

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4643794号
(P4643794)

(45) 発行日 平成23年3月2日(2011.3.2)

(24) 登録日 平成22年12月10日(2010.12.10)

(51) Int. Cl. F I
 HO 1 S 5/12 (2006.01) HO 1 S 5/12
 HO 1 S 5/343 (2006.01) HO 1 S 5/343

請求項の数 5 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2000-121436 (P2000-121436)	(73) 特許権者	000005223 富士通株式会社
(22) 出願日	平成12年4月21日 (2000.4.21)		神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
(65) 公開番号	特開2001-308451 (P2001-308451A)	(74) 代理人	100090273 弁理士 園分 孝悦
(43) 公開日	平成13年11月2日 (2001.11.2)	(72) 発明者	石川 務 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
審査請求日	平成18年4月24日 (2006.4.24)	(72) 発明者	小林 宏彦 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
		(72) 発明者	山本 剛之 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体発光素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

障壁層を介して井戸層が積層されてなり、電流注入により光を増幅する多重量子井戸構造を有する半導体発光素子であって、

前記多重量子井戸構造の一部又は全部の領域で前記障壁層及び前記井戸層の層数が光の伝搬方向に対して周期的に変化しており、

前記多重量子井戸構造は、前記領域において、光の伝搬方向に媒質内での伝搬光波長の半波長の整数倍の周期で分割された第1の多重量子井戸層と、平坦な第2の多重量子井戸層とを併せ持ち、

前記第1の多重量子井戸層の利得ピーク波長が発振波長より短波長側にあり、且つ前記第2の多重量子井戸層の利得ピーク波長が発振波長より長波長側にあることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項2】

前記第1の多重量子井戸層の井戸層は、前記第2の多重量子井戸層の井戸層より薄く形成されていることを特徴とする請求項1に記載の半導体発光素子。

【請求項3】

障壁層を介して井戸層が積層されてなり、電流注入により光を増幅する多重量子井戸構造を有する半導体発光素子であって、

前記多重量子井戸構造の一部又は全部の領域で前記障壁層及び前記井戸層の層数が光の伝搬方向に対して周期的に変化しており、

前記多重量子井戸構造は、前記領域において、光の伝搬方向に媒質内での伝搬光波長の半波長の整数倍の周期で分割された第1の多重量子井戸層と、平坦な第2の多重量子井戸層とを併せ持ち、

前記第1の多重量子井戸層に引張歪が導入されており、及び前記第2の多重量子井戸層に圧縮歪が導入されていることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項4】

前記第1の多重量子井戸層及び前記第2の多重量子井戸層の各井戸層の厚み及び組成が調整されていることを特徴とする請求項3に記載の半導体発光素子。

【請求項5】

障壁層を介して井戸層が積層されてなり、電流注入により光を増幅する多重量子井戸構造を有する半導体発光素子であって、

前記多重量子井戸構造の一部又は全部の領域で前記障壁層及び前記井戸層の層数が光の伝搬方向に対して周期的に変化しており、

前記多重量子井戸構造は、前記領域において、光の伝搬方向に媒質内での伝搬光波長の半波長の整数倍の周期で分割された第1の多重量子井戸層と、平坦な第2の多重量子井戸層とを併せ持ち、

前記第1の多重量子井戸層がn型ドーブされ、及び/又は前記第2の多重量子井戸層がp型ドーブされていることを特徴とする半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、主に光通信システムに用いる半導体発光素子のうち、単一波長動作が可能なDFBレーザの構造に関する。光通信システムの高速度に伴い波長安定性に優れた半導体発光素子が必要とされており、特に高出力での変調や反射戻り光があっても波長飛びが生じないことが求められている。

【0002】

【従来の技術】

従来、モード安定性のよい単一波長レーザとして共振器方向に周期的な利得変調を設けた利得結合DFBレーザが提案されている(ここでいう利得結合DFBレーザには屈折率結合と利得結合を併せ持つことを特徴とする複素結合DFBレーザを含む)。利得変調の実現方法には幾つかの方法があり、例えば活性層厚又はガイド層厚を周期的に変調する方法、活性層に隣接して周期的な電流阻止層を設ける方法、もしくは活性層に隣接して周期的な光吸収層を設けるといった方法が挙げられる。なかでも、活性層としての多重量子井戸構造(MQW層)の層数を周期的に変えた構造(以下、MQW回折格子構造と呼ぶ)は比較的大きな利得結合係数を確保できること、利得結合と屈折率結合の位相が合致すること、余計な吸収が発生しないことといった利点を備えている。

【0003】

図12に、MQW回折格子構造を用いた利得結合DFBレーザの従来例を示す。ここで、(a)は半導体発光素子の主要構成の概略斜視図、(b)はその領域Cの概略断面図、(c)は破線Dに沿ったバンドギャップをそれぞれ示す。

【0004】

MQW構造回折格子102は、周期的に分割されたMQW層(MQW-A)と平坦なMQW層(MQW-B)からなり、n-InP基板101とp-InPクラッド層103との間に設けられている。MQW-AとMQW-Bにおいて、井戸層、障壁層の膜質及び膜厚はそれぞれ同じである。

【0005】

図12の例では、全6層のMQW層のうち、上部3層が周期的に分割されてMQW-Aを成し、下部3層は平坦とされてMQW-Bを成している。ここで、MQW回折格子構造ではMQW-AとMQW-Bそれぞれの層数を変えることで利得結合係数と屈折率結合係数、及び活性層全体の利得が制御可能である。基本的にはMQW-Aの層数を増せば利得結

10

20

30

40

50

合係数と屈折率結合係数が大きくなり、MQW-Bの層数を増せば結合係数をさほど変えることなく活性層全体の利得が大きくなる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

MQW回折格子構造による利得結合DFBレーザには、以下に述べるような諸問題点がある。

まず、第1の問題点について説明する。利得結合DFBレーザにおいて、屈折率合係数に対する利得結合係数の割合はモード安定性に大きく寄与する。例えば、共振器中に位相シフトを含まない均一回折格子の場合には、一般的に屈折率結合係数に対する利得結合係数の割合が大きい方が望ましい。他にも両結合係数の大きさは様々な特性に影響し、例えば結合係数が大きいと一般的に発振しきい値は低く、反射戻り光耐性は大きくなるがスローブ効率が低下し、空間的ホールバーニング効果の影響が大きくなる。したがって、求められる素子特性に応じて屈折率結合係数と利得結合係数の両方を適切に制御することが望ましい。

10

【0007】

しかしながら、図12に例示した従来のMQW回折格子構造では、MQW-Aの層数は利得結合係数と屈折率結合係数の両方に寄与するため、これらのパラメータを独立に制御するのが難しく、例えば利得結合係数を大きくするためにMQW-Aの層数を増やすと同時に屈折率結合係数も大きくなるため、スローブ効率が低下したり空間的ホールバーニング効果が強くなるという問題がある。

20

【0008】

また、図12に例示した従来のMQW回折格子構造における第2の問題点として、変調帯域を大きくするために微分利得(キャリア密度変化量に対する利得変化量)を大きくするとMQW-Aにおける利得のキャリア密度依存性、すなわち利得結合係数のキャリア密度依存性が大きくなり、変調時における利得結合係数の変動が大きくなってしまいう問題があった。

【0009】

また、図12に例示した従来のMQW回折格子構造における第3の問題点として、MQW層に歪を導入した場合、同じ組成(すなわち同じ格子定数)の層でもMQW-AとMQW-Bでは歪の入り方が違うため(図13参照)、MQW-AとMQW-Bにおける利得スペクトルに差が生じる。例えば圧縮歪を導入するとMQW-Bに対してMQW-Aの利得ピークは短波長側にずれ、引張歪を導入するとMQW-Bに対してMQW-Aの利得ピークは長波長側にずれてしまう、このような場合、回折格子周期で決まる発振波長に対して利得ピーク位置を適切に設定することが難しく、例えば発振波長に対して利得ピーク波長が離れすぎると発振しきい値が増加したり温度特性が劣化してしまうといった問題があった。

30

【0010】

本発明は、上記の課題に鑑みてなされたものであり、特にMQW回折格子構造を用いた利得結合DFBレーザの半導体発光素子において、屈折率結合係数と利得結合係数とを独立に制御し、発振しきい値やスローブ効率、反射戻り光耐性などの特性劣化を招くことなくモード安定性を改善することを目的とする。

40

【0011】

更に、活性層全体の微分利得を大きく保ったまま利得結合係数のキャリア密度依存性を小さくし、変調帯域が大きく、且つ変調時の波長変動が小さなMQW回折格子構造の半導体発光素子を提供することを目的とする。

【0012】

更に、多重量子井戸層に歪を導入した場合にも、第1の多重量子井戸層(MQW-A)と第2の多重量子井戸層(MQW-B)における利得ピーク波長を一致させ、その結果、回折格子周期で決まる発振波長に対して利得ピーク位置を適切に設定し、発振しきい値の増加や温度特性の劣化を防ぐことを可能とする半導体発光素子を提供することを目的とす

50

る。

【0013】

【課題を解決するための手段】

本発明者らは、鋭意検討の結果、以下に示す発明の態様に想到した。

【0014】

本発明は、障壁層を介して井戸層が積層されてなり、電流注入により光を増幅する多重量子井戸構造（MQW構造）を有する半導体発光素子であって、前記多重量子井戸構造の一部又は全部の領域で前記障壁層及び前記井戸層の層数が光の伝搬方向に対して周期的に変化しており、前記多重量子井戸構造は、前記領域において、光の伝搬方向に媒質内での伝搬光波長の半波長の整数倍の周期で分割された第1の多重量子井戸層（MQW-A）と、平坦な第2の多重量子井戸層（MQW-B）とを併せ持ち、前記第1の多重量子井戸層の利得ピーク波長が発振波長より短波長側にあり、且つ前記第2の多重量子井戸層の利得ピーク波長が発振波長より長波長側にあることを特徴とする。

10

【0015】

本発明は、障壁層を介して井戸層が積層されてなり、電流注入により光を増幅する多重量子井戸構造（MQW構造）を有する半導体発光素子であって、前記多重量子井戸構造の一部又は全部の領域で前記障壁層及び前記井戸層の層数が光の伝搬方向に対して周期的に変化しており、前記多重量子井戸構造は、前記領域において、光の伝搬方向に媒質内での伝搬光波長の半波長の整数倍の周期で分割された第1の多重量子井戸層（MQW-A）と、平坦な第2の多重量子井戸層（MQW-B）とを併せ持ち、前記第1の多重量子井戸層に引張歪が導入されており、及び前記第2の多重量子井戸層に圧縮歪が導入されていることを特徴とする。

20

【0016】

本発明は、障壁層を介して井戸層が積層されてなり、電流注入により光を増幅する多重量子井戸構造（MQW構造）を有する半導体発光素子であって、前記多重量子井戸構造の一部又は全部の領域で前記障壁層及び前記井戸層の層数が光の伝搬方向に対して周期的に変化しており、前記多重量子井戸構造は、前記領域において、光の伝搬方向に媒質内での伝搬光波長の半波長の整数倍の周期で分割された第1の多重量子井戸層（MQW-A）と、平坦な第2の多重量子井戸層（MQW-B）とを併せ持ち、前記第1の多重量子井戸層がn型ドーピングされ、及び/又は前記第2の多重量子井戸層がp型ドーピングされていることを特徴とする。

30

【0017】

更に、前記膜質の相違は、材料組成、p型又はn型の不純物添加、圧縮歪又は引張歪の導入のうち少なくとも1種以上の制御により達成されるものである。

【0018】

以下、本発明の前記態様と、前述した第1～第3の問題点との関連について説明する。

【0019】

前記第1の問題点に対して、本発明では、上記の如くMQW-AとMQW-Bにおいて井戸層及び/又は障壁層の構造を変えることで屈折率結合係数に対する利得結合係数の割合を制御可能とする。例えば、MQW-Aの井戸層に対してMQW-Bの井戸層を薄くする。この場合、MQW-Bにおける量子準位がMQW-Aに対して高エネルギー側にシフトするため、MQW-Bに対しMQW-Aに注入されるキャリア数の比率が増える。したがって、活性層全体の利得に対してMQW-Aの利得の割合が増し利得結合係数が大きくなる。一方でキャリア数の増加により屈折率は低下するため、MQW-Aの屈折率は減少して屈折率結合係数は小さくなる。

40

【0020】

他の例として、MQW-AとMQW-Bで井戸層の材料組成を変え、MQW-Aの井戸層に対してMQW-Bの井戸層のバンドギャップを大きくする、又はMQW-Aの障壁層に対してMQW-Bの障壁層の障壁を高くすることでも同様の効果が期待できる。また、MQW-AとMQW-Bの構成を逆にすることで利得結合係数を小さく屈折率結合係数を大

50

きくすることも可能である。

【0021】

前記第2の問題点に対して、本発明では、回折格子周期で決まる発振波長における微分利得（キャリア密度変化量に対する利得変化量の割合）をMQW-Aで小さく、MQW-Bで大きくなるようにすることで活性層全体の微分利得を大きく保ったまま利得結合係数のキャリア密度依存性を小さくする。例えば、回折格子周期で決まる発振波長に対してMQW-Aの利得ピーク波長を短波長側に、MQW-Bの利得ピーク波長を長波長側にする。この場合、MQW-Aでは利得ピークの長波長側に発振波長が位置するため微分利得が小さく、反対にMQW-Bでは利得ピークの短波長側に発振波長が位置するため微分利得が大きくなる。

10

【0022】

利得ピーク波長を上記の位置に設定する手段としては、例えば、MQW-Bの井戸層に対してMQW-Aの井戸層を薄くする、MQW-Bの井戸層に対してMQW-Aの井戸層のバンドギャップを大きくする、MQW-Bの障壁層に対してMQW-Aの障壁層の障壁を高くするなど挙げられる。

【0023】

また、発振波長に対するMQW-AとMQW-Bの利得ピークの位置が上記の関係を満たさない場合でも、両MQW層の構造を適切に設計することでMQW-Aの微分利得を小さく、MQW-Bの微分利得を大きくすることができる。例えばMQW-Aの微分利得を小さくするための手段としては、MQW-Aの井戸層に引張歪を導入することや、MQW-Aをn型ドーピングすることが挙げられる。また、MQW-Bの微分利得を大きくするための手段としては、MQW-Bの井戸層に圧縮歪を導入することや、MQW-Bにp型ドーピングを行うことが挙げられる。

20

【0024】

前記第3の問題点に対して、本発明では、MQW-AとMQW-Bにおいて井戸層及び/又は障壁層の構造を変えることでMQW-AとMQW-Bにおける利得ピーク波長を一致させる。例えば、MQW-A、Bそれぞれに圧縮歪を導入する場合、歪量に応じてMQW-AとMQW-Bにおける利得ピーク波長が一致するようにMQW-Bの井戸層に対してMQW-Aの井戸層を厚くする。この場合、MQW-Aにおける量子準位は厚膜化によって長波長側にシフトするため、歪の入り方の違いによるMQW-Bとの利得ピーク波長の差を打ち消すことができる。

30

【0025】

また、同様に圧縮歪を導入する場合に、歪量に応じてMQW-Aの井戸層の組成をMQW-Aを分割しない状態での発光波長がMQW-Bに対して長波長側になるように設定することで同様の効果が期待できる。

【0026】

また、同様に圧縮歪を導入する場合に、歪量に応じてMQW-Aの障壁層の障壁高さをMQW-Bに対して低くすることで同様の効果が期待できる。一方、引張歪を導入する場合には前記の例におけるMQW-AとMQW-Bの構成を逆くすることで同様の効果が期待できる。また、圧縮歪もしくは引張歪を導入する場合に、MQW-Aの歪量に応じてMQW-Bの歪量をMQW-Aを分割しない状態での歪量よりも大きくなるように設定することで同様の効果が期待できる。

40

【0027】

【作用】

前記第1の問題点に対して本発明を適用した場合、MQW回折格子構造の半導体発光素子において屈折率結合係数と利得結合係数を独立に制御することが可能となり、発振しきい値やスロープ効率、反射戻り光耐性などの特性劣化を招くことなくモード安定性を改善することができる。

【0028】

また、前記第2の問題点に対して本発明を適用した場合、活性層全体の微分利得を大きく

50

保ったまま利得結合係数のキャリア密度依存性を小さくすることができ、変調帯域が大きく、かつ変調時の利得結合係数の変動が小さなMQW回折格子構造の半導体発光素子が実現できる。

【0029】

また、前記第3の問題点に対して本発明を適用した場合、MQW回折格子構造の半導体発光素子において、MQW層に歪みを導入した場合にもMQW-AとMQW-Bにおける利得ピーク波長を一致させることができる。その結果、回折格子周期で決まる発振波長に対して利得ピーク位置を適切に設定することができ、発振しきい値の増加や温度特性の劣化を防ぐことが可能となる。

【0030】

【発明の実施の形態】

以下、本発明を適用した具体的な諸実施形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。

【0031】

(第1の実施形態)

図1は、本実施形態による半導体発光素子の主要構成を示す模式図である。ここで、(a)は半導体発光素子の主要構成の概略斜視図、(b)はその領域Cの概略断面図、(c)は破線Dに沿ったバンドギャップをそれぞれ示す。

【0032】

この半導体発光素子は、主に利得結合DFBレーザに用いられるものであり、図1(a)に示すように、n-InP基板1上に電流注入により光を増幅する多重量子井戸構造(MQW構造)2及び電流狭窄層3が設けられ、これらを覆うようにp-InPクラッド層4が設けられ、上面にSiO₂からなる保護膜5が形成され、更に下面にはn側電極6が設けられ、上面にはp側電極7がコンタクト層8と電気的に接続されるように設けられて構成されている。

【0033】

MQW構造2は、障壁層を介して井戸層が積層されてなり、図1(b)に示すように、その一部又は全部の領域で、光の伝搬方向に媒質内での伝搬光波長の半波長の整数倍の周期で分割された第1の多重量子井戸層(MQW-A)と、平坦な第2の多重量子井戸層(MQW-B)とを備えて構成されている。

【0034】

本例では、MQW-Bの井戸層に対してMQW-Aの井戸層を厚く形成することにより、屈折率結合係数に対する利得結合係数の割合を大きくしている。MQW構造2の井戸層及び障壁層はそれぞれ組成の異なるGaInAsPによって構成され、MQW-Aの井戸層の厚みは10nm、MQW-Bの井戸層の厚みは8nmである。障壁層は、バルク状態でのバンドギャップエネルギーに対応する波長、即ち組成波長が1.2μm、厚みが10nmであり、MQW構造全体の利得ピーク波長が1.56μmとなるように井戸層の組成が設定されている。回折格子周期は発振波長1.55μmに合わせて240nmとし、位相シフトのない均一回折格子である。

【0035】

ここで、図2及び図3を用いて本実施形態の半導体発光素子の製造方法を工程順に説明する。

なお、図2の(a)~(d)はMQW層を共振器方向に平行な鉛直面で切った断面図であり、図3の(a)~(e)は共振器方向に対する垂直面で切った断面図である。

【0036】

まず、MOVPE法などを用いて、n-InP基板1上にMQW-B、MQW-A(MQW-A及びMQW-BからMQW構造2が構成される)、p-InPクラッド層4を順次成長する(図2(a))。ここで、MQW-A及びMQW-Bを構成する各層の膜厚、膜質を本発明の実現手段に応じて適宜設定する。

【0037】

10

20

30

40

50

なお、本例では省略したがMQW構造2の他に必要に応じて光導波層などを成長しても構わない、また、MQW-A及びMQW-Bの層数は任意に選べる。

【0038】

続いて、成長したMQW構造2上にレジストを塗布し、干渉露光法又は電子ビーム露光法などを用いてレジスト回折格子21を形成する(図2(b))。本例では均一回折格子を用いているが、必要に応じて位相シフトを設けてもよい。

【0039】

続いて、形成したレジスト回折格子21をマスクとして表面からMQW-A11までをエッチングで除去する(図2(c))。

【0040】

続いて、レジスト回折格子21を除去した後、MO-VPE法などによりMQW-Aを埋め込むようにp-InPクラッド層4を成長する(図2(d))。ここで、埋込成長層の材料はp-InPに限定されない。また、必要に応じて光導波層などを成長しても構わない。

【0041】

続いて、一般的なフォトリソグラフィ技術を用いて共振器方向に平行なストライプ状のSiO₂マスク22をパターン形成する(図3(a))。

【0042】

続いて、形成したSiO₂マスク22を用いてドライエッチングなどを行い、MQW構造2の下部(n-InP基板1の表層)まで到達するメサストライプ23を形成する(図3(b))。

【0043】

MO-VPE法などでメサストライプ23の両側に電流狭窄層3を成長する(図3(c))。本実施例では電流狭窄層3としてp-InP層、n-InP層を順次成長したが、他の構成でも構わない。さらに、本実施形態とは異なるリッジ構造や埋込リッジ構造など、他の導波構造を用いても好適である。

【0044】

続いて、SiO₂マスク22を取り除いた後、MO-VPE法などでp-InPクラッド層4、P-GaInAsPからなるコンタクト層8を順次成長する(図3(d))。

【0045】

続いて、一般的なフォトリソグラフィ技術を用いて、SiO₂からなる保護膜5、p側電極7、n側電極6などを形成する(図3(e))。

【0046】

なお本例では、基板としてn型基板(n-InP基板1)を用いたが、対応する層の導電型を逆にすることでp型基板を用いることも可能である。また、始めにMQW-Aを成長し、p-InPクラッド層4の埋め込み成長の際にMQW-Bを成長することでMQW-AとMQW-Bの上下関係を逆にすることも可能である。

【0047】

以上の各工程を経て製造した半導体発光素子において、前端面に反射防止膜、後端面に高反射膜を施した共振器長300μmの素子のしきい値電流値は4mA、スロープ効率は0.4W/Aであった。また、1ウエハ100個中の単一波長歩留まりは100%であり、-14dBの反射戻り光が入射した場合にもモード飛びが起らなかった。

【0048】

このように、本実施形態の半導体発光素子によれば、屈折率結合係数と利得結合係数とを独立に制御し、発振しきい値やスロープ効率、反射戻り光耐性などの特性劣化を招くことなくモード安定性を改善することが可能となる。

【0049】

(第2の実施形態)

図4は、本実施形態による半導体発光素子の主要構成を示す模式図である。ここで、(a)は半導体発光素子の主要構成の概略側面図、(b)はその領域Cの概略断面図、(c)

10

20

30

40

50

は破線Dに沿ったバンドギャップをそれぞれ示す。なお、本例の半導体発光素子の全体構成は、第1の実施形態とほぼ同様である。

【0050】

本例では、MQW-Aの井戸層に対してMQW-Bの井戸層のバンドギャップを大きくすることで、屈折率結合係数に対する利得結合係数の割合を増加させている。これは、MQW-A, Bの井戸層の組成を変えることで実現できる。

【0051】

MQW-A, B共に井戸層の厚みは10nmであり、MQW-Aでは組成波長が1.65 μ mのGaInAsP, MQW-Bでは組成波長が1.63 μ mのGaInAsPを用いた。障壁層はどちらも厚みが10nm、組成波長が1.2 μ mのGaInAsPである。

10

【0052】

本例の半導体発光素子においても、第1の実施形態と同様に、しきい値電流値、スロープ効率の劣化を招くことなく、高い波長歩留まりと反射戻り光耐性が確認された。

【0053】

このように、本実施形態の半導体発光素子によれば、屈折率結合係数と利得結合係数とを独立に制御し、発振しきい値やスロープ効率、反射戻り光耐性などの特性劣化を招くことなくモード安定性を改善することが可能となる。

【0054】

(第3の実施形態)

図5は、本実施形態による半導体発光素子におけるMQW構造のバンドギャップを示す特性図である。なお、本例の半導体発光素子の全体構成は、第1の実施形態とほぼ同様である。

20

【0055】

本例では、MQW-Aの障壁層に対してMQW-Bの障壁層の障壁を高くすることで、屈折率結合係数に対する利得結合係数の割合を増加させている。MQW-A, B共に井戸層は厚みが10nm、組成波長が1.65 μ mのGaInAsPを用い、MQW-Aの障壁層は厚みが10nm、組成波長が1.25 μ mのGaInAsP, MQW-Bの障壁層は厚みが10nm、組成波長が1.15 μ mのGaInAsPである。

【0056】

本例の半導体発光素子においても、第1の実施形態と同様に、しきい値電流値、スロープ効率の劣化を招くことなく、高い波長歩留まりと反射戻り光耐性が確認された。

30

【0057】

このように、本実施形態の半導体発光素子によれば、屈折率結合係数と利得結合係数とを独立に制御し、発振しきい値やスロープ効率、反射戻り光耐性などの特性劣化を招くことなくモード安定性を改善することが可能となる。

【0058】

(第4の実施形態)

図6は、本実施形態による半導体発光素子における第1及び第2のMQW層の利得曲線を示す特性図である。なお、本例の半導体発光素子の全体構成は、第1の実施形態とほぼ同様である。

40

【0059】

本例では、回折格子周期で決まる発振波長に対してMQW-Aの利得ピーク波長を短波長側、MQW-Bの利得ピーク波長を長波長側とすることにより、MQW構造全体の微分利得を大きく保ったまま利得結合係数のキャリア密度依存性を小さくしている。回折格子の周期は発振波長1.55 μ mに合わせて240nmに設定し、MQW-Aの利得ピーク波長を1.54 μ m、MQW-Bの利得ピーク波長を1.56 μ mとした。

【0060】

図2, 3に示す製造方法と同様の手法で製造した当該半導体発光素子において、緩和振動周波数20Gb/sを示し、10Gb/sでの直接変調時においてモード飛びは起こらず、波長変動は0.3nm以下であった。

50

【 0 0 6 1 】

このように、本実施形態の半導体発光素子によれば、活性層全体の微分利得を大きく保ったまま利得結合係数のキャリア密度依存性を小さくし、変調帯域を大きく、且つ変調時の波長変動を小さくすることが可能となる。

【 0 0 6 2 】

(第5の実施形態)

図7は、本実施形態による半導体発光素子のMQW構造近傍を拡大して示す概略断面図である。なお、本例の半導体発光素子の全体構成は、第1の実施形態とほぼ同様である。

【 0 0 6 3 】

本例では、MQW-Aの井戸層に引張歪を導入し、MQW-Bの井戸層に圧縮歪を導入することにより、活性層全体の微分利得を大きく保ったまま利得結合係数のキャリア密度依存性を小さくしている。MQW-Aの井戸層は厚みが20nmのGaInAsPで引張歪が0.5%、MQW-Bの井戸層は厚みが5nmのGaInAsPで0.8%の圧縮歪が導入されている。また、それぞれの利得ピーク波長が1.55 μ mとなるように井戸層の組成が調整されている。

10

【 0 0 6 4 】

本例の半導体発光素子においても、第4の実施形態と同様に、変調帯域を広く保ちつつ直接変調時の波長変動を小さく抑えることができた。

【 0 0 6 5 】

このように、本実施形態の半導体発光素子によれば、活性層全体の微分利得を大きく保ったまま利得結合係数のキャリア密度依存性を小さくし、変調帯域を大きく、且つ変調時の波長変動を小さくすることが可能となる。

20

【 0 0 6 6 】

(第6の実施形態)

図8は、本実施形態による半導体発光素子の主要構成を示す概略斜視図である。なお、本例の半導体発光素子の全体構成は、第1の実施形態とほぼ同様である。

【 0 0 6 7 】

本例では、MQW-Aにn型不純物のドーピングを行い、MQW-Bにp型不純物のドーピングを行うことにより、活性層全体の微分利得を大きく保ったまま利得結合係数のキャリア密度依存性を小さくしている。ここではn-InP基板1を用いMQW-AをMQW-Bの下部に配置したが、p-InP基板を用いる場合にはこれまでの例のようにMQW-AをMQW-Bの上部に配置する。

30

【 0 0 6 8 】

本例の半導体発光素子においても、第4の実施形態と同様に、変調帯域を広く保ちつつ直接変調時の波長変動を小さく抑えることができた。

【 0 0 6 9 】

このように、本実施形態の半導体発光素子によれば、活性層全体の微分利得を大きく保ったまま利得結合係数のキャリア密度依存性を小さくし、変調帯域を大きく、且つ変調時の波長変動を小さくすることが可能となる。

【 0 0 7 0 】

(第7の実施形態)

図9は、本実施形態による半導体発光素子におけるMQW構造のバンドギャップを示す特性図である。なお、本例の半導体発光素子の全体構成は、第1の実施形態とほぼ同様である。

40

【 0 0 7 1 】

本例では、MQW-AとMQW-Bに圧縮歪を導入しており、歪量に応じてMQW-Bの井戸層に対してMQW-Aの井戸層を厚くすることでMQW-AとMQW-Bにおける利得ピーク波長を一致させている。ここでは、圧縮歪0.8%に対しMQW-Aの井戸層の厚みを5.7nm、MQW-Bの井戸層の厚みを5nmとした。このとき、MQW-A, B双方の利得ピーク波長は1.56 μ mと回折格子周期で決まる発振波長1.55 μ mに

50

対する離調は10nmであった。

【0072】

このように、本実施形態の半導体発光素子によれば、MQW層に歪みを導入した場合にも、MQW-AとMQW-Bにおける利得ピーク波長を一致させ、その結果、回折格子周期で決まる発振波長に対して利得ピーク位置を適切に設定し、発振しきい値の増加や温度特性の劣化を防ぐことが可能となる。

【0073】

(第8の実施形態)

図10は、本実施形態による半導体発光素子におけるMQW構造のバンドギャップを示す特性図である。なお、本例の半導体発光素子の全体構成は、第1の実施形態とほぼ同様である。

10

【0074】

本例では、MQW-AとMQW-Bに引張歪を導入しており、歪量に応じてMQW-Aの井戸層の組成を、当該MQW-Aをエッチングにより分割しない状態での発光波長がMQW-Bに対して短波長側になるように設定する。これにより、MQW-AとMQW-Bにおける利得ピーク波長を一致させている。ここでは、引張歪0.4%に対し、MQW-Aの井戸層の組成を、当該MQW-Aを分割しない状態での発光波長がMQW-Bに対して10nmだけ短波長側になるように設定した。このとき、MQW-A、B双方の利得ピーク波長は一致し、回折格子周期で決まる発振波長と合致させることができた。

【0075】

20

このように、本実施形態の半導体発光素子によれば、MQW層に歪みを導入した場合にも、MQW-AとMQW-Bにおける利得ピーク波長を一致させ、その結果、回折格子周期で決まる発振波長に対して利得ピーク位置を適切に設定し、発振しきい値の増加や温度特性の劣化を防ぐことが可能となる。

【0076】

(第9の実施形態)

図11は、本実施形態による半導体発光素子におけるMQW構造のバンドギャップを示す特性図である。なお、本例の半導体発光素子の全体構成は、第1の実施形態とほぼ同様である。

【0077】

30

本例では、MQW-AとMQW-Bに圧縮歪を導入しており、MQW-Bの歪量を、MQW-Aをエッチングにより分割しない状態での歪量よりも大きくなるように設定する。これにより、MQW-AとMQW-Bにおける利得ピーク波長を一致させている。ここでは、両MQW層の井戸層厚を4nm、井戸層の組成波長を1.73 μ mとし、MQW-Aを分割しない状態での圧縮歪を0.3%、MQW-Bの圧縮歪を1.0%とした。このとき、MQW-A、B双方の利得ピーク波長は一致し、回折格子周期で決まる発振波長と合致させることができた。

【0078】

このように、本実施形態の半導体発光素子によれば、MQW層に歪みを導入した場合にも、MQW-AとMQW-Bにおける利得ピーク波長を一致させ、その結果、回折格子周期で決まる発振波長に対して利得ピーク位置を適切に設定し、発振しきい値の増加や温度特性の劣化を防ぐことが可能となる。

40

【0079】

なお、上述した各実施形態では、光の伝搬方向に周期的な利得変調及び屈折率変調が同時に存在し、利得変調及び屈折率変調の双方が伝搬光に対して分布帰還を生じさせる利得結合DFBレーザに用いられる半導体発光素子を例示したが、本発明はこれに限定されるものではない。例えば、光の伝搬方向に周期的な利得変調が存在し、利得変調が伝搬光に対して分布帰還を生じさせる利得結合DFBレーザなどにも適用可能である。

【0080】

以下に示す発明の諸態様もまた、本発明を構成する。

50

【 0 0 8 1 】

態様 1 の半導体発光素子では、前記第 2 の多重量子井戸層の井戸層が前記第 1 の多重量子井戸層の井戸層よりも薄い。

【 0 0 8 2 】

態様 2 の半導体発光素子では、前記第 2 の多重量子井戸層における井戸層のバンドギャップが前記第 1 の多重量子井戸層における井戸層のバンドギャップよりも大きい。

【 0 0 8 3 】

態様 3 の半導体発光素子では、前記第 2 の多重量子井戸層における障壁層の障壁高さが第 1 の多重量子井戸層における障壁層の障壁高さよりも高い。

【 0 0 8 4 】

態様 4 の半導体発光素子では、第 1 の多重量子井戸層における注入キャリア密度が前記第 2 の多重量子井戸層における注入キャリア密度よりも大きい。

【 0 0 8 5 】

態様 5 の半導体発光素子では、態様 1 ~ 4 において、周期的な利得変調もしくは屈折率変調の存在する領域に位相シフトを含まない。

【 0 0 8 6 】

態様 6 の半導体発光素子では、前記第 2 の多重量子井戸層の井戸層が、前記第 1 の多重量子井戸層の井戸層よりも厚い。

【 0 0 8 7 】

態様 7 の半導体発光素子では、前記第 2 の多重量子井戸層における井戸層のバンドギャップが前記第 1 の多重量子井戸層における井戸層のバンドギャップよりも小さい。

【 0 0 8 8 】

態様 8 の半導体発光素子では、前記第 2 の多重量子井戸層における障壁層の障壁高さが前記第 1 の多重量子井戸層における障壁層の障壁高さよりも低い。

【 0 0 8 9 】

態様 9 の半導体発光素子では、前記第 1 の多重量子井戸層における注入キャリア密度が前記第 2 の多重量子井戸層における注入キャリア密度よりも低い。

【 0 0 9 0 】

態様 10 の半導体発光素子では、前記第 1 の多重量子井戸層における微分利得が前記第 2 の多重量子井戸層における微分利得よりも小さい。

【 0 0 9 1 】

態様 11 の半導体発光素子では、前記第 1 の多重量子井戸層の利得ピーク波長が発振波長より短波長側にあり、且つ前記第 2 の多重量子井戸層の利得ピーク波長が発振波長より長波長側にある。

【 0 0 9 2 】

態様 12 の半導体発光素子では、態様 11 において、前記第 1 の多重量子井戸層の井戸層が前記第 2 の多重量子井戸層の井戸層より薄い。

【 0 0 9 3 】

態様 13 の半導体発光素子では、態様 11 において、前記第 1 の多重量子井戸層の井戸層の組成波長が前記第 2 の多重量子井戸層の井戸層の組成波長より短波長である。

【 0 0 9 4 】

態様 14 の半導体発光素子では、態様 11 において、前記第 1 の多重量子井戸層の障壁層の障壁高さが、前記第 2 の多重量子井戸層の障壁層の障壁高さより高い。

【 0 0 9 5 】

態様 15 の半導体発光素子では、前記第 1 の多重量子井戸層に引張歪が導入されており、及び / 又は前記第 2 の多重量子井戸層に圧縮歪が導入されている。

【 0 0 9 6 】

態様 16 の半導体発光素子では、前記第 1 の多重量子井戸層が n 型ドーピングされ、及び / 又は前記第 2 の多重量子井戸層が p 型ドーピングされている。

【 0 0 9 7 】

10

20

30

40

50

態様 17 の半導体発光素子では、態様 16 において、基板が n 型であり前記第 1 の多重量子井戸層が前記第 2 の多重量子井戸層の下部に位置する。

【0098】

態様 18 の半導体発光素子では、態様 16 において、基板が p 型であり前記第 1 の多重量子井戸層が前記第 2 の多重量子井戸層の上部に位置する。

【0099】

態様 19 の半導体発光素子では、前記第 1 の多重量子井戸層に歪が導入されており、且つ前記第 1 の多重量子井戸層と前記第 2 の多重量子井戸層の利得ピーク波長が一致する。

【0100】

態様 20 の半導体発光素子では、前記第 1 の多重量子井戸層に圧縮歪が導入されており、且つ前記第 1 の多重量子井戸層の井戸層が前記第 2 の多重量子井戸層の井戸層より厚い。

10

【0101】

態様 21 の半導体発光素子では、前記第 1 の多重量子井戸層に引張歪が導入されており、且つ前記第 1 の多重量子井戸層の井戸層が前記第 2 の多重量子井戸層の井戸層より薄い。

【0102】

態様 22 の半導体発光素子では、前記第 1 の多重量子井戸層に圧縮歪が導入されており、且つ前記第 1 の多重量子井戸層の井戸層の組成波長が前記第 2 の多重量子井戸層の井戸層の組成波長より長波長である。

【0103】

態様 23 の半導体発光素子では、前記第 1 の多重量子井戸層に引張歪が導入されており、且つ前記第 1 の多重量子井戸層の井戸層の組成波長が前記第 2 の多重量子井戸層の井戸層の組成波長より短波長である。

20

【0104】

態様 24 の半導体発光素子では、前記第 1 の多重量子井戸層に圧縮歪が導入されており、且つ前記第 1 の多重量子井戸層の障壁層の障壁高さが前記第 2 の多重量子井戸層の障壁層の障壁高さより低い。

【0105】

態様 25 の半導体発光素子では、前記第 1 の多重量子井戸層に引張歪が導入されており、且つ前記第 1 の多重量子井戸層の障壁層の障壁高さが前記第 2 の多重量子井戸層の障壁高さより高い。

30

【0106】

態様 26 の半導体発光素子では、前記第 1 の多重量子井戸層に圧縮歪が導入されており、且つ前記第 1 の多重量子井戸層の井戸層を構成する材料の自由空間での格子定数が前記第 2 の多重量子井戸層の井戸層を構成する材料の自由空間での格子定数より小さい。

【0107】

態様 27 の半導体発光素子では、前記第 1 の多重量子井戸層に引張歪が導入されており、且つ前記第 1 の多重量子井戸層の井戸層を構成する材料の自由空間での格子定数が前記第 2 の多重量子井戸層の井戸層を構成する材料の自由空間での格子定数より大きい。

【0108】

【発明の効果】

40

本発明の半導体発光素子によれば、屈折率結合係数と利得結合係数とを独立に制御でき、発振しきい値やスロープ効率、反射戻り光耐性などの特性劣化を招くことなくモード安定性を改善することができる。

【0109】

また、活性層全体の微分利得を大きく保ったまま利得結合係数のキャリア密度依存性を小さくすることができ、変調帯域を大きく、且つ変調時の波長変動を小さくすることが可能となる。

【0110】

また、多重量子井戸層に歪みを導入した場合にも、第 1 の多重量子井戸層と第 2 の多重量子井戸層における利得ピーク波長を一致させることができる。その結果、回折格子周期で

50

決まる発振波長に対して利得ピーク位置を適切に設定することができ、発振しきい値の増加や温度特性の劣化を防ぐことが可能となる。

【0111】

このように、本発明によって半導体発光素子の諸特性が改善され、高出力での変調や反射戻り光があっても波長飛びが生じない波長安定性に優れた半導体発光素子の実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施形態による半導体発光素子の主要構成を示す模式図である。

【図2】第1の実施形態の半導体発光素子の製造方法を工程順に示す概略断面図である。

【図3】図2に引き続き、第1の実施形態の半導体発光素子の製造方法を工程順に示す概略断面図である。

10

【図4】第2の実施形態による半導体発光素子の主要構成を示す模式図である。

【図5】第3の実施形態による半導体発光素子におけるMQW構造のバンドギャップを示す特性図である。

【図6】第4の実施形態による半導体発光素子における第1及び第2のMQW層の利得曲線を示す特性図である。

【図7】第5の実施形態による半導体発光素子のMQW構造近傍を拡大して示す概略断面図である。

【図8】第6の実施形態による半導体発光素子の主要構成を示す概略斜視図である。

【図9】第7の実施形態による半導体発光素子におけるMQW構造のバンドギャップを示す特性図である。

20

【図10】第8の実施形態による半導体発光素子におけるMQW構造のバンドギャップを示す特性図である。

【図11】第9の実施形態による半導体発光素子におけるMQW構造のバンドギャップを示す特性図である。

【図12】従来のMQW回折格子構造の半導体発光素子の一例を示す模式図である。

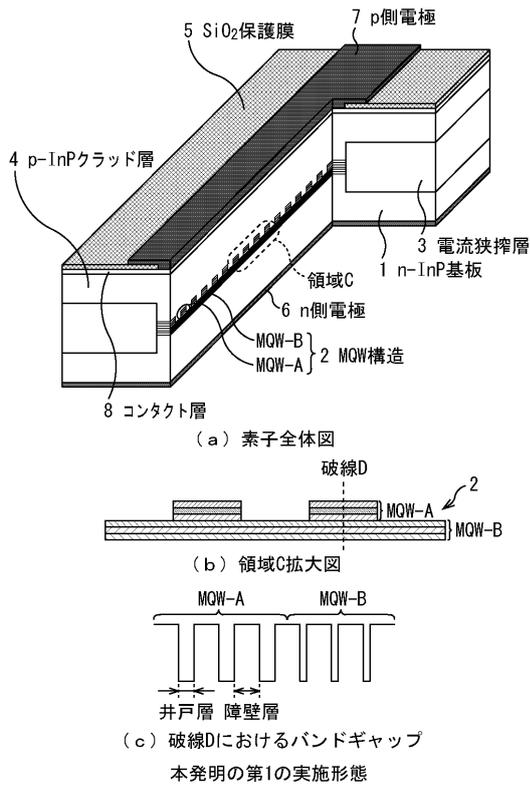
【図13】MQW回折格子における歪の入り方を示す模式図である。

【符号の説明】

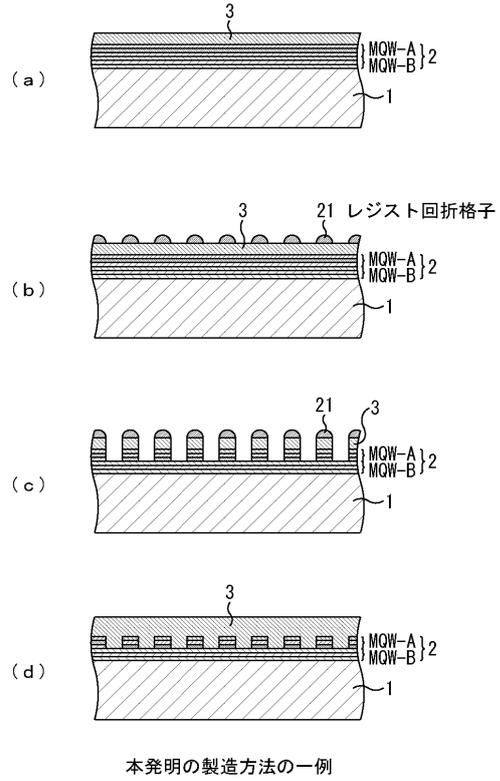
- 1 n - InP基板
- 2 多重量子井戸構造 (MQW構造)
- 3 電流狭窄層
- 4 p - InPクラッド層
- 5 保護膜
- 6 n側電極
- 7 p側電極
- 8 コンタクト層

30

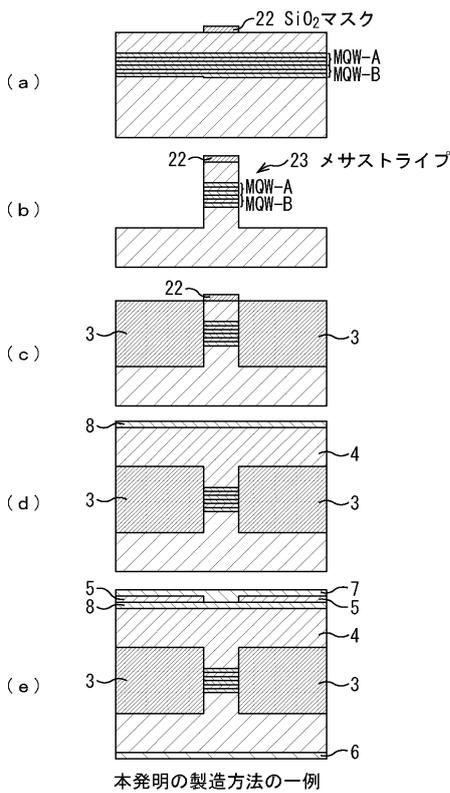
【図1】



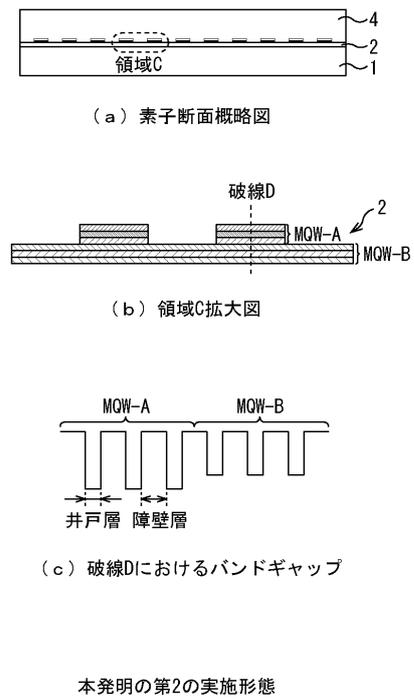
【図2】



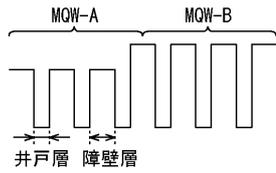
【図3】



【図4】

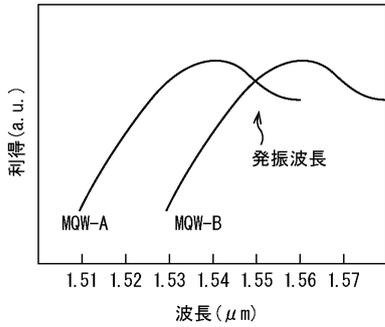


【図5】



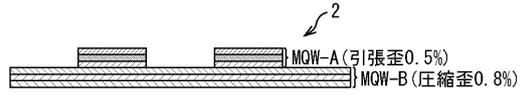
本発明の第3の実施形態(破線Dにおけるバンドギャップ)

【図6】



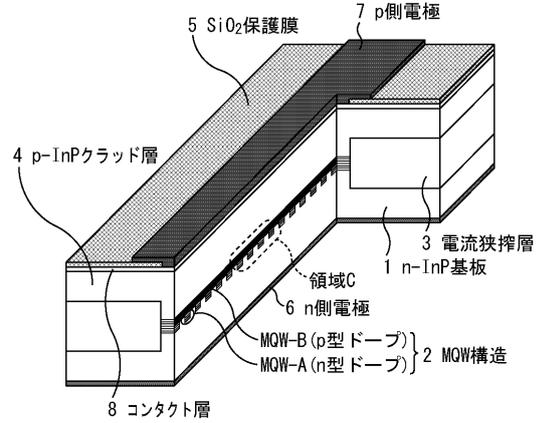
本発明の第4の実施形態(MQW-A, Bの利得曲線)

【図7】



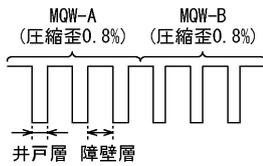
本発明の第5の実施形態(領域C拡大図)

【図8】



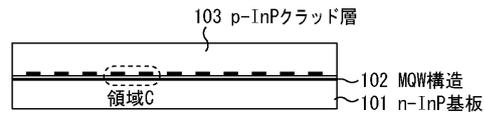
本発明の第6の実施形態

【図9】



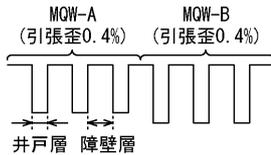
本発明の第7の実施形態(破線Dにおけるバンドギャップ)

【図12】

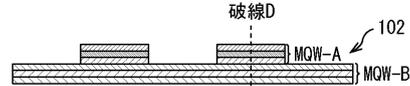


(a) 素子断面概略図

【図10】

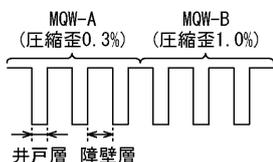


本発明の第8の実施形態(破線Dにおけるバンドギャップ)

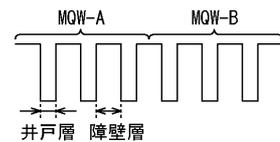


(b) 領域C拡大図

【図11】



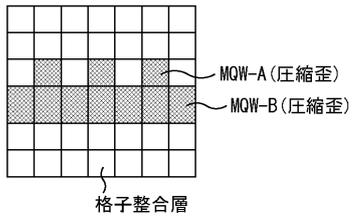
本発明の第9の実施形態(破線Dにおけるバンドギャップ)



(c) 破線Dにおけるバンドギャップ

MQW回折格子構造の一従来例

【図 13】



MQW回折格子における歪の入り方(模式図)

フロントページの続き

(72)発明者 小路 元
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

審査官 小林 和幸

(56)参考文献 特開平11-087838(JP,A)
特開平10-190155(JP,A)
特開昭59-139691(JP,A)
J.Hong et al. , Compact Asymmetric Strongly Gain-Coupled DFB Laser Array with Integrated BFM Array for Simultaneous , Journal of Lightwave Technology , 米国 , IEEE , 1999年 8月 , Vol.17, No.8 , p.1436-1442
J.Hong et al. , Strongly Gain-Coupled(SGC) Coolerless(-40 ~ +85) MQW DFB Lasers , Journal of Selected Topics in Quantum Electronics , 米国 , IEEE , 1999年 5月 , Vol.5, No.3 , p.442-448

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