

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-294510
(P2005-294510A)

(43) 公開日 平成17年10月20日(2005.10.20)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
HO1S 5/343	HO1S 5/343	5F173
HO1L 29/06	HO1L 29/06 6O1D	
	HO1L 29/06 6O1W	

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2004-107060 (P2004-107060)	(71) 出願人	000005290 古河電気工業株式会社 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号
(22) 出願日	平成16年3月31日 (2004.3.31)	(72) 発明者	吉田 順自 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河電気工業株式会社内
		(72) 発明者	下村 和彦 東京都千代田区紀尾井町7丁目1番 上智大学内
		Fターム(参考)	5F173 AA26 AA42 AA52 AF03 AF04 AF43 AH12 AH14 AH47 AR12 AR23 AR61

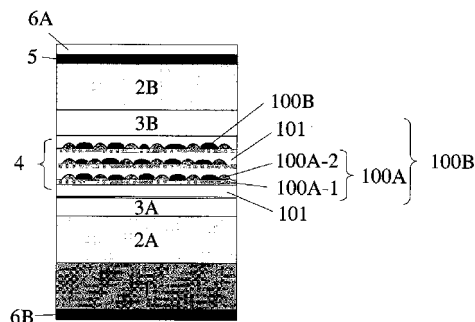
(54) 【発明の名称】 半導体装置

(57) 【要約】

【課題】 半導体レーザの高出力化、低しきいち動作、低消費電力駆動や、受光素子の受光感度改善などのといった性能が改善された半導体装置を提供することを目的とする。

【解決手段】 半導体基板1上に、下クラッド層2A、下SCH層3A、活性層4、上SCH層3B、上クラッド層2B、コンタクト層5を有している。また、前記コンタクト層5上には電極6Aが、半導体基板1の前記下クラッド層2Aを形成した面とは反対側の面に電極6Bが形成されている。このような半導体レーザ装置の記活性層4は、量子ドット層100とバリア層101により形成されている。さらに、該量子ドット層100はウエッティング層100A-1と量子ドット100A-2からなる量子ドット領域100Aと該量子ドット領域100Aとは組成の異なる量子ドット100Bにより構成されている。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

少なくとも半導体基板と組成あるいはバンドギャップの異なる2種類以上の量子ナノ構造を含む導波路層あるいは吸収層を有することを特徴とする半導体装置。

【請求項 2】

前記量子ナノ構造は特定結晶方向に形成された一つ以上のストライプを含む結晶層上に形成されていることを特徴とする請求項1に記載の半導体装置。

【請求項 3】

前記ストライプは少なくとも半導体層を含むことを特徴とする請求項2に記載の半導体装置。

10

【請求項 4】

前記特定結晶方向が<011>方向であることを特徴とする請求項2または3のいずれか1項に記載の半導体装置。

【請求項 5】

前記量子ナノ構造は、少なくとも、量子ドット、量子箱、量子ダッシュのいずれか一つを含むことを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の半導体装置。

【請求項 6】

前記量子ナノ構造は、結晶成長中の自己形成あるいは自己組織化現象により形成されることを特徴とする請求項1乃至5のいずれか1項に記載の半導体装置。

【請求項 7】

前記量子ナノ構造は、少なくとも一部に半導体基板の格子定数と異なる格子定数の結晶層を含む層構造上に形成されることを特徴とする請求項1乃至6のいずれか1項に記載の半導体装置。

20

【請求項 8】

前記量子ナノ構造は、(100)面方位から傾斜した結晶面方位を有する層構造上に形成されることを特徴とする請求項1乃至7項のいずれか1項に記載の半導体装置。

【請求項 9】

前記量子ナノ構造は、結晶面方位が(n11)である層構造上に形成されることを特徴とする請求項1乃至8のいずれか1項に記載の光半導体装置。

【請求項 10】

前記半導体基板の面方位は(n11)であること特徴とする請求項1乃至9のいずれか1項に記載の半導体装置。

30

【請求項 11】

前記半導体基板の面方位は、(100)からの傾斜角度が15°以下であることを特徴とする請求項1乃至9のいずれか1項に記載の半導体装置。

【請求項 12】

電流注入により発光することを特徴とする請求項1乃至11のいずれか1項に記載の半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

40

【0001】

本発明は、量子ナノ構造を有する半導体装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

近年、インターネットをはじめとする様々なマルチメディアの普及に伴い、データトラヒックの増大が問題となっている。そこで、その問題を解決すべく、WDM(波長多重伝送)システムがめざましい発展を遂げ普及している。

【0003】

WDMシステムでは、複数の光信号をそれぞれ異なる波長に乗せて伝送することにより1本のファイバで従来の100倍にも及ぶ大容量伝送を実現している。特に既存のWDM

50

システムは、エルビウム添加ファイバアンプ（以下、EDFAという）やラマンアンプ等の光ファイバアンプを用いることにより広帯域・長距離伝送を可能としている。

【0004】

ここで、EDFAは、エルビウムという元素を添加した光ファイバに、波長1480nm帯の光、あるいは波長980nmの励起レーザーで励起した際に伝送信号である波長1550nm帯の光を通すことにより、これらの光が前記光ファイバの中で増幅されるという原理を応用した光ファイバアンプである。

【0005】

また、ラマンアンプは、EDFAのようにエルビウム添加ファイバといった特殊な光ファイバを必要とせず、通常の伝送路ファイバを利得媒体とする光ファイバアンプであり、従来のEDFAを用いることを前提としたWDMシステムに比べて広帯域で平坦な利得を有する伝送帯域を実現することができるという特徴を有している。

10

【0006】

前記WDMシステムの安定性向上や中継数の低減を実現するためには、前述した光ファイバアンプには、水平単一横モードで安定動作する高出力の半導体励起光源（励起レーザー）が必要となる。

一方、WDMシステムの信号光源においては、狭線幅で高速変調可能な単一モード発振する半導体信号光源（信号レーザー）が大容量・長距離伝送する上で必要となる。

このように、現在の光ファイバ通信システムにおいては、半導体レーザーは、必要不可欠なデバイスである。特に、量子井戸構造、好適には複数の量子井戸とバリア層で構成された多重量子井戸構造（MQW構造：Multi-Quantum Well構造）を活性層として有する埋め込みヘテロ（BH）型半導体レーザーは安定した水平単一モードを実現するという点で有効であり、実際に、これらの構造を有した半導体レーザーをパッケージした半導体レーザーモジュールが光ファイバアンプの半導体励起光源やWDMシステムの半導体信号光源として用いられている。

20

【0007】

半導体レーザーの高出力化を実現する技術として、活性層を多重量子井戸（MQW）構造、特に歪MQW構造で形成することが知られている。MQW構造は、半導体材料で作成された井戸層とバリア層が交互にヘテロ接合されることで実現され、特に各ヘテロ接合において、バリア層は、井戸層よりも広いバンドギャップエネルギーを有している。また、歪MQW構造は、井戸層の半導体材料の格子定数と半導体基板の格子定数が異なる構造であり、一層の高性能化が可能であることが知られている。

30

【0008】

ここで、発振閾値の大幅な低減、レーザー発振特性の温度特性改善などの特性改善には量子井戸活性層に量子細線、量子ドット構造といったナノオーダーの2次元あるいは3次元構造の量子ナノ構造を用いることが有効であると発表されている。これは、電子あるいは正孔といったキャリアが2次元あるいは3次元ポテンシャルに閉じ込められることによって、量子サイズ効果が生じ、状態密度が特定の離散順位に局在化あるいは先鋭化することによって起る。また近年、量子ドット構造をSK（Stran'ski-Krastanow）モードによる自然形成現象、すなわち、結晶の歪エネルギーを利用して、結晶成長中の自己組織化現象を用いた形成方法が活発に研究されている。（非特許文献1参照）

40

【0009】

【非特許文献1】“半導体ナノ構造の自己組織化”、尾関雅志、清水雄一郎 応用物理第72巻 第10号(2003)

【0010】

非特許文献1には、分子線エピタキシー(MBE)を用いたSK成長による量子ドットの形成過程が開示されている。具体的には、以下のことが開示されている。すなわち、GaAs(001)基板上にInAsからなる量子ドット構造を形成する場合、基板上的InAsの堆積量が1ML(分子層)の時、層状成長が行われウェットティング層というある程度基板からのGa原子を含んだGaInAs層が形成される。ついで堆積量が増えて1.7M

50

L程度になると、該ウェット層上に3次元のInAs島が出現し、量子ドットが形成される。さらに、堆積量が増えて2.2ML以上に達すると、各量子ドット同士が接触するようになる。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

しかしながら、かかる作製方法では、量子ドットの位置制御が困難であり、無秩序な配置をすることや形成される量子ドットの形状のばらつきが大きい。これらにより、状態密度も揺らぐことになり、レーザの発振時の光学利得スペクトルが非常に広帯域なスペクトルになり、量子サイズ効果が十分に発現しないといった問題がある。

10

【0012】

また、量子ドット構造では十分な光学利得を得るために密度を大きくすることが必要であるが、単層量子ドット構造では、量子ドットの面密度、すなわち、面内におけるドットの充填率が小さくなるために十分な光学利得を得ることが困難である。

このため、従来の量子ドット構造では、密度を大きくするために多層化が不可欠であるが、量子ドットに蓄積される歪エネルギーにより良質な結晶を維持した状態で多層化できる量子ドットの層数が制限され、結果として十分な光学利得を得ることが困難である。

【0013】

本発明は上記問題に鑑みてなされたものであって、量子ドットの位置が制御された、高密度の量子ドット等の量子ナノ構造を用いることにより、半導体レーザの高出力化、閾値動作、低消費電力駆動や、受光素子の受光感度改善などのといった性能が改善された半導体装置を提供することを目的とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0014】

請求項1に係る発明は、少なくとも半導体基板と組成あるいはバンドギャップの異なる2種類以上の量子ナノ構造を含む導波路層あるいは吸収層を有することを特徴とする。

【0015】

請求項2に係る発明は、量子ナノ構造が特定結晶方向に形成された一つ以上のストライプを含む結晶層上に形成されていることを特徴とする。

【0016】

請求項3に係る発明は、前記ストライプが、少なくとも半導体層を含むことを特徴とする。

30

【0017】

請求項4に係る発明は、特定結晶方向が<011>方向であることを特徴とする。

【0018】

請求項5に係る発明は、量子ナノ構造が少なくとも、量子ドット、量子箱、量子ダッシュのいずれ一つを含むことを特徴とする。

【0019】

請求項6に係る発明は、量子ナノ構造が結晶成長中の自己形成あるいは自己組織化現象により形成されることを特徴とする。

40

【0020】

請求項7に係る発明は、量子ナノ構造が少なくとも一部に半導体基板の格子定数と異なる格子定数の結晶層を含む層構造上に形成されていることを特徴とする。

【0021】

請求項8に係る発明は、量子ナノ構造が(100)面方位から傾斜した結晶面方位を有する層構造上に形成されることを特徴とする。

【0022】

請求項9に係る発明は、量子ナノ構造の結晶面方位が(n11)である層構造上に形成されることを特徴とする。

【0023】

50

請求項10に係る発明は、半導体基板の面方位が(n11)であること特徴とする。

【0024】

請求項11に係る発明は、半導体基板の面方位が(100)基板からの傾斜角度が15°以下であることを特徴とする。

【0025】

請求項12に係る発明は、電流注入により発光することを特徴とする。

【発明の効果】

【0026】

本発明によれば、高密度の量子ナノ構造を有する半導体装置を実現できる。特に高密度の量子ナノ構造を半導体レーザ等の光能動素子の導波路層として、または変調器等の光受動素子の吸収層として機能する活性層に適用できる。このような活性層を有する半導体装置は、発振閾値の大幅な低減、高出力動作、低消費電力動作、発振特性の温度特性を改善することが出来る。

10

【発明を実施するための最良の形態】

【0027】

以下に、本発明にかかる半導体装置の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。図1は、本発明に関わる半導体装置、具体的には半導体レーザ装置の断面図である。

【0028】

図1に示す半導体レーザ装置は、半導体基板1上に、下クラッド層2A、下SCH層3A、活性層4、上SCH層3B、上クラッド層2B、コンタクト層5を有している。また、前記コンタクト層5上には電極6Aが、半導体基板1の前記下クラッド層2Aを形成した面とは反対側の面に電極6Bが形成されている。

20

【0029】

また、前記活性層4は、量子ドット層100とバリア層101により形成されている。さらに、該量子ドット層100はウエッティング層100A-1と量子ドット100A-2からなる量子ドット領域100Aと該量子ドット領域100Aとは組成の異なる量子ドット100Bにより構成されている。

【0030】

一般に、量子ドット層では、層の表面の面内における量子ドットの充填率が通常に用いられる量子薄膜構造よりも小さくなるために活性層に適用するには多層化することが好ましいとされて来られる。本実施の形態では、組成の異なる2種類の量子ドット領域100A、100Bを形成した後に、バリア層を形成するため、量子ドット層一層あたりに占める量子ドットの占有率は、従来構造よりも大きくなる。また、バリア層を101を形成する前に、第1の量子ドット領域100Aの量子ドット100A-2の間を、第2の量子ドット領域100Bで埋め込むようにしているので、結晶欠陥に起因する転移を抑制できる。

30

【0031】

また、前記量子ドット領域100Aの格子定数を半導体基板に対して正、前記量子ドット100Bの格子定数を半導体基板1の格子定数に対して負とすることで、面内方向での結晶歪を補償するように構成することが可能となる。これにより、従来の量子ドットと比較して、多層化しても結晶欠陥や転移の少ない結晶性に優れた量子ドット構造を実現することができる。なお、正負の関係が逆、すなわち前記量子ドット領域100Aの格子定数を半導体基板に対して負、前記量子ドット100Bの格子定数を半導体基板1の格子定数に対して正としても良い。

40

【0032】

また、前記量子ドット領域100A及び量子ドット100Bの組成波長を制御することにより、発振波長と光利得の波長帯域だけでなく、キャリアの閉じ込めも制御できる。

【0033】

すなわち、両者の組成波長の差が大きいときは、組成波長が小さい量子ドットは、面内方向における障壁として機能し、面内方向への光閉じ込めに加えて、組成波長の大きい量子ドットに注入キャリアを集中することができる。

50

【0034】

一方、両者の組成波長の差が小さい時は、組成波長が小さい量子ドットへもキャリア注入がなされ、2つの量子ドットは井戸層として機能するため、広い波長範囲で、光利得を有することを特徴とする半導体レーザ装置を構成することができる。

【0035】

ここで、本実施の形態例においては活性層4の最下層のバリア層101が下地層を兼ねている。下地層は所望の波長を実現するために量子ドットのサイズ及び形状を制御するために設けられるが、最下層のバリア層とは独立させて前記活性層4と前記下部SCH層3Aの間に形成することができる。また該下地層、活性層4中に形成することもできる。この場合には、バリア層101とウエティング層100A-1の間に形成することが好ましい。なお、下地層を複数の箇所にも形成することも可能である。

10

【0036】

なお、前記下地層を歪層にすることにより量子ドットのサイズ及び形状を制御することが可能となる。その結果、半導体レーザ装置の発光波長の制御領域を広くすることができる。

【0037】

特に、前記量子ドット領域100Aの格子常数を半導体基板に対して正(負)、前記量子ドット100Bの格子定数を半導体基板1の格子定数に対して負(正)とした場合に下地層102面内に、半導体基板1に対して格子定数が正負に変化する歪補償構造を用いると以下のような効果を得ることができる。すなわち半導体基板1の格子定数よりも大きい格子常数を有する下地層(圧縮歪みを有する下地層)の領域には圧縮歪みを有する量子ドットを、半導体基板1の格子定数よりも小さい格子常数を有する下地層(引張り歪みを有する下地層)の領域には引張り歪みを有する量子ドットを優先的に形成することができる。このようにして、量子ドットの位置をより正確に制御することができる。

20

【0038】

これは、量子ドットは量子ドットに蓄えられる歪みエネルギーがもっとも小さくなるように形成されるためである。例えば、圧縮歪みを有する量子ドットは、引張り歪みを有する下地層の領域に成長するよりも圧縮歪みを有する下地層の領域に成長した方が、ドットに蓄積される歪みエネルギーが小さくなる。

【実施例】

30

【0039】

本実施例にかかる半導体レーザ装置について説明する。図2は、本実施例にかかる半導体レーザ装置の断面図である。ここで、図2(a)は、長手方向の縦断面図を示し、図4(b)は、光出射面に平行な断面図を示す。本実施例にかかる半導体レーザ装置は、n型InP半導体基板1上に、n型の下部クラッド層2A、アンドープの下部SCH(光閉じ込め)層3A、活性層4、アンドープの上部SCH(光閉じ込め層)3B、p型の上部InPクラッド層2B、p型のGaInAsPコンタクト層5が順に積層された構造である。これらの層は、例えばMOCVDやMBEのようなエピタキシー結晶成長技術によってn型InP半導体基板1上に順に形成される。

【0040】

40

また、n型の下部電極6Bがn型InP半導体基板1の下側表面に形成され、p型の上部電極6Aがコンタクト層5上に形成される。図4(b)に示すp型の半導体層8とn型の半導体層9は電流ブロッキング層を形成している。前記p型の半導体層8とn型の半導体層9はフォトリソグラフィ技術とエッチングプロセスで形成されたメサ構造(前記下部光閉じ込め層3A、活性層4、上部光閉じ込め層3B)の隣接領域に形成される。前記電流ブロッキング層の存在によって、活性層4は注入電流に対する狭窄領域として機能するとともに、安定した水平単一横モードを実現する。なお、安定した水平単一モードが実現することが可能であれば、メサの形状はテーパ状であっても良いし、メサ幅の異なる複数のメサを有する形状であっても良い。さらに、本発明では、より安定した水平単一モードを実現するためにBH構造を用いているが、横モードが制御されていれば、リッジ構造や

50

SAS (自己整合型) 構造であっても良い。

【0041】

さらに、図4(a)に示すように、この半導体レーザ装置は、光が出射される面でありかつ劈開面で形成される前端面とそれに対向した劈開面で形成される後端面とによって共振器長Lが規定される。前端面上には、共振器の前面からの光出射が容易となるように、低反射膜11が被覆されており、後端面上には後面からの光出射が抑制されるように高反射膜12が被覆される。

【0042】

ここで、本実施例では高出力動作を実現するために共振器長を1300 μm としたが、高出力動作と言う観点からは800 μm 以上、好適には1000 μm 以上、より好適には1500 μm 以上であることが望ましい。一方、信号光源用途などの低閾値動作及び高速変調動作が要求されるレーザでは、共振器長は400 μm 以下、より好適には300 μm 以下であることが望ましい。このように共振器長は、レーザモジュールの所望の光出力、消費電力、動作電流といった仕様から最適な共振器長が決定される。

【0043】

また高出力動作を実現するには、共振器長だけではなく、低反射膜11の反射率を共振器長に応じて最適化することが好ましい。例えば共振器長が1000 μm 以上である半導体レーザ装置では、低反射膜は5%以下、より好適には3%以下が望ましい。本実施例では、共振器長を1300 μm としたので低反射膜11の反射率を1.5%とした。なお、共振器長が1000 μm 以上であってファイバブラッググレーティング等の外部共振器が具備される場合は、その反射率を1%以下とすることが望ましい。一方、高反射膜12の反射率は、光出力動作のためには90%以上が望ましいが、本実施例では98%とした。

【0044】

ここで、活性層4は、量子ドット構造を含む多重量子井戸(MQW)構造であり、その活性層4を挟むように配置されたSCH層3A、3Bは、GRIN-SCH構造である。

図3に、本実施例の半導体レーザ装置の下部クラッド層2Aから上部クラッド層2Bの伝導帯と価電子帯との間のバンドギャップダイアグラム、すなわち、積層方向におけるエネルギーバンドギャップダイアグラムを示す。図3に示すように、活性層4は量子ドット層100とバリア層101が交互に隣接してヘテロ接合され、該活性層4は3つの井戸を有するMQW構造で形成されている。

【0045】

図3に示すように、SCH層3A、3Bはそれぞれ、活性層4から離れるにつれて各層のバンドギャップエネルギーが階段状に増加する複数の層3A₁、3A₂、・・・、3A_nと3B₁、3B₂、・・・、3B_nを有したGRIN-SCH構造である。

本実施例では、活性層4のバリア層101の組成波長を1.2 μm とし、GaInAsPからなるSCH層3A、3Bをそれぞれ各層の厚さが40nmの組成波長0.95 μm 、1.0 μm 、1.05 μm 、1.1 μm 、1.15 μm 、1.2 μm からなる層で形成した。

【0046】

また、SCH層3A、3Bのそれぞれの厚み(全体)は、200nm以下、好適には100nm以下、より好適には30~40nmとすることが望ましく、要求される光出力や、閾値電流の仕様に応じて最適化される。

【0047】

なお、本実施例では、最適構造としてバンドギャップエネルギーが直線的に変化する多段のGRIN-SCH構造をSCH層として採用したが、所望の出力が得られるのであれば、この限りではない。

また、本実施例においては上部SCH層3Aと下部SCH層3Bを、活性層4に対して位置、厚み、組成が全て対称となるように形成したが、下部SCH層3Aを上部SCH層3Bより厚くした非対称構造にしてもよい。

【0048】

10

20

30

40

50

また、活性層 4、SCH 層 3 A、3 B、クラッド層 2 A、2 B の間のエネルギーバンドの関係は、活性層 4 (MQW 構造) 内の量子ドット層 100 のエネルギーバンドギャップが最も小さく、次いで活性層 4 内のバリア層 100、SCH 層 3 A、3 B、クラッド層 2 A、2 B の順にエネルギーバンドギャップは大きくなっている。

【0049】

本実施例の量子ドット構造は、層厚 5 nm の InAs からなる量子ドット 100 A - 1 を含む量子ドット領域 100 A と層厚 5 nm の GaAs からなる量子ドット 100 B で構成される量子ドット層 100 と層厚 10 nm の GaInAsP からなるバリア層 101 とからなる歪多重量子井戸構造である。

【0050】

本実施例では、量子ドットのサイズ、位置を制御するため、図 4 に示すように (100) 結晶面から 2° 傾斜した InP からなる半導体基板 1 を用い、さらに第一層目の量子ドット層 100 が形成されるバリア層 101 上に層厚 5 nm の GaInAsP からなるストライプ 200 を <011> 方向に形成した。

【0051】

前記 (100) 結晶面から 2° 傾斜した InP からなる半導体基板 1 においては、該半導体基板 1 の表面に <011> 方向にステップが形成されている。このステップは、前記半導体基板 1 上に形成される各半導体層に転写されるため、第一層目の量子ドット層 100 が形成されるバリア層 101 の表面にもステップが形成されている。また、前記ストライプは前記ステップに垂直に形成されているので、該ステップと該ストライプの交わる領域がもっとも表面エネルギーの低い領域となり、この領域において優先的に量子ドットが形成されることになる。

【0052】

このため、従来では量子ドットの位置を制御することが困難であったのに対し、本実施例では、ステップとストライプの交わる領域に量子ドットを配置するといった位置制御できる。また、形成するストライプの形状、間隔により量子ドットの密度、形状、サイズを制御することができる。

【0053】

ここで、GaAs からなる量子ドット (図示しない) は、InAs からなる量子ドット 100 A - 1 よりもバンドギャップが大きいので、キャリア注入時に GaAs からなる量子ドットにはキャリアが注入されず、結果として GaAs からなる量子ドットは面内方向のバリア層として機能する。また、面内方向において量子ドット領域 100 A - 1 の屈折率は GaAs からなる量子ドットよりも大きいので、量子ドット 100 A - 1 に光が閉じ込められる。また、量子ドット 100 A - 1 のバンドギャップエネルギーは、GaInAsP からなるバリア層 101 よりも小さいので、電流注入時には、バリア層 101 には、キャリアが注入されない。また、GaInAsP からなるストライプ 200 も、量子ドット 100 A - 1 よりもバンドギャップが大きいので、キャリアが注入されることはない。結局、量子ドット 100 A - 1 のみにキャリア注入が効率的に行なわれる。また、この時、量子ドット 100 A - 1 はサイズが揃っているので、光利得の線幅が狭く、強度の大きいものとなる。従って、低電流で発振し、かつ高効率で動作する半導体レーザ装置が得られる。

【0054】

また、本実施例では、活性層 4 に n 型不純物を $7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ドープして、素子抵抗および熱抵抗を低減させ、高い注入電流時においても、低消費電力高出力動作が可能なレーザ構造とした。なお、不純物ドーピングは、多重量子井戸構造を構成する量子ドット層 100 およびそれに隣接したバリア層 101 からなるペアの少なくとも一部に行えばよく、全てに行う必要はない。なお、所望の光出力値によっては、活性層 4 に p 型不純物をドーピングする構造であっても、活性層 4 に不純物をドーピングしない構造であっても問題はない。

【0055】

10

20

30

40

50

なお、本実施例においては、上述したように半導体基板1をInPで形成し、活性層4やSCH層3A、3BをInGaAsPで形成することが好ましいが、他の材料を用いて形成することも可能である。例えば半導体基板1をInPで形成し、活性層4やSCH層3A、3BをAlGaInAsPで形成したり、半導体基板1をGaAsで形成し、活性層4やSCH層3A、3BをAlGaInP、AlGaInNAsPまたはGaInAsPなどで形成したりしても良い。また、本実施例においては半導体基板1の導電型をn型としたが、これをp型に換えて、その上に形成する各層の導電型をそれに合わせて変更することもできる。

【0056】

さらに、本実施例の半導体レーザ装置は、少なくとも半導体基板と組成あるいはバンドギャップの異なる2種類以上の量子ナノ構造を含む導波路層あるいは吸収層を有していれば、他の種々の積層構造で実現される半導体レーザ装置に対して適用することができる。

例えば、分布帰還型(DFB)レーザ装置、分布ブラッグ反射型(DBR)レーザ装置、活性層の近傍に形成されたグレーティングの波長選択特性によって所定出力値以下の複数の発振縦モードのレーザ光を生成する半導体レーザ装置や面発光レーザ装置及び、変調器などに適用することができる。なお、量子ドットの体積充填率の点からは、3層以上の量子ドット層で構成される活性層がより好適である。

【0057】

なお、本実施例では、量子ドットを用いた半導体レーザ装置を例に取って説明したが、量子ナノ構造として、前記量子ドットに代えて、量子箱、量子ダッシュ、量子細線、量子ディスクを用いることもできるし、これらのうちのいくつかを組み合わせることもできる。

【0058】

なお、本実施例においては、半導体層により形成されるストライプを用いたが、酸化珪素や窒化珪素などから構成される誘電体マスクで形成されるストライプを用いることもできる。この場合には、誘電体マスクのない領域に選択的に成長がなされるといった特徴を活かして、量子ドットの位置、形状、サイズの制御をすることができる。これは、誘電体マスクの形状により、被成長表面上において実効的に量子ドットを形成するための原子の供給量が変わるためである。

また、このような誘電体マスクを用いたストライプを用いた半導体レーザ装置において、有機金属気相成長法によって量子ドットを形成した場合は、成長時の圧力が低いほど、成長の選択性が大きくなり、20Torr程度の成長圧力では、形成する誘電体マスクの結晶方向によらず多結晶をマスク上に形成しない状態で高密度の量子ドット構造を実現することができる。

【0059】

また、本実施例においては前記(100)結晶面から2°傾斜したInPからなる半導体基板を用いたが、このような(100)結晶面から傾斜した基板に限らず、特定結晶面方位を有する(n11)基板や(100)結晶面を基板に使い、エッチングにより形成した結晶面を用いても、同様の手法により、同様の効果が得られる。

【0060】

以上の結果より、本発明によれば、高密度の量子ナノ構造を有する半導体装置を実現できる。特に高密度の量子ナノ構造を半導体レーザ装置、半導体増幅装置等の光能動素子の導波路層として機能する活性層に適用できる。特にこのような活性層を有する半導体レーザ装置は、発振閾値の大幅な低減、高出力動作、低消費電力動作、発振特性の温度特性を改善することができるという効果を奏する。

【0061】

また、本発明によれば、高密度の量子ナノ構造を変調器、受光素子等の光受動素子の吸収層として機能する層に適用できる。特にこのような層を有する半導体装置は、電界印加時の大きな屈折率変化を利用して、消光比を大きくすることができる高性能な光スイッチを実現することができるという効果を奏する。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 2 】

また、本発明は、電子デバイスに適用することもできる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 6 3 】

【 図 1 】 本実施例の半導体レーザ装置の断面図である。

【 図 2 】 図 1 に示す半導体レーザ装置の断面図である。図 2 (a) は、長手方向の縦断面図を示し、図 2 (b) は、光出射面に平行な断面図を示す。

【 図 3 】 図 1 に示す半導体レーザ装置の下部クラッド層から上部クラッド層における伝導帯と価電子帯との間のバンドギャップダイヤグラムを示す図である。

【 図 4 】 図 1 に示す半導体レーザ装置の量子ドット層近傍を示す斜視図である。

10

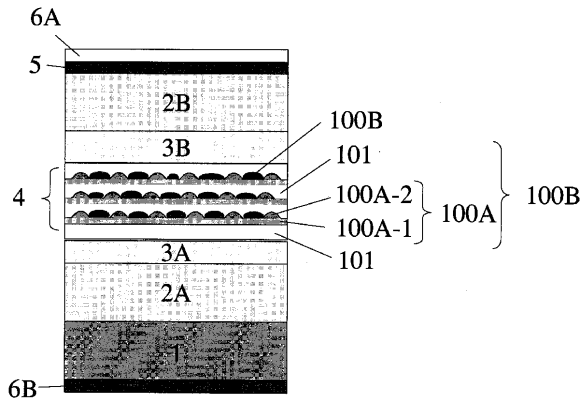
【 符号の説明 】

【 0 0 6 4 】

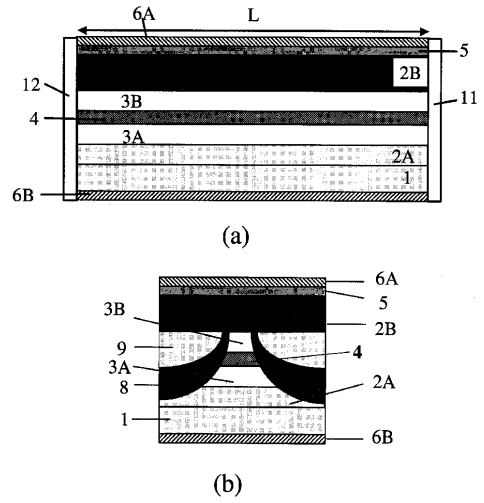
- 1 半導体基板
- 2 A 下部クラッド層
- 2 B 上部クラッド層
- 3 A 下部 S C H 層
- 3 B 上部 S C H 層
- 4 活性層
- 1 0 0 量子ドット層
- 1 0 1 バリア層
- 5 コンタクト層
- 6 A 上部電極
- 6 B 下部電極
- 8 半導体層
- 9 半導体層
- 1 1 低反射膜
- 1 2 高反射膜

20

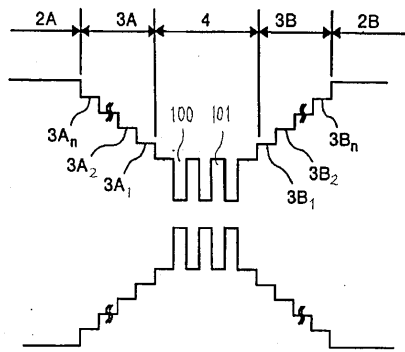
【 図 1 】



【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 4 】

