

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4025227号
(P4025227)

(45) 発行日 平成19年12月19日(2007.12.19)

(24) 登録日 平成19年10月12日(2007.10.12)

(51) Int. Cl. F I
 HO 1 S 5/323 (2006.01) HO 1 S 5/323
 HO 1 S 5/34 (2006.01) HO 1 S 5/34

請求項の数 3 (全 16 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2003-78955 (P2003-78955) (22) 出願日 平成15年3月20日 (2003.3.20) (65) 公開番号 特開2004-6732 (P2004-6732A) (43) 公開日 平成16年1月8日 (2004.1.8) 審査請求日 平成16年6月7日 (2004.6.7) (31) 優先権主張番号 特願2002-94598 (P2002-94598) (32) 優先日 平成14年3月29日 (2002.3.29) (33) 優先権主張国 日本国 (JP)</p> <p>前置審査</p>	<p>(73) 特許権者 000003078 株式会社東芝 東京都港区芝浦一丁目1番1号 (74) 代理人 100075812 弁理士 吉武 賢次 (74) 代理人 100088889 弁理士 橘谷 英俊 (74) 代理人 100082991 弁理士 佐藤 泰和 (74) 代理人 100096921 弁理士 吉元 弘 (74) 代理人 100103263 弁理士 川崎 康</p>
--	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体積層基板および光半導体素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

G a A s からなり主面を有する基板と、
 前記基板の前記主面上に形成され、 $I n_j G a_{1-j} A s_{1-k} N_k$ ($0 < j < 1, 0 < k < 0.05$) からなるバッファ層と、
 前記バッファ層上に形成された第1導電型クラッド層と、
 前記第1導電型クラッド層上に形成され、井戸層を有し、前記井戸層は $I n_z G a_{1-z} A s$ ($0 < z < 1$) からなりバンドギャップが前記第1導電型クラッド層よりも小さく膜厚が前記基板に対する熱平衡理論による臨界膜厚以上で、かつクラックが発生しない膜厚である、活性層と、

前記活性層上に形成され、前記井戸層よりもバンドギャップが大きい第2導電型クラッド層と、

を備え、

前記バッファ層の $I n$ 組成 j が 0.05 以上 0.30 以下であり、

前記井戸層の $I n$ 組成 z が 0.35 以上 0.50 以下であり、

前記バッファ層の膜厚が、 2 nm 以上 40 nm 以下であり、

前記井戸層の膜厚が 4 nm 以上 20 nm 以下であり、

前記基板と、前記バッファ層と、の格子定数差が 2.9% 以内であることを特徴とする光半導体素子。

【請求項2】

前記活性層から電流注入により放射される光の波長が、 $1.25\ \mu\text{m}$ 以上 $1.6\ \mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項1記載の光半導体素子。

【請求項3】

前記基板と、前記井戸層と、の格子定数差が1%以上であることを特徴とする請求項1または2に記載の光半導体素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体積層基板および光半導体素子に関する。

【0002】

【従来の技術】

長波長($1.25\ \mu\text{m}$ ~ $1.6\ \mu\text{m}$)の光半導体素子、特に発光波長 $1.3\ \mu\text{m}$ 帯(1.25 ~ $1.35\ \mu\text{m}$)の光半導体素子は、光通信用の発光素子あるいは受光素子として注目されている。この長波長の半導体発光素子としては、従来、InPからなる基板(支持基板)上に、InGaAsP系材料からなる活性層(発光層)を形成した構造が用いられていた。この構造では、活性層と基板との格子定数差が小さく、その製造が容易である。

【0003】

もっとも、上記のInP基板を用いた半導体発光素子は、高価である。これは、InP基板が高価であるためである。また、このInP基板を用いた素子は、温度特性が悪い。このため、上記のInP基板を用いた半導体発光素子には、高価で、温度特性が悪いという問題があった。そこで、安価で温度特性に優れた長波長の光半導体素子を得るために、GaAs基板と、InGaAs系材料からなる活性層と、を用いた素子の開発が進められている。このGaAs基板は、トランジスタや波長 $0.98\ \mu\text{m}$ の光半導体素子等で汎用されており(例えば特開平7-94524号公報)、安価で、加工が容易であるという利点がある。この利点を生かして、長波長の光半導体素子においても、安価な素子を得るべく、GaAs基板を用いた素子の開発が進められている。

【0004】

【特許文献1】

特開平7-94524号公報

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、このGaAs基板を用いた長波長の半導体発光素子にも、発光強度が弱くなってしまおうという問題点があった。これは、InGaAs活性層の格子定数がGaAs基板に比べて大きく、しかもこれらの格子定数差が大きいためである。そして、これにより活性層に転移が発生しやすいからである。やや詳しく説明すれば、次のとおりである。

【0006】

すなわち、InGaAsでは、In組成を高くするほど、バンドギャップ波長が長くなる。このため、InGaAs活性層を用いて長波長の光半導体素子を得るためには、活性層のIn組成を高くする必要がある。これに加え、長波長の光半導体素子を得るためには、活性層の膜厚を厚く(約 $4\ \text{nm}$ 以上に)する必要がある。これは、活性層の膜厚を薄くすると、量子効果により、短波長化が起こってしまうからである。これらのため、InGaAs活性層を用いて長波長の光半導体素子を得るためには、In組成が高くかつ膜厚が厚い活性層を形成する必要がある。ところが、この活性層のIn組成を高くすると、InGaAs活性層とGaAs基板との格子定数差が大きくなる。これにより、活性層の基板に対する熱平衡理論による臨界膜厚が、薄く(約 $4\ \text{nm}$ 未満に)になってしまう。この臨界膜厚より厚い活性層には、通常、多数の転移が発生する。この結果、従来、GaAs基板を用いた長波長の光半導体素子では、活性層に多数の転移が発生して、発光強度が極端に弱くなってしまった。

【0007】

上記の活性層の転移を防止するための方法として、活性層に窒素(N)を混入して活性層

10

20

30

40

50

の格子定数を小さくする方法が行われていた。この方法は、活性層の基板に対する熱平衡理論による臨界膜厚を厚くする方法である。しかし、この方法では、活性層の窒素の濃度が上がることにより、発光強度が弱くなってしまふ。このため、この方法では、発光強度を十分に強くすることはできなかつた。また、上記の活性層の転移を防止するため他の方法として、基板と活性層との間にバッファ層を導入する方法も試みられていた。この方法は、活性層を基板に対する熱平衡理論による臨界膜厚以上の厚さに形成しても、活性層の転移が増えないようにする方法である。この方法は、活性層と基板との格子定数差が小さい材料系では、一定の効果が得られている。しかし、従来のバッファ層では、基板と活性層との格子定数差が大きい場合には、活性層の転移を十分に減らすことができなかつた。このため、このバッファ層を用いる方法でも、発光強度を十分に強くすることはできなかつた。

10

【0008】

このように、従来、GaAs基板を用いた長波長の半導体発光素子には、発光強度が弱くなってしまふという問題があつた。

【0009】

また、上記のGaAs基板を用いた長波長の光半導体素子と同様に、半導体積層基板でも、基板と半導体層との格子定数差が大きくなると、高い特性が得られないという問題があつた。

【0010】

すなわち、一般に、半導体素子は、厚さ数百 μm の半導体基板上に厚さ数 μm の半導体層を積層した半導体積層基板を用いて形成される。この半導体積層基板では、基板と、半導体層との格子定数差が大きくなると、半導体層の転移が増加しやすくなる。これは、この格子定数差が大きくなると、半導体層の基板に対する熱平衡理論による臨界膜厚が薄くなるからである。そして、半導体層をこの臨界膜厚以上の厚さで形成すると、転移が発生しやすくなるからである。このため、半導体素子では、基板と、半導体層との格子定数差をなるべく小さくしている。

20

【0011】

もっとも、半導体素子で汎用されている基板は、現在、Si基板、GaAs基板、InP基板、GaP基板、InAs基板、等に限定されており、あらゆる格子定数の基板があるわけではない。このため、特定の機能の半導体層を基板上に形成しようとするとき、半導体層と基板との格子定数差が生じてしまう場合も多い。そこで、このような格子定数差があつても半導体層の転移を少なくする方法として、基板と半導体層との間に、これらの間の格子定数を有するバッファ層を成長する方法が試みられている。この方法は、例えば上述の特開平7-94524号公報に記載されている。この方法では、基板と半導体層との間の格子定数差が小さい場合には、バッファ層で転移を吸収し、半導体層の転移が低減される。

30

【0012】

しかし、この方法では、基板と半導体層との格子定数差が大きくなると、バッファ層自体に歪がかかり、バッファ層全体に弾性変形の歪エネルギーが蓄積される。そして、この歪エネルギーが転移のエネルギーよりも大きくなると、転移の発生を防ぐことが困難となる。このため、従来のバッファ層では、基板と半導体層との格子定数差が大きくなると、この格子定数差の影響を緩和することが困難となる。具体的には、格子定数差が1%以上になると、格子定数差の影響を緩和することが困難となり、半導体層の転移を十分に減らすことができなかつた。

40

【0013】

このように、半導体積層基板には、基板と半導体層との格子定数差が大きくなると、高い特性が得られないという問題があつた。これは、半導体層を熱平衡理論による臨界膜厚以上の膜厚でかつ転移が少ない層にすることが困難だからである。

【0014】

本発明は、かかる課題の認識に基づくものであり、その目的は、長波長の光半導体素子に

50

において、GaAs基板を用いて、低コストでかつ特性が高い素子を得ることである。また、基板と半導体層とを備える半導体積層基板において、前記半導体層を、基板に対する熱平衡理論による臨界膜厚以上の膜厚でかつ転移が少ない層にすることである。

【0015】

【課題を解決するための手段】

本発明の一態様によれば、GaAsからなり主面を有する基板と、
 前記基板の前記主面上に形成され、 $In_jGa_{1-j}As_{1-k}N_k$ ($0 < j < 1$ 、 $0 < k < 0.05$) からなるバッファ層と、
 前記バッファ層上に形成された第1導電型クラッド層と、
 前記第1導電型クラッド層上に形成され、井戸層を有し、前記井戸層は $In_zGa_{1-z}As$ ($0 < z < 1$) からなりバンドギャップが前記第1導電型クラッド層よりも小さく膜厚が前記基板に対する熱平衡理論による臨界膜厚以上で、かつクラックが発生しない膜厚である、活性層と、
 前記活性層上に形成され、前記井戸層よりもバンドギャップが大きい第2導電型クラッド層と、
 を備え、
 前記バッファ層のIn組成jが0.05以上0.30以下であり、
 前記井戸層のIn組成zが0.35以上0.50以下であり、
 前記バッファ層の膜厚が、2nm以上40nm以下であり、
 前記井戸層の膜厚が4nm以上20nm以下であり、
 前記基板と、前記バッファ層と、の格子定数差が2.9%以内であることを特徴とする光半導体素子が提供される。

【0017】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態について詳細な説明を行う前に、本発明の前提となる、本発明者の独自の実験の結果について説明する。

【0018】

本発明の特徴の1つは、基板と、半導体層と、の間にバッファ層を設け、このバッファ層を $In_jGa_{1-j}As_{1-k}N_k$ ($0 < j < 1$ 、 $0 < k < 0.05$) により構成した点である。これにより、Si、GaAs、InP、GaP、InAs、のいずれかからなる基板の上に、当該基板と格子定数差が1%以上ある半導体層を、基板に対する熱平衡理論による臨界膜厚 (critical thickness for the substrate based upon the equilibrium theories) 以上の膜厚でかつ転移が少なくなくなるように形成することができる。以下、図1を用いて説明する。

【0019】

図1は本発明者が実験に用いた半導体積層基板を示す概略断面図である。厚さ300μmのGaAs基板1上には、バッファ層2を介して、 $In_y(Ga_{1-x}Al_x)_{1-y}As$ ($0 < x < 1$ 、 $0 < y < 0.1$) からなる第1導電型クラッド層3、 $In_zGa_{1-z}As$ ($z = 0.4$) からなる活性層(井戸層)5、 $In_y(Ga_{1-x}Al_x)_{1-y}As$ ($0 < x < 1$ 、 $0 < y < 0.1$) からなる第2導電型クラッド層7、が順次形成されている。活性層5を構成する $In_{0.4}Ga_{0.6}As$ の格子定数は約0.580nm、基板1を構成するGaAsの格子定数は約0.565nm、であり、両者の格子定数は約2.7%異なる。

【0020】

本発明者は、図1の半導体積層基板において、活性層5の膜厚と、バッファ層2の材質および膜厚と、活性層5の転移と、の関係を調べた。活性層5の膜厚は、2nmと、8nmと、に変化させた。この膜厚2nmは基板1に対する熱平衡理論による臨界膜厚未満であり、膜厚8nmは基板1に対する熱平衡理論による臨界膜厚以上である。その結果、バッファ層2の材質を $In_jGa_{1-j}As_{1-k}N_k$ ($0 < j < 1$ 、 $0 < k < 0.05$) とし、このバッファ層の膜厚を2nm以上40nm以下とすることで、活性

層5の膜厚を8nmにしても、活性層5の転移を少なくすることができることが分かった。

【0021】

具体的には、まず、活性層5の膜厚を2nmとした場合は、X線回折測定による第2導電型クラッド層7の半値幅は20秒であった。つまり、活性層5およびその上に形成された第2導電型クラッド層7の転移は少なかった。

【0022】

次に、活性層5の膜厚を8nmとし、 $In_j Ga_{1-j} As_{1-k} N_k$ バッファ層2の窒素組成kを0とした場合は、X線回折測定による第2導電型クラッド層7の半値幅は200秒に達した。つまり活性層5および第2導電型クラッド層7には多数の転移が発生した。このように、活性層5の膜厚を基板1に対する熱平衡理論による臨界膜厚以上の厚さにすると、通常は、活性層5およびその上に形成された第2導電型クラッド層7に多数の転移が発生する。

10

【0023】

次に、活性層5を8nmの膜厚とし、 $In_j Ga_{1-j} As_{1-k} N_k$ バッファ層2の窒素組成kを0.002以上0.05以下、バッファ層2の膜厚を2nm以上40nm以下とした場合は、X線回折測定による第2導電型クラッド層7の半値幅は40秒であった。つまり、活性層5を基板1に対する熱平衡理論による臨界膜厚以上の膜厚としても、活性層5および第2導電型クラッド層7の転移を減らすことができた。

【0024】

このように、バッファ層2を $In_j Ga_{1-j} As_{1-k} N_k$ ($0 < j < 1$ 、 $0 < 0.002 < k < 0.05$) にすることで、活性層5の転移を少なくすることができることが分かった。この理由について、本発明者は、バッファ層2を構成するInGaAsN結晶の特性に由来していると考えている。すなわち、通常、バッファ層2を基板1に対する熱平衡理論による臨界膜厚以上の膜厚とすると、当該バッファ層2に転移が発生する。そして、バッファ層2をInGaAsNにより形成した場合でも、バッファ層2にミクロな転移は発生する。しかし、バッファ層2をInGaAsNにより形成し、かつ、バッファ層2と基板1との格子定数差を2.9%以内にとすると、ミクロな転移は発生するが、マクロな転移が発生しにくくなる。これは、InGaAsN結晶をGaAs基板1上に成長すると、臨界膜厚を越えても、ヘテロ界面内でGaAs基板1と一致した位置に原子が位置しやすいからであると解析される。言い換えると、InGaAsN層は、基板1との格子定数差をe[%]、InGaAsN層2の膜厚をd[nm]、として、 $e^2 d^3$ [%² nm]であれば、弾性変形が可能であるからであると解析される。より詳細には、InGaAsN結晶では、窒素原子の電気陰性度が高く、また、窒素原子と砒素原子の原子半径差が大きいので、窒素原子からダングリングボンドが発生しても、ダングリングボンド発生に伴うエネルギー上昇が小さいことに起因すると解析される。このように、InGaAsNには、ミクロな転移は発生するが、マクロな転移が極めて発生しにくいという特性がある。この結果、InGaAsNをバッファ層2に用いると、このバッファ層2上に良質な活性層5を形成できると考えている。

20

30

【0025】

以上説明した図1の半導体積層基板では、基板1をGaAsとしたが、これをSi、InP、InAs、GaPとした場合も同様の効果が得られる。すなわち、上述のように、InGaAsN層2は、基板1との格子定数差が2.9%以内であれば、弾性変形が可能のため、臨界膜厚を超えてもマクロな転移が発生しにくい。そして、ダイヤモンド型あるいは閃亜鉛鋅型の半導体基板で $In_j Ga_{1-j} As_{1-k} N_k$ ($0 < j < 1$ 、 $0 < 0.002 < k < 0.05$) バッファ層2と上記の関係を満たす汎用基板として、GaAs、Si、InP、InAs、GaPがある。このため、基板1をSi、InP、InAs、GaPとした場合も同様の効果が得られる。

40

【0026】

また、これらの基板1を用いた場合も、 $In_j Ga_{1-j} As_{1-k} N_k$ バッファ層2

50

の窒素組成 k を 0.002 以上 0.05 以下の範囲とすれば、良好な結果が得られる。これに対し、窒素組成 k が 0.05 よりも大きいと、このバッファ層 2 の結晶が劣化し、バッファ層 2 の表面の平坦性が損なわれて、良質の活性層 5 を形成することができなくなる。また、窒素組成 k が 0.002 よりも小さいと、活性層 5 の転移を低減する効果が得られなくなる。

【0027】

また、図 1 の半導体積層基板では、第 1 導電型クラッド層 3 を、バッファ層 2 の上面と略格子整合するようにすることが好ましい。具体的には、この第 1 導電型クラッド層 3 の格子定数は、 In 組成 y の高低により、変化させる。 In 組成 y が 0 の場合は、格子定数が約 0.565 nm である。また、 In 組成 y が 1 の場合は、格子定数が約 0.606 nm である。図 1 では、 In 組成 y を、 $0.05 \sim 0.10$ として、バッファ層 2 の上面と略格子整合するようにする。なお、この第 1 導電型クラッド層 3 では、 Al 組成 x を変化させても、格子定数は 0.1% 程度しか変わらない。

10

【0028】

以上の説明では、活性層（半導体層）5 が基板 1 に対する熱平衡理論による臨界膜厚以上の膜厚であるとして説明したが、半導体層 3、5 が熱平衡理論による臨界膜厚以上の膜厚であると把握することもできる。

【0029】

以上のように、本発明者の実験によれば、基板 1 と、活性層 5 と、の間に $\text{In}_j \text{Ga}_{1-j} \text{As}_{1-k} \text{N}_k$ ($0 < j < 1$ 、 $0.002 < k < 0.05$) バッファ層 2 を設けることで、活性層 5 を基板 1 に対する熱平衡理論による臨界膜厚以上の膜厚でかつ転移が少なくなくなるように形成できることが分かった。以下、この実験の半導体積層基板を用いて得られた半導体素子の実施の形態、および具体的な光半導体素子の実施例について説明する。

20

【0030】

（第 1 の実施の形態）

第 1 の実施の形態の半導体素子は、 GaAs 基板を用いた長波長 ($1.25 \mu\text{m} \sim 1.6 \mu\text{m}$) の端面発光型の光半導体素子である。

【0031】

図 2 は本発明の第 1 の実施の形態の光半導体素子を示す概略断面図である。第 1 導電型の GaAs からなる基板 10 上には、 $\text{In}_j \text{Ga}_{1-j} \text{As}_{1-k} \text{N}_k$ ($0.05 < j < 0.2$ 、 $0.002 < k < 0.05$) からなるバッファ層 2、 InGaAs からなる中間層 12、 $\text{In}_y (\text{Ga}_{1-x} \text{Al}_x)_{1-y} \text{As}$ ($0 < x < 1$ 、 $0.05 < y < z$) からなる第 1 導電型クラッド層 3、 $\text{In}_z \text{Ga}_{1-z} \text{As}$ ($z < 0.5$) からなる膜厚 8 nm の活性層（井戸層）5、 $\text{In}_y (\text{Ga}_{1-x} \text{Al}_x)_{1-y} \text{As}$ からなる第 2 導電型クラッド層 7、第 2 導電型のコンタクト層 8、が順次形成されている。この図 2 の構造の光半導体素子は、活性層 5 が発光層となる。

30

【0032】

図 3 は、上記の活性層 5 を構成する $\text{In}_z \text{Ga}_{1-z} \text{As}$ の In 組成 z と、この $\text{In}_z \text{Ga}_{1-z} \text{As}$ のバンドギャップ波長と、の関係を示す図である。ここで、実際の $\text{In}_z \text{Ga}_{1-z} \text{As}$ 活性層 5 からの発光波長は、薄膜化に基づく量子効果により短波長側にずれるが、図 3 ではこの量子効果は無視している。図 3 から分かるように、バンドギャップ波長を長くするためには、 $\text{In}_z \text{Ga}_{1-z} \text{As}$ の In 組成 z を高くする必要がある。例えば、バンドギャップ波長を $1.2 \mu\text{m}$ 以上にするためには、 $\text{In}_z \text{Ga}_{1-z} \text{As}$ の In 組成 z を約 0.3 以上にする必要がある。さらに、バンドギャップ波長を $1.3 \mu\text{m}$ 以上にするためには、 $\text{In}_z \text{Ga}_{1-z} \text{As}$ の In 組成 z を約 0.35 以上にする必要がある。そして、上記の量子効果も考慮すると、 $\text{In}_z \text{Ga}_{1-z} \text{As}$ 活性層 5 からの発光波長を $1.25 \sim 1.3 \mu\text{m}$ 程度にするためには、活性層 5 の In 組成 z を約 $0.35 \sim 0.40$ 、膜厚を 4 nm 以上、にする必要がある。

40

【0033】

50

以上説明した図2の素子では、 $\text{In}_j \text{Ga}_{1-j} \text{As}_{1-k} \text{N}_k$ バッファ層2を設けたので、このバッファ層2のIn組成jを適切な値とすることで、発光波長が長く、かつ、発光強度が強い素子を得ることができる。以下、図4を参照にして説明する。

【0034】

図4は、図2の素子における、 $\text{In}_j \text{Ga}_{1-j} \text{As}_{1-k} \text{N}_k$ ($0 < j < 1, 0 < 0 < 2 < k < 0.05$) バッファ層2のIn組成jと、発光波長と、発光強度と、の関係を示す図である。この図4で、「 InGaAsN ($\text{In} = 0$) バッファ層」とは、実質的に $\text{In}_j \text{Ga}_{1-j} \text{As}_{1-k} \text{N}_k$ バッファ層2がないことを意味する。この図4では、In組成jを、0、0.1、0.2、の3段階に変化させている。

【0035】

図4から分かるように、 InGaAsN ($\text{In} = 0$) バッファ層、つまり InGaAnN バッファ層2なしでは、発光波長が約 $1.15 \mu\text{m}$ であれば、高い発光強度が得られる。しかし、発光波長を $1.25 \sim 1.3 \mu\text{m}$ にすると、発光強度が極端に低下する。これは、活性層5の転移が増加するからである。すなわち、上述のように、発光波長を $1.25 \sim 1.3 \mu\text{m}$ にするためには、 $\text{In}_z \text{Ga}_{1-z} \text{As}$ 活性層5のIn組成zを $0.35 \sim 0.40$ にする必要がある。ところが、活性層5のIn組成zを $0.35 \sim 0.40$ まで高くすると、この活性層5と、基板1と、の格子定数差が大きくなり、活性層5の転移が増加する。これにより、発光強度が低下する。このため、 InGaAsN バッファ層なしでは、発光波長を約 $1.3 \mu\text{m}$ にすると発光強度が極端に低下する。

【0036】

これに対し、図4から分かるように、 $\text{In}_j \text{Ga}_{1-j} \text{As}_{1-k} \text{N}_k$ バッファ層2のIn組成jを0.1とすると、発光波長約 $1.4 \mu\text{m}$ で高い発光強度が得られる。これは、 $\text{In}_{0.1} \text{Ga}_{0.9} \text{As}_{1-k} \text{N}_k$ バッファ層2を設けることにより、 $\text{In}_z \text{Ga}_{1-z} \text{As}$ 活性層5のIn組成zを0.40以上にして活性層5と基板1との格子定数差を大きくしても、活性層5に転移が発生しにくくなるからである。つまり、活性層5の膜厚を基板1に対する熱平衡理論による臨界膜厚以上の膜厚 8nm にしても、活性層5に転移が発生しにくくなるからである。

【0037】

また、図4から分かるように、 $\text{In}_j \text{Ga}_{1-j} \text{As}_{1-k} \text{N}_k$ バッファ層2のIn組成jを0.2にすれば、発光波長約 $1.6 \mu\text{m}$ まで高い発光強度が得られる。

【0038】

また、 $\text{In}_j \text{Ga}_{1-j} \text{As}_{1-k} \text{N}_k$ バッファ層2のIn組成j = 0.05の場合は、j = 0の場合とj = 0.1の場合とのほぼ中間の曲線が得られる。この場合、発光波長約 $1.25 \sim 1.3 \mu\text{m}$ で高い発光強度が得られる。

【0039】

このように、図2の光半導体素子では、 $\text{In}_j \text{Ga}_{1-j} \text{As}_{1-k} \text{N}_k$ バッファ層2のIn組成jを0.05以上にすることにより、発光波長が $1.25 \mu\text{m}$ 以上で、かつ、発光強度が強い素子を得ることができる。

【0040】

以上説明した図2の光半導体素子では、 $\text{In}_y (\text{Ga}_{1-x} \text{Al}_x)_{1-y} \text{As}$ ($0 < x < 1, 0 < 0.05 < y < z$) クラッド層3、7のIn組成yは、活性層5との格子定数差が大きくなりすぎず、活性層5の結晶の劣化を起こしにくい値にする。具体的には、 $\text{In}_z \text{Ga}_{1-z} \text{As}$ 活性層5のIn組成zを0.35以上にする場合には、クラッド層3、7のIn組成yを0.05以上とする。また、クラッド層3、7のIn組成yは、 $\text{In}_z \text{Ga}_{1-z} \text{As}$ 活性層5のIn組成zよりも低くする。これにより、クラッド層3、7での光吸収を下げ、活性層5に適度の圧縮歪を与えて、素子特性を向上させることができる。また、これにより、エキシトンを用いた光吸収デバイスの応答特性を向上させることができる。

【0041】

また、図2の光半導体素子では、活性層5の膜厚を 8nm としたが、これを 4nm 以上2

10

20

30

40

50

0 nm以下、好ましくは6 nm以上8 nm以下、とすることができる。活性層5の膜厚を薄くしすぎると、量子効果が強くなりすぎて、活性層5の波長が短くなってしまう。このため、活性層5の膜厚は、4 nm以上が良い。また、活性層5の膜厚をクラッド層3に対する熱平衡理論による臨界膜厚以上にすると、活性層5にクラックが発生し、発光効率が低下してしまう。このため、活性層5の膜厚は、20 nm以下が良い。さらに、活性層5の膜厚を6 nm以上8 nm以下とすることで、光閉じ込めを強くして、発光効率を高める効果を強くすることができる。

【0042】

また、図2の光半導体素子では、バッファ層2のGaAs基板10に対する格子定数差は、2.9%以内であることが望ましい。

10

【0043】

また、図2の光半導体素子では、バッファ層2の表面と、中間層12と、クラッド層3、7と、は略格子整合していることが望ましい。ここで、略格子整合しているとは、互いの歪量と厚さが弾性変形限界以内ということである。

【0044】

(第2の実施の形態)

第2の実施の形態の半導体素子は、面発光型の光半導体素子である。第1の実施の形態(図1)と異なる主な点は、図5に示すように、クラッド層13、17を、2種類の半導体層を交互に複数回積層したDBR構造にした点である。

【0045】

図5は本発明の第2の実施の形態の光半導体素子の概略断面図である。第1導電型のGaAsからなる基板10上には、GaAsバッファ層11、 $In_jGa_{1-j}As_{1-k}N_k$ ($0 < j < 1, 0 < 0.002 < k < 0.05$)からなるバッファ層2、InGaAsからなる中間層12、 $In_t(Ga_{1-s}Al_s)_{1-t}As$ ($0 < s < 1, 0 < t < 1$)と $In_v(Ga_{1-u}Al_u)_{1-v}As$ ($0 < u < 1, 0 < v < 1$)とを交互に複数回積層したDBR構造の第1導電型クラッド層13、 $In_zGa_{1-z}As$ からなる活性層(井戸層)5、中間層12とほぼ格子整合するInGaAs層16、 $In_t(Ga_{1-s}Al_s)_{1-t}As$ と $In_v(Ga_{1-u}Al_u)_{1-v}As$ とを交互に複数回積層したDBR構造の第2導電型クラッド層17、InGaAsからなるコンタクト層8、が順次形成されている。

20

【0046】

図5の素子では、クラッド層13、17がDBR構造であり、このクラッド層13、17が活性層5からの波長の光を反射する。このため、活性層5からの光は、活性層5の上下のクラッド層13、17により増幅される。そして、増幅された光が、図中上側の面から取り出される。つまり、図5の素子は、面発光素子となる。

30

【0047】

この図5の面発光素子でも、 $In_jGa_{1-j}As_{1-k}N_k$ バッファ層2のIn組成jを0.05以上にすることにより、発光波長が1.25 μm以上で、かつ、発光強度が強い素子を得ることができる。

【0048】

なお、図5の素子では、GaAs基板10と、GaAsバッファ層11と、を併せてGaAs基板と把握することもできる。また、中間層12と、第1導電型クラッド層13と、を併せて第1導電型クラッド層と把握することもできる。ここで、クラッド層とは、井戸層よりもバンドギャップが大きい層のことである。

40

【0049】

(第3の実施の形態)

第3の実施の形態の半導体素子は、Si基板を用いたトランジスタである。

【0050】

図6は、本発明の第3の実施の形態のトランジスタの概略断面図である。Si基板21上には、GaAs低温成長バッファ層22、高温成長GaAs層23、 In_jGa_{1-j}

50

$-j A s_{1-k} N_k$ ($0 \leq j \leq 1, 0.002 \leq k \leq 0.05$) からなるバッファ層 2、高品質 GaAs 層 24、GaAlAs バックゲート層 25、GaAs スペース層 26、InGaAs 能動層 27、GaAs スペース層 27B、GaAlAs ゲート層 28、GaAs 導電層 29、InGaAs コンタクト層 30、ソース電極 31、ドレイン電極 32、ゲート電極 33 が形成されている。

【0051】

図6のトランジスタでは、 $In_j Ga_{1-j} As_{1-k} N_k$ バッファ層 2 を用いたことで、このバッファ層 2 内で転位が固定されて、半導体層 25 ~ 28 の貫通転位密度を低減することができる。これにより、高品質 GaAs 層 24 の厚さを低減し、製造時間を短縮して、生産性を向上させることができる。これにより、コストを下げることもできる。

10

【0052】

これに対し、従来、III-V 族化合物半導体を Si 基板上に形成する場合には、半導体層 25 ~ 28 の転移を減らすために、高品質 GaAs 層 24 を厚膜に成長しなければならなかった。このため、生産性が悪く、コストが高くなった。

【0053】

(実施例)

次に、本発明の具体的な実施例を説明する。

【0054】

(第1の実施例)

第1の実施例の半導体素子は、GaAs 基板を用いた波長 $1.26 \mu\text{m}$ の端面発光型の半導体レーザである。

20

【0055】

図7は、本発明の第1の実施例の半導体レーザの概略断面図である。n型のGaAsからなる基板 51 上には、MOCVD法により、GaAs バッファ層 52、 $In_{0.10} Ga_{0.90} As_{0.99} N_{0.01}$ からなるバッファ層 53、 $In_{0.07} Ga_{0.93} As$ からなる第1の中間層 54、 $In_{0.07} Ga_{0.73} Al_{0.20} As$ からなる第2の中間層 55、 $In_{0.07} Ga_{0.16} Al_{0.50} As$ からなるn型クラッド層 56、活性層 58A、が順次形成されている。この活性層 58A は、 $In_{0.15} Ga_{0.70} Al_{0.15} As$ からなるn側光ガイド層 57、 $In_{0.35} Ga_{0.65} As$ からなる井戸層 58、 $In_{0.15} Ga_{0.70} Al_{0.15} As$ からなるp側光ガイド層 59、を順次形成した構造である。この活性層 58A 上には、 $In_{0.07} Ga_{0.16} Al_{0.50} As$ からなるp型クラッド層 60、 $In_{0.07} Ga_{0.93-g} Al_g As$ ($0 \leq g \leq 0.5$, g は図中上側ほど小さくなる) からなるバリア緩和層 61、 $In_{0.07} Ga_{0.93} As$ からなるコンタクト層 62、が順次形成されている。p型クラッド層 60、バリア緩和層 61、コンタクト層 62 の一部は、図7のようにメサ状に加工され、このメサ状部分の両側は $In_{0.07} Ga_{0.23} Al_{0.70} As$ により埋め込まれる。また、コンタクト層 62 上には、このコンタクト層 62 に電氣的に接続されたp側電極 64 が形成される。言い換えると、p型クラッド層 60 の上方に、このp型クラッド層 60 に電氣的に接続されたp側電極 64 が形成される。他方側の電極であるn側電極 65 は、基板 51 の裏面上に形成される。なお、図7の半導体レーザでは、積層体 54 ~ 56 をn型クラッド層、積層体 60 ~ 61 をp型クラッド層、と把握することもできる。

30

40

【0056】

図7の半導体レーザでは、p側電極 64 と、n側電極 65 と、からの電流注入により、活性層 58A の井戸層 58 から、波長 $1.26 \mu\text{m}$ の光が放射される。この光は、増幅されてレーザ光となり、紙面と垂直な方向に放射される。

【0057】

以上説明した図7の半導体レーザでは、 $In_{0.10} Ga_{0.90} As_{0.99} N_{0.01}$ からなるバッファ層 53 を設けたので、発振波長を $1.26 \mu\text{m}$ の長波長とし、かつ、閾値電流密度を 200 mA/cm^2 と低くすることができる。つまり、長波長で、かつ、特性が高い素子を得ることができる。これに対し、バッファ層 53 を設けないと、発

50

振閾値電流密度は 1 k A / cm^2 を超えてしまう。

【0058】

また、図7の半導体レーザは、GaAs基板10を用いたので、コストを下げ、温度特性を高くすることができる。

【0059】

以上説明した図7の半導体レーザでは、 $\text{In}_z \text{Ga}_{1-z} \text{As}$ 井戸層58のIn組成zを0.35として、発光波長を $1.26 \mu\text{m}$ としている(図3参照)。そして、 $\text{In}_j \text{Ga}_{1-j} \text{As}_{1-k} \text{N}_k$ バッファ層52のIn組成jを約0.1として、発光強度が高くなるようにしている(図4参照)。しかし、この半導体レーザにおいて、 $\text{In}_z \text{Ga}_{1-z} \text{As}$ 井戸層58のIn組成zを0.5まで高くして、発光波長を $1.6 \mu\text{m}$ 程度まで長くすることもできる(図3参照)。この場合は、 $\text{In}_j \text{Ga}_{1-j} \text{As}_{1-k} \text{N}_k$ バッファ層52のIn組成jを約0.3程度まで高くすることで、高い発光強度を維持できる(図4参照)。もっとも、 $\text{In}_z \text{Ga}_{1-z} \text{As}$ 井戸層58のIn組成zを0.50よりも大きくすると、井戸層58と、基板52と、の格子定数差が大きくなりすぎて、バッファ層52を設けても井戸層58の転移が増えてしまう。この場合は、 $\text{In}_j \text{Ga}_{1-j} \text{As}_{1-k} \text{N}_k$ バッファ層52のIn組成jを約0.3より高くしても、高い発光強度を維持することは困難となる。このため、図7の半導体レーザは、 $\text{In}_z \text{Ga}_{1-z} \text{As}$ 井戸層58のIn組成zの上限は約0.50、発光波長の上限は約 $1.6 \mu\text{m}$ 、 $\text{In}_j \text{Ga}_{1-j} \text{As}_{1-k} \text{N}_k$ バッファ層52のIn組成jの上限は約0.30、となる。

【0060】

また、図7の半導体レーザでは、活性層58Aは、n側ガイド層57、井戸層58、p側ガイド層59、を順次積層した構造である。しかし、この活性層58Aを、井戸層58のみからなるSQW(Single Quantum Well)構造とすることもできる。また、この活性層58Aを、井戸層と、障壁層と、を交互に複数回積層したMQW(Multi Quantum Well)構造とすることもできる。また、この活性層58Aを、n側ガイド層、MQW構造、p側ガイド層、を順次積層した構造とすることもできる。

【0061】

(第2の実施例)

第2の実施例の光半導体素子は、GaAs基板を用いた発光波長 $= 1.31 \mu\text{m}$ の面発光型の半導体レーザである。

【0062】

図8は、本発明の第2の実施例の半導体レーザの概略断面図である。n型のGaAsからなる基板71上には、MOCVD法により、GaAsバッファ層72、 $\text{In}_{0.13} \text{Ga}_{0.87} \text{As}_{0.99} \text{N}_{0.01}$ からなるバッファ層73、 $\text{In}_{0.1} \text{Ga}_{0.9} \text{As}$ からなる第1の中間層74、 $\text{In}_{0.1} \text{Ga}_{0.4} \text{Al}_{0.5} \text{As}$ バリアハイト緩和層75、屈折率が n_1 で膜厚が $\lambda / 4 n_1$ の $\text{In}_{0.09} \text{Al}_{0.91} \text{As}$ 層と屈折率が n_2 で膜厚が $\lambda / 4 n_2$ の $\text{In}_{0.1} \text{Ga}_{0.9} \text{As}$ 層とを交互に2.4.5周期積層したDBR構造のn型クラッド層76、 $\text{In}_{0.1} \text{Ga}_{0.9} \text{As}$ 層77、厚さ6nmの第1の $\text{In}_{0.02} \text{Al}_{0.98} \text{As}$ 層78、厚さ10nmの $\text{In}_{0.1} \text{Ga}_{0.9} \text{As}$ 層79、活性層83、が順次形成されている。この活性層83は、厚さ8nmの $\text{In}_{0.4} \text{Ga}_{0.6} \text{As}$ からなる井戸層80、厚さ10nmの $\text{In}_{0.1} \text{Ga}_{0.9} \text{As}$ からなるバリア層81、厚さ8nmの $\text{In}_{0.4} \text{Ga}_{0.6} \text{As}$ からなる井戸層82、を順次形成したMQW(Multi Quantum Well)構造である。この活性層83上には、厚さ5nmの $\text{In}_{0.1} \text{Ga}_{0.9} \text{As}$ 層84、厚さ6nmの第2の $\text{In}_{0.02} \text{Al}_{0.98} \text{As}$ 層85、厚さ10nmの $\text{In}_{0.1} \text{Ga}_{0.9} \text{As}$ 層86、屈折率が n_1 で膜厚が $\lambda / 4 n_1$ の $\text{In}_{0.09} \text{Al}_{0.91} \text{As}$ 層と屈折率が n_2 で膜厚が $\lambda / 4 n_2$ の $\text{In}_{0.1} \text{Ga}_{0.9} \text{As}$ とを交互に2.4.5周期積層したDBR構造のp型クラッド層87、が順次形成されている。このp型クラッド層87上の一部には、 $\text{In}_{0.1} \text{Ga}_{0.9} \text{As}$ 層88、 $\text{In}_{0.1} \text{Ga}_{0.9} \text{As}$ からなるコンタクト層89、が順次形成されている。素子全体は、メサ構造にされる。そして、第1および第2の $\text{In}_{0.02} \text{Al}_{0.98} \text{As}$ 層78、85

は、直径 $3\ \mu\text{m}$ を残して酸化される。なお、電極は省略した。

【0063】

図8の素子では、クラッド層76、87がDBR構造であり、このクラッド層76、87が活性層83からの発光波長 $1.31\ \mu\text{m}$ の光を反射する。このため、活性層83からの光は、活性層83の上下のクラッド層87、76により増幅される。そして、増幅された光が、図中上側の面から取り出される。つまり、図8の素子は、面発光レーザとなる。

【0064】

以上説明した図8の面発光型の半導体レーザでは、 $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}_{0.99}\text{N}_{0.01}$ からなるバッファ層73を設けたので、発振波長が $1.31\ \mu\text{m}$ の長波長で、かつ、特性が高い素子を得ることができる。また、図8の半導体レーザは、GaAs基板10を用いたので、コストを下げ、温度特性を高くすることができる。

【0065】

(第3の実施例)

第3の実施例の光半導体素子は、Si基板を用いた発光波長 $0.87\ \mu\text{m}$ の端面発光型の半導体レーザである。

【0066】

図9は、本発明の第3の実施例の半導体レーザの概略断面図である。Si基板91上には、MOCVD法により、GaAs低温バッファ層92、GaAs層93、InGaAsNバッファ層94、高品質GaAs層95、GaAlAsからなるn型クラッド層96、活性層98A、が順次形成されている。活性層98Aは、GaAlAs光ガイド層97、GaAs井戸層98、GaAlAs光ガイド層99、を順次形成した構造である。この活性層98A上には、InGaPエッチングストップ層100、GaAlAsからなるp型クラッド層101、GaAs層102が形成されている。p型クラッド層101およびGaAs層102の一部はメサ状にエッチングされ、このメサ状部分の両側はGaAs埋め込み層103で埋め込まれる。この埋め込み層103上および上記のGaAs層102上には、GaInP埋め込み層104、GaAsコンタクト層105が順次形成される。

【0067】

図9の半導体レーザは、活性層98Aの井戸層98から、波長 $0.87\ \mu\text{m}$ の光が放射される。この光は、増幅されてレーザ光となり、このレーザ光が紙面と垂直な方向に放射される。

【0068】

図9の半導体レーザでは、発光波長 $0.87\ \mu\text{m}$ のレーザにおいて、GaAs基板(格子定数 $0.565\ \text{nm}$) よりもさらに格子定数が小さいSi基板(格子定数 $0.516\ \text{nm}$) 91を用いている。このSi基板91は、熱伝導率が高い。このため、図9の半導体レーザでは、数十mWの高出力まで線形性の高い出力が得られる。つまり、温度特性を良好にすることができる。

【0069】

また、このSi基板91は、GaAs基板に比べてさらに安価である。しかも、このSi基板91は、直径12インチ(約 $30\ \text{cm}$) を超える超大型のものが実用化されている。このため、図9の半導体レーザでは、GaAs基板を用いた場合に比べ、さらにコストを下げることができる。

【0070】

また、図9の半導体レーザでは、InGaAsNバッファ層94を用いたので、GaAs井戸層98とSi基板91との格子定数差が約4%あるにもかかわらず、高い光出力を維持できる。これは、InGaAsNバッファ層94により、井戸層98の転移を減少させることができるからである。

【0071】

このように、図9の半導体レーザでは、温度特性が高く、極めて低コストの素子を提供することができる。

【0072】

10

20

30

40

50

(第4の実施例)

第4の実施例の光半導体素子は、GaAs基板を用いた吸収波長 $1.55\mu\text{m}$ の吸収型光変調素子である。

【0073】

図10は、本発明の第4の実施例の吸収型光変調素子の概略断面図である。n型のGaAsからなる基板111上には、MOCVD法により、GaAsバッファ層112、 $\text{In}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}_{0.99}\text{N}_{0.01}$ からなるバッファ層113、 $\text{In}_{0.24}\text{Ga}_{0.76}\text{As}$ 層114、 $\text{In}_{0.24}\text{Ga}_{0.26}\text{Al}_{0.50}\text{As}$ 層115、 $\text{In}_{0.24}\text{Ga}_{0.06}\text{Al}_{0.70}\text{As}$ からなるn型クラッド層116、 $\text{In}_{0.28}\text{Ga}_{0.02}\text{Al}_{0.50}\text{As}$ 層117、活性層118B、が順次形成されている。この活性層118Bは、 $\text{In}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}$ からなる井戸層118、 $\text{In}_{0.28}\text{Ga}_{0.02}\text{Al}_{0.70}\text{As}$ からなるバリア層119、 $\text{In}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}$ からなる井戸層118、を順次積層した構造である。この活性層118B上には、 $\text{In}_{0.28}\text{Ga}_{0.02}\text{Al}_{0.70}\text{As}$ 層120、 $\text{In}_{0.24}\text{Ga}_{0.06}\text{Al}_{0.70}\text{As}$ 層121、 $\text{In}_{0.24}\text{Ga}_{0.26}\text{Al}_{0.50}\text{As}$ 層122、 $\text{In}_{0.75}\text{Ga}_{0.25}\text{As}$ からなるコンタクト層123、が順次形成されている。積層体112~123は、エッチングによりメサ状に形成されえる。このメサ状部分の両側は、酸素添加の高抵抗 $\text{In}_{0.28}\text{Al}_{0.72}\text{As}$ からなる埋め込み層124で埋め込まれている。図10の吸収型光変調素子の大きさは、基板111の横幅が $250\mu\text{m}$ である。

10

【0074】

図10の吸収型光変調素子では、 1.5V 程度の逆バイアスを加えることで動作する。この図10の素子ではGaAs基板111の格子定数が約 0.565nm であるのに対し、 $\text{In}_{0.47}\text{Ga}_{0.53}\text{As}$ 井戸層118の格子定数が約 0.587nm である。このため、両者の格子定数差は、 3.9% ある。しかし、図10の吸収型光変調素子では、 $\text{In}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}_{0.99}\text{N}_{0.01}$ からなるバッファ層113を設けたので、上記の格子定数差が大きいかかわらず、 $1.55\mu\text{m}$ の光に対して消光比 12dB 程度の高い特性を得ることができる。

20

【0075】

また、図10の素子では、活性層の歪量が大きいので、井戸層118の体積あたりの吸収係数が大きく、 InP を用いた変調素子と同程度の電圧-消光比の特性を得ることができる。またバリア層が間接遷移型なので、屈折率変化が小さく、 InP 基板上を用いた変調素子と比べて波長シフトの影響を小さくすることができる。またバリア層119が間接遷移型なので、バンドギャップの温度依存性が小さく、吸収端の温度依存性を小さくすることができる。

30

【0076】

以上説明した図10の素子では、活性層118Bの井戸層118を $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ ($z=0.47$)により構成した。このように $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ 活性層のIn組成 z を 0.47 とすると、図3から分かるように、吸収波長が約 $1.55\mu\text{m}$ まで長くなる。この場合、活性層118Bと、基板111と、の格子定数差が大きくなるが、 $\text{In}_j\text{Ga}_{1-j}\text{As}_{1-k}\text{N}_k$ バッファ層113のIn組成 j を 0.25 まで高くすることで、高い消光比効率を維持できる。

40

【0077】

以上説明した各実施の形態では、 InGaAsN バッファ層を光半導体素子に適用した場合について説明したが、これをHEMTなどの電子デバイスにも適用することも可能である。たとえば、GaAs基板上に $\text{InGaAs}/\text{AlGaInAs}$ 系あるいは $\text{InGaAsN}/\text{InGaAlAs}$ 系のIII-V族化合物半導体層を用いた半導体電子デバイスを作製する際に、これらの能動領域を形成する層と、基板と、の間に InGaAsN バッファ層を設けることもできる。これにより、能動領域に加えられる歪を少なくし、能動層の結晶特性を向上させて、増幅率を高くすることができる。

【0078】

50

【発明の効果】

本発明によれば、GaAs基板と、 $In_z Ga_{1-z} As$ ($0 < z < 1$) 活性層と、を備える光半導体素子において、 $In_j Ga_{1-j} As_{1-k} N_k$ ($0 < j < 1$ 、 $0 < 0.002 < k < 0.05$) からなるバッファ層を設けたので、長波長で、コストが低くかつ特性が高い素子を提供することができる。また、本発明によれば、半導体基板と、半導体層と、を備える半導体積層基板において、 $In_j Ga_{1-j} As_{1-k} N_k$ ($0 < j < 1$ 、 $0 < 0.002 < k < 0.05$) からなるバッファ層を設けたので、上記半導体層を、基板に対する熱平衡理論による臨界膜厚以上の膜厚でかつ転移が少ない層にすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態の半導体積層基板の概略断面図。

10

【図2】本発明の第1の実施の形態の半導体素子の概略断面図。

【図3】 $In_z Ga_{1-z} As$ のIn組成zと、この $In_z Ga_{1-z} As$ のバンドギャップ波長と、の関係を示す図。

【図4】図2の素子における、 $In_j Ga_{1-j} As_{1-k} N_k$ ($0 < j < 1$ 、 $0 < 0.002 < k < 0.05$) バッファ層2のIn組成jと、発光波長と、発光強度と、の関係を示す図である。

【図5】本発明の第2の実施の形態の半導体素子の概略断面図。

【図6】本発明の第3の実施の形態の半導体素子の概略断面図。

【図7】本発明の第1の実施例の光半導体素子の概略断面図。

【図8】本発明の第2の実施例の光半導体素子の概略断面図。

20

【図9】本発明の第3の実施例の光半導体素子の概略断面図。

【図10】本発明の第4の実施例の光半導体素子の概略断面図。

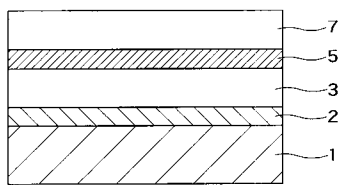
【符号の説明】

- 1 基板
- 2 InGaAsNバッファ層
- 3 第1導電型クラッド層
- 5 活性層
- 7 第2導電型クラッド層
- 10 GaAs基板
- 13 DBR構造の第1導電型クラッド層
- 17 DBR構造の第2導電型クラッド層
- 21 シリコン基板
- 27 能動層
- 13 DBR構造の第1導電型クラッド層
- 17 DBR構造の第2導電型クラッド層
- 51 GaAs基板
- 53 InGaAsNバッファ層
- 56 n型クラッド層
- 57 n側光ガイド層
- 58 井戸層
- 59 p側光ガイド層
- 58A 活性層
- 60 p型クラッド層
- 71 GaAs基板
- 73 InGaAsNバッファ層
- 76 DBR構造のn型クラッド層
- 80 井戸層
- 81 バリア層
- 82 井戸層
- 83 活性層

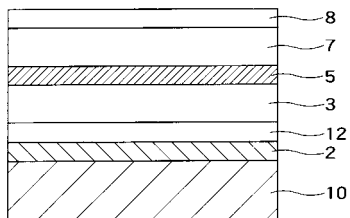
50

- 8 7 D B R 構造の p 型クラッド層
- 9 1 S i 基板
- 9 4 I n G a A s N バッファー層
- 9 6 n 型クラッド層
- 9 7 光ガイド層
- 9 8 井戸層
- 9 9 光ガイド層
- 9 8 A 活性層
- 1 0 1 p 型クラッド層
- 1 1 1 G a A s 基板
- 1 1 3 I n G a A s N バッファー層
- 1 1 6 n 型クラッド層
- 1 1 8 井戸層
- 1 1 9 バリア層
- 1 1 8 B 活性層

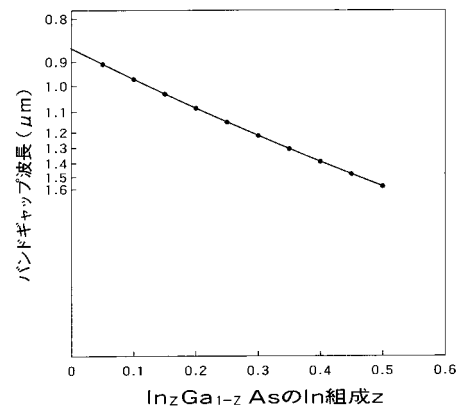
【 図 1 】



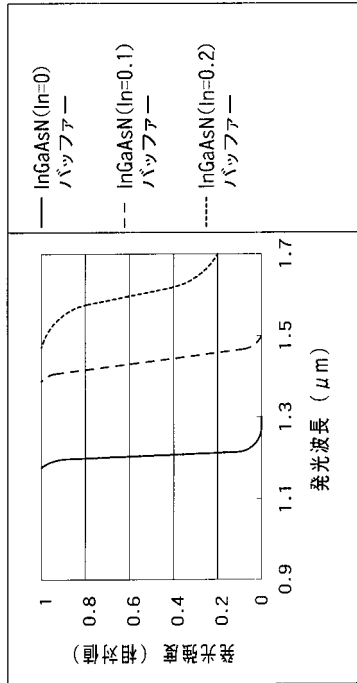
【 図 2 】



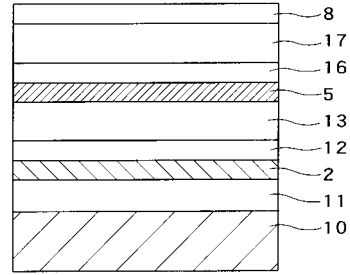
【 図 3 】



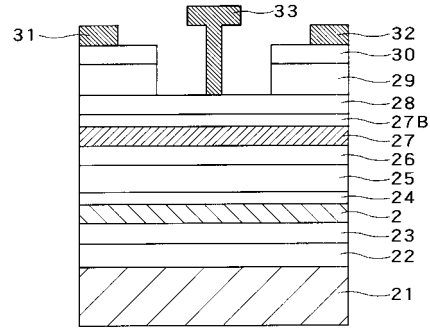
【 図 4 】



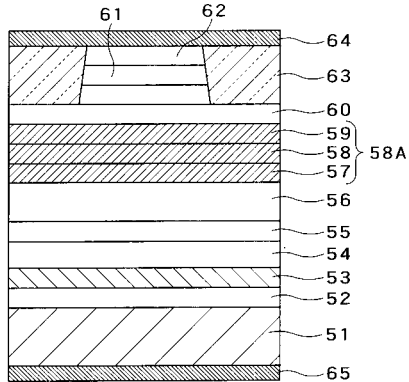
【 図 5 】



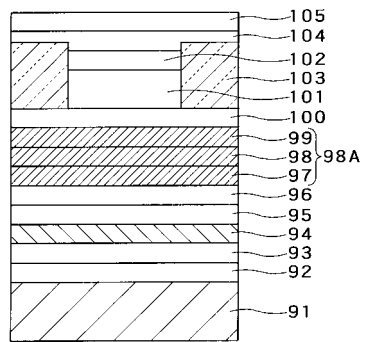
【 図 6 】



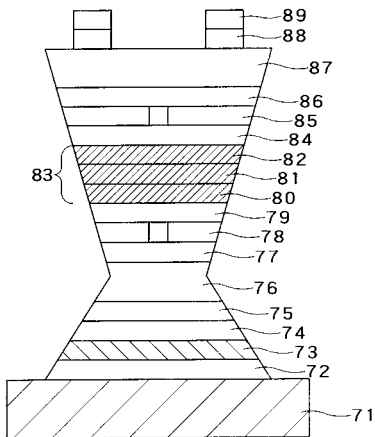
【 図 7 】



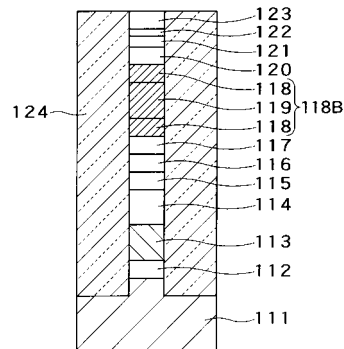
【 図 9 】



【 図 8 】



【 図 10 】



フロントページの続き

- (72)発明者 櫛部 光弘
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝 研究開発センター内
- (72)発明者 大場 康夫
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝 研究開発センター内
- (72)発明者 橋本 玲
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝 研究開発センター内
- (72)発明者 高岡 圭児
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝 研究開発センター内

審査官 小林 和幸

- (56)参考文献 特開2000-196148(JP,A)
特開2001-320134(JP,A)
I.J.Fritz et al., Dependence of critical layer thickness on strain for InXGa1-XAs/GaAs strained-layer superlattices, Applied Physics Letters, 米国, American Institute of Physics, 1985年 5月15日, Vol.46, No.10, p.967-969

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S 5/00-5/50

G02B 6/42