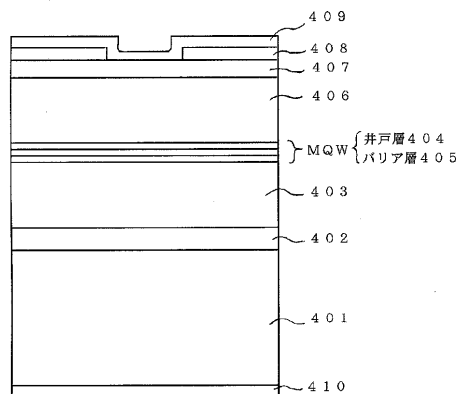
【図 7】



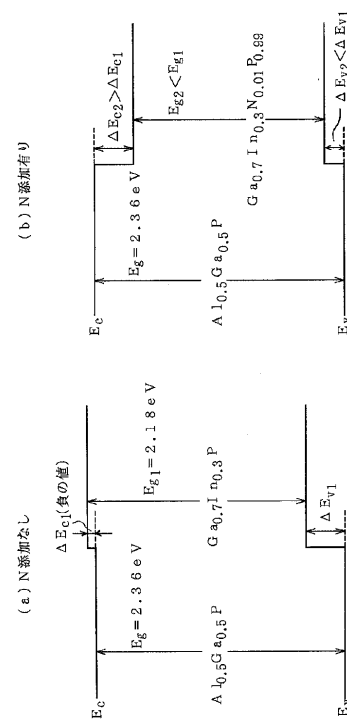
【図 8】



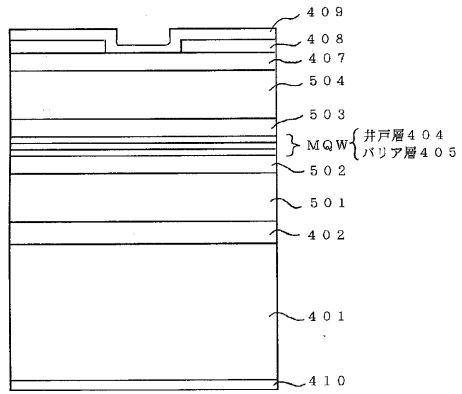
【図 9】



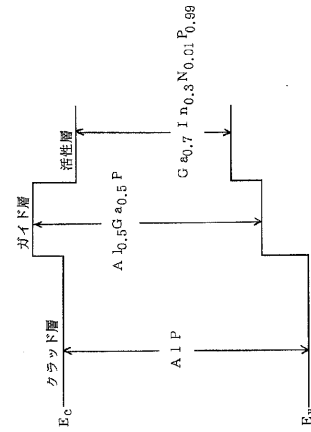
【図 10】



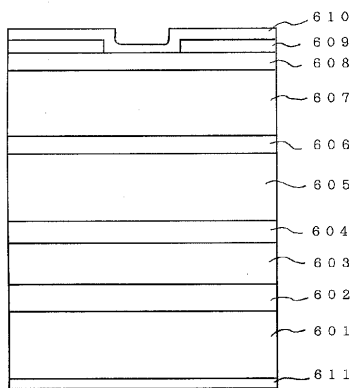
【図 1 1】



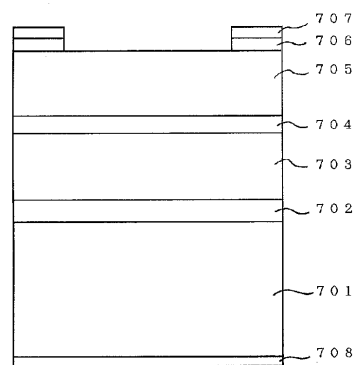
【図 1 2】



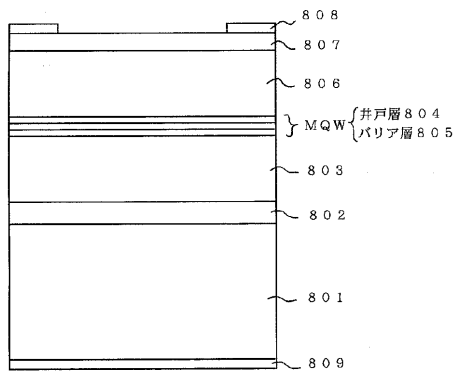
【図 1 3】



【図 1 4】



【図 15】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平6-283760 (JP, A)
特開平6-334168 (JP, A)
特開平8-56054 (JP, A)
特開平8-195522 (JP, A)

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