

(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2010-40605

(P2010-40605A)

(43) 公開日 平成22年2月18日(2010.2.18)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H O 1 S 5/183 (2006.01)	H O 1 S 5/183	5 F 1 7 3
H O 1 S 5/343 (2006.01)	H O 1 S 5/343	

審査請求 未請求 請求項の数 21 O L (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2008-199000 (P2008-199000)	(71) 出願人	000001007
(22) 出願日	平成20年7月31日 (2008.7.31)		キヤノン株式会社
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号
		(74) 代理人	100105289
			弁理士 長尾 達也
		(72) 発明者	竹内 哲也
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
			ヤノン株式会社内
		Fターム(参考)	5F173 AC03 AC13 AC23 AC26 AC35
			AC42 AC61 AD05 AG01 AH06
			AH49 AP32 AR33

(54) 【発明の名称】 面発光レーザおよびその製造方法、面発光レーザアレイ、面発光レーザアレイの製造方法、および面発光レーザアレイを備えている光学機器

(57) 【要約】

【課題】高精度な層厚制御を行うことができ、再現性かつ均一性良くシングルモード動作することが可能となる凹型の表面レリーフ構造を備えた面発光レーザおよびその製造方法を提供する。

【解決手段】基板上に、下部反射ミラー、活性層、上部反射ミラーが積層されており、

前記上部反射ミラーの光出射部に、反射率の低い領域と該反射率の低い領域の中央部に形成された凹形状の反射率の高い領域とからなる反射率を制御するための構造を備え、波長 λ で発振する面発光レーザであって、

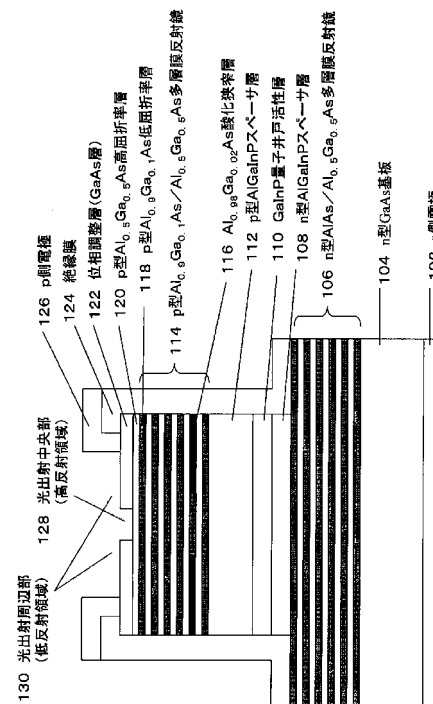
前記上部反射ミラーが複数の層を積層した積層構造体による多層膜反射鏡で構成され、

前記多層膜反射鏡は、該多層膜反射鏡上の光出射周辺部に、 $\lambda/8$ 以上 $3\lambda/8$ 以下の光学的厚さを持つ位相調整層を備え、

前記位相調整層内に波長 λ に対して吸収係数が 5000 cm^{-1} 以上の吸収層が設けられている構成とする。

【選択図】

図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板上に、下部反射ミラー、活性層、上部反射ミラーが積層されており、

前記上部反射ミラーの光出射部に、反射率の低い領域と該反射率の低い領域の中央部に形成された凹形状の反射率の高い領域とからなる反射率を制御するための構造を備え、波長 λ で発振する面発光レーザであって、

前記上部反射ミラーが複数の層を積層した積層構造体による多層膜反射鏡で構成され、

前記多層膜反射鏡は、該多層膜反射鏡上の光出射周辺部に、 $\lambda/8$ 以上 $3\lambda/8$ 以下の光学的厚さを持つ位相調整層を備え、

前記位相調整層内に波長 λ に対して吸収係数が 5000 cm^{-1} 以上の吸収層が設けられていることを特徴とする面発光レーザ。

10

【請求項 2】

前記吸収層は、前記位相調整層の厚さ方向の真ん中に位置する層あるいは該真ん中に位置する層より表面側に配置されていることを特徴とする請求項 1 に記載の面発光レーザ。

【請求項 3】

前記吸収層は、厚さが 10 nm 以上であることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の面発光レーザ。

【請求項 4】

基板上に、下部反射ミラー、活性層、上部反射ミラーが積層されてなり、

前記上部反射ミラーの光出射部に、反射率の低い領域と該反射率の低い領域の中央部に形成された凹形状の反射率の高い領域とからなる反射率を制御するための構造を備え、波長 λ で発振する面発光レーザであって、

20

前記上部反射ミラーが複数の層を積層した積層構造体による多層膜反射鏡で構成され、

前記多層膜反射鏡は、該多層膜反射鏡上の光出射周辺部に、 $\lambda/8$ 以上 $3\lambda/8$ 以下の光学的厚さを持つ位相調整層を備え、

前記多層膜反射鏡を構成する前記積層構造体において真ん中に積層されている層よりも表面側に、前記波長 λ に対して吸収係数が 5000 cm^{-1} 以上の吸収層が設けられていることを特徴とする面発光レーザ。

【請求項 5】

前記吸収層が、前記積層構造体の表面側から 5 ペア以内に設けられていることを特徴とする請求項 4 に記載の面発光レーザ。

30

【請求項 6】

前記吸収層は、前記多層膜反射鏡の表面側からみて、前記多層膜反射鏡における高屈折率層から低屈折率層へ移る界面に、該吸収層の一部が含まれるように配置されていることを特徴とする請求項 4 または請求項 5 に記載の面発光レーザ。

【請求項 7】

前記吸収層は、厚さが 2 nm 以上 30 nm 以下であることを特徴とする請求項 4 から 6 のいずれか 1 項に記載の面発光レーザ。

【請求項 8】

前記位相調整層は、前記多層膜反射鏡に対して選択エッチングすることによって構成されていることを特徴とする請求項 4 から 7 のいずれか 1 項に記載の面発光レーザ。

40

【請求項 9】

前記位相調整層の表面は、少なくとも Al を含まない半導体層で形成されていることを特徴とする請求項 4 から 8 のいずれか 1 項に記載の面発光レーザ。

【請求項 10】

請求項 1 から 9 のいずれか 1 項に記載の面発光レーザを複数個配置して構成されていることを特徴とする面発光レーザアレイ。

【請求項 11】

請求項 10 に記載の面発光レーザアレイを光源として備えていることを特徴とする光学機器。

50

【請求項 1 2】

基板上に、下部反射ミラー、活性層、上部反射ミラーが順次積層され、

前記上部反射ミラーの光出射部に、反射率の低い領域と該反射率の低い領域の中央部に凹形状の反射率の高い領域からなる反射率を制御するための構造を形成し、波長 λ で発振する面発光レーザを製造する面発光レーザの製造方法であって、

前記上部反射ミラーとして、複数の層を積層した積層構造体による多層膜反射鏡を形成した後に、吸収係数が 5000 cm^{-1} 以上の吸収層を含めて、反射率を下げるための位相調整層を、前記多層膜反射鏡上に形成する工程と、

前記位相調整層を形成する工程の後に、前記位相調整層の表面に光を照射することによって反射スペクトルを測定する工程と、

前記反射スペクトルを測定する工程において得られたブロードなディップ波長を測定する工程と、

前記ディップ波長に基づいて、前記位相調整層の厚さを調整する工程と、

を有することを特徴とする面発光レーザの製造方法。

10

【請求項 1 3】

前記吸収層を形成するに際し、該吸収層を前記位相調整層の厚さ方向の真ん中に位置する層あるいは該真ん中に位置する層より表面側に形成する工程を有することを特徴とする請求項 1 2 に記載の面発光レーザの製造方法。

【請求項 1 4】

前記吸収層を形成するに際し、該吸収層の厚さが 10 nm 以上になるように形成する工程を有することを特徴とする請求項 1 2 または請求項 1 3 に記載の面発光レーザの製造方法。

20

【請求項 1 5】

基板上に、下部反射ミラー、活性層、上部反射ミラーが順次積層され、

前記上部反射ミラーの光出射部に、反射率の低い領域と該反射率の低い領域の中央部に凹形状の反射率の高い領域からなる反射率を制御するための構造を形成し、波長 λ で発振する面発光レーザを製造する面発光レーザの製造方法であって、

前記上部反射ミラーとして、複数の層を積層した積層構造体による多層膜反射鏡を形成する際に、

前記積層構造体において真ん中に積層されている層よりも表面側に、前記波長 λ に対して吸収係数が 5000 cm^{-1} 以上の吸収層を、前記積層構造体中に形成する工程と、

30

前記吸収層を形成した後に、前記積層構造体に光を照射することによって反射スペクトルを測定する工程と、

前記反射スペクトルを測定する工程において得られたブロードなディップ波長を測定する工程と、

前記上部反射ミラーである多層膜反射鏡を形成した後に、該多層膜反射鏡上に反射率を下げるための位相調整層を形成する工程と、

前記ディップ波長に基づいて、前記位相調整層の厚さを調整する工程と、

を有することを特徴とする面発光レーザの製造方法。

40

【請求項 1 6】

前記吸収層を形成するに際し、該吸収層を前記積層構造体の表面側から 5 ペア以内に形成する工程を有することを特徴とする請求項 1 5 に記載の面発光レーザの製造方法。

【請求項 1 7】

前記吸収層を形成するに際し、前記多層膜反射鏡の表面側からみて、前記多層膜反射鏡における高屈折率層から低屈折率層へ移る界面に、

前記吸収層の一部が含まれるように形成する工程を有することを特徴とする請求項 1 5 または請求項 1 6 に記載の面発光レーザの製造方法。

【請求項 1 8】

前記吸収層を形成するに際し、該吸収層の厚さが 2 nm 以上 30 nm 以下になるように形成する工程を有することを特徴とする請求項 1 5 から 1 7 のいずれか 1 項に記載の面発

50

光レーザの製造方法。

【請求項 19】

前記上部反射ミラーの光出射部における前記凹形状を形成するに際し、前記位相調整層を前記多層膜反射鏡に対して選択エッチングすることによって形成する工程を有することを特徴とする請求項 15 から 18 のいずれか 1 項に記載の面発光レーザの製造方法。

【請求項 20】

前記位相調整層を形成するに際し、前記位相調整層の表面に少なくとも Al を含まない半導体層を形成する工程を有することを特徴とする請求項 15 から 19 のいずれか 1 項に記載の面発光レーザの製造方法。

【請求項 21】

請求項 12 から 20 のいずれか 1 項に記載の面発光レーザの製造方法による面発光レーザを複数個配置して製造することを特徴とする面発光レーザアレイの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、面発光レーザおよびその製造方法、面発光レーザアレイ、面発光レーザアレイの製造方法、および面発光レーザアレイを備えている光学機器に関する。

【背景技術】

【0002】

面発光レーザの一つとして、垂直共振器型面発光レーザ (Vertical Cavity Surface Emitting Laser、以下これを VCSEL と記す。) が知られている。

この面発光レーザによれば、半導体基板表面に対して垂直方向に光を取り出すことができるため、二次元アレイの形成が素子形成時のマスクパターンの変更のみで容易に可能になる。

この二次元アレイから出射される複数のビームを用いた並列処理により、高密度化および高速化が可能になり、様々な産業上の応用が期待される。

例えば、電子写真プリンタの露光光源として面発光レーザアレイを用いると、複数のビームによる印字工程の高密度・高速化が可能となる。

このような電子写真における印刷工程では、感光ドラム上に安定かつ微小なレーザスポットの形成が必要なため、レーザ特性として、単一横モードや単一縦モードでの安定動作も要求される。

【0003】

近年、電流狭窄構造を形成し、必要な領域のみに電流を注入する方法が開発されている。

この方法では、面発光レーザの高性能化のために Al 組成の高い、例えば Al 組成 98 % の AlGaAs 層を多層膜反射鏡内に設け、それを高温水蒸気雰囲気中で選択酸化することで、電流狭窄構造を形成し、必要な領域のみに電流を注入するようにされる。

ところで、以上のような選択酸化によることは、単一横モードという観点からは、望ましくないものである。

すなわち、酸化層の存在により必要以上に大きな屈折率差が生じることにより、高次横モードを発生させてしまうこととなる。

そこで、その対策として、上記電流狭窄構造により発光領域を 3 μm 径程度まで小さくすることで、高次横モードが閉じ込められないようにし、単一横モード発振を達成する等の方法が用いられる。

しかしながら、このような発光領域を制限する方法では、発光領域が小さくなるために素子一個当たりの出力が大幅に低下する。

【0004】

このようなことから、従来において、上記したように発光領域を小さくして電流狭窄構造だけで単一横モード化を図る場合よりも、ある程度広い発光領域を保ちながら、単一横

10

20

30

40

50

モード発振を可能にする方法が検討されている。

すなわち、基本横モードと高次横モード間に損失差を意図的に導入することで、ある程度広い発光領域を保ちながらも、単一横モード発振を可能にする方法が検討されている。

【0005】

その方法の一つとして、特許文献1、非特許文献1、非特許文献2では、いわゆる表面レリーフという方法が開示されている。

これは、面発光レーザ素子の光出射面である素子表面に段差加工を施すことで、高次横モードへの損失を基本横モードの損失よりも増大させる方法である。

なお、本明細書では、上記したように反射鏡の光出射面の光出射領域に、反射率を制御のために施された段差構造を、以下において表面レリーフ構造と称することとする。

V C S E L用のミラーとしては、一般に、屈折率の異なる二つの層を各々レーザ発振波長の $1/4$ （以後、断りがなければこれを $1/4$ 波長と略記することもある）の光学的厚さで、交互に複数ペア積層する多層膜反射鏡が用いられている。

通常、この多層膜反射鏡は、高屈折率層で終端し、低屈折率である空気との最終界面の反射も利用して99%以上の高反射率を得ている。

【0006】

ここで、まず図2(a)に示される凹型の表面レリーフ構造について説明する。

このような凹型の表面レリーフ構造については、特許文献1にも開示されている。

図2(a)に示される低反射領域204では、高屈折率層206の最終層にさらに低屈折率層208（あるいは高屈折率層であっても良い）を付け加える。

これにより、多層膜反射鏡は $1/4$ 波長の光学的厚さだけ厚くして終端している凹型の表面レリーフ構造が得られる。

このような凹型の表面レリーフ構造によれば、多層膜反射鏡の最終層、ここでは低屈折率層208と、屈折率のより低い空気との界面での反射による光の位相は、その下に存在する多層膜反射鏡の全反射光の位相と π ずれることになる。

このため、低反射率領域204では、反射率が99%以下にまで下がり、その反射損失を5~15倍程度まで大きくすることができる。

この原理を用いて基本横モードと高次横モード間に損失差を導入するために、低反射領域204と高次横モード光分布212とのオーバーラップが大きくなるように、低反射領域204を光出射周辺部にのみ形成する。

一方、基本横モード光分布210は高屈折率層206が最終層になる高反射領域202とのオーバーラップが大きくなるように、高反射領域202を光出射中央部に残す。

これにより、高次横モードへの反射損を大きくして、高次横モードでの発振を抑え、基本横モードのみの発振が得られる。この場合、図2(a)が示すように、レリーフの形状としては凹型になる。

【0007】

また、図2(b)に示される低反射領域204のように、高屈折率層206の最終層を取り除くことにより低屈折率層208で終端させて、凸型の表面レリーフ構造を構成することも可能である。

このような凸型の表面レリーフ構造は、非特許文献1にも開示されているが、この構成によっても、凹型と同じ原理で反射率を低下させることができ、基本横モード発振が可能となる。

【特許文献1】特開2001-284722号公報

【非特許文献1】H. J. Unold et al., Electronics Letters, Vol. 37, No. 9 (2001) 570

【非特許文献2】J. A. Vukusic et al., IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS, Vol. 37, No. 1, (2001) 108

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 8 】

上記した従来例の特許文献 1、非特許文献 1、2 における表面レリーフ構造によれば、電流狭窄構造だけで単一横モード化を図る場合よりも、ある程度広い発光領域を保ちながら、単一横モード発振が可能となる。

しかしながら、表面レリーフ構造は、それを構成する層厚によって反射率が敏感に左右され、単一横モード化が大きく影響されることから、その作製に際して層厚制御がきわめて重要となる。

すなわち、表面レリーフ構造は、その作製に際して除去あるいは付加される層の厚さに、反射率（反射損失）が極めて敏感であるという特徴を有している。

【 0 0 0 9 】

10

つぎに、以上のような表面レリーフ構造の特徴について更に説明する。

図 3 は、非特許文献 2 に記載された図であって、横軸に表面レリーフにより除去される層厚、縦軸（左側）に導入される損失をプロットしたものである。

図 3 より、除去される層厚に対して、損失が周期的なピークを持つ様子が見て取れる。

しかも、そのピークは急峻で、所望の損失値を導入しようとする、除去する層厚を極めて高い精度（ $\pm 5 \text{ nm}$ 以下）で制御する必要がある。

一方、損失の大きさは、シングルモード化の程度、さらにはその素子の出力特性に大きく影響する。

【 0 0 1 0 】

20

したがって、表面レリーフ構造の作製において、再現性および均一性が良好で特性の揃ったシングルモード動作の可能な素子の作製には、高い精度で層厚制御をすることが必要となる。

言い換えれば、表面レリーフ構造を作製するためには、除去あるいは付加される層厚を高い精度で簡便に把握でき、それに応じて層厚を調整することができれば、素子の作製における再現性および均一性は大幅に向上すると言える。

【 0 0 1 1 】

本発明は、高精度な層厚制御を行うことができ、再現性かつ均一性良くシングルモード動作することが可能となる凹型の表面レリーフ構造を備えた面発光レーザおよびその製造方法を提供することを目的とするものである。

また、本発明は、上記面発光レーザによる面発光レーザアレイ、上記面発光レーザの製造方法による面発光レーザで構成される面発光レーザアレイの製造方法、および面発光レーザアレイを備えている光学機器を提供することを目的とする。

30

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 2 】

本発明は、つぎのように構成した面発光レーザおよびその製造方法、面発光レーザアレイ、面発光レーザアレイの製造方法、および面発光レーザアレイを備えている光学機器を提供するものである。

本発明の面発光レーザは、基板上に、下部反射ミラー、活性層、上部反射ミラーが積層されており、

前記上部反射ミラーの光出射部に、反射率の低い領域と該反射率の低い領域の中央部に形成された凹形状の反射率の高い領域とからなる反射率を制御するための構造を備え、波長 λ で発振する面発光レーザであって、

40

前記上部反射ミラーが複数の層を積層した積層構造体による多層膜反射鏡で構成され、

前記多層膜反射鏡は、該多層膜反射鏡上の光出射周辺部に、 $\lambda / 8$ 以上 $3 \lambda / 8$ 以下の光学的厚さを持つ位相調整層を備え、

前記位相調整層内に波長 λ に対して吸収係数が 5000 cm^{-1} 以上の吸収層が設けられていることを特徴とする。

また、本発明の面発光レーザは、基板上に、下部反射ミラー、活性層、上部反射ミラーが積層されてなり、

前記上部反射ミラーの光出射部に、反射率の低い領域と該反射率の低い領域の中央部に

50

形成された凹形状の反射率の高い領域とからなる反射率を制御するための構造を備え、波長 λ で発振する面発光レーザであって、

前記上部反射ミラーが複数の層を積層した積層構造体による多層膜反射鏡で構成され、

前記多層膜反射鏡は、該多層膜反射鏡上の光出射周辺部に、 $\lambda/8$ 以上 $3\lambda/8$ 以下の光学的厚さを持つ位相調整層を備え、

前記多層膜反射鏡を構成する前記積層構造体において真ん中に積層されている層よりも表面側に、前記波長 λ に対して吸収係数が 5000 cm^{-1} 以上の吸収層が設けられていることを特徴とする。

また、本発明の面発光レーザアレイは、上記したいずれかに記載の面発光レーザを複数個配置して構成されていることを特徴とする。

また、本発明の光学機器は、上記した面発光レーザアレイを光源として備えていることを特徴とする。

また、本発明の面発光レーザの製造方法は、基板上に、下部反射ミラー、活性層、上部反射ミラーが順次積層され、

前記上部反射ミラーの光出射部に、反射率の低い領域と該反射率の低い領域の中央部に凹形状の反射率の高い領域とからなる反射率を制御するための構造を形成し、波長 λ で発振する面発光レーザを製造する面発光レーザの製造方法であって、

前記上部反射ミラーとして、複数の層を積層した積層構造体による多層膜反射鏡を形成した後に、吸収係数が 5000 cm^{-1} 以上の吸収層を含めて、反射率を下げるための位相調整層を、前記多層膜反射鏡上に形成する工程と、

前記位相調整層を形成する工程の後に、前記位相調整層の表面に光を照射することによって反射スペクトルを測定する工程と、

前記反射スペクトルを測定する工程において得られたブロードなディップ波長を測定する工程と、

前記ディップ波長に基づいて、前記位相調整層の厚さを調整する工程と、

を有することを特徴とする。

また、本発明の面発光レーザの製造方法は、基板上に、下部反射ミラー、活性層、上部反射ミラーが順次積層され、

前記上部反射ミラーの光出射部に、反射率の低い領域と該反射率の低い領域の中央部に凹形状の反射率の高い領域とからなる反射率を制御するための構造を形成し、波長 λ で発振する面発光レーザを製造する面発光レーザの製造方法であって、

前記上部反射ミラーとして、複数の層を積層した積層構造体による多層膜反射鏡を形成する際に、

前記積層構造体において真ん中に積層されている層よりも表面側に、前記波長 λ に対して吸収係数が 5000 cm^{-1} 以上の吸収層を、前記積層構造体中に形成する工程と、

前記吸収層を形成した後に、前記積層構造体に光を照射することによって反射スペクトルを測定する工程と、

前記反射スペクトルを測定する工程において得られたブロードなディップ波長を測定する工程と、

前記上部反射ミラーである多層膜反射鏡を形成した後に、該多層膜反射鏡上に反射率を下げるための位相調整層を形成する工程と、

前記ディップ波長に基づいて、前記位相調整層の厚さを調整する工程と、

を有することを特徴とする。

また、本発明の面発光レーザアレイの製造方法は、上記したいずれかに記載の面発光レーザの製造方法による面発光レーザを複数個配置して製造する面発光レーザアレイの製造方法を構成することができる。

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、高精度な層厚制御を行うことができ、再現性かつ均一性良くシングルモード動作することが可能となる凹型の表面レリーフ構造を備えた面発光レーザおよびそ

10

20

30

40

50

の製造方法を実現することができる。

また、本発明によれば、上記面発光レーザによる面発光レーザアレイ、上記面発光レーザの製造方法による面発光レーザで構成される面発光レーザアレイの製造方法、および面発光レーザアレイを備えている光学機器を実現することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0014】

本発明の上記構成によれば、高精度な凹型の表面レリーフ構造の作製が可能になり、再現性および均一性の優れたシングルモード動作する面発光レーザおよびその製造方法を提供することができる。

それは、本発明者らの鋭意検討した結果による、次の知見に基づくものである。

本発明者らは、素子形成前の面発光レーザ層構造をもつウエハの反射スペクトルを測定した。

これにより、図5の実線506、508、510に見られるようなブロードなディップ（窪み）514が生じることが明らかとなった。

そして、このようなディップによる波長（以下、これをディップ波長と記す）を把握することで、導入される損失量を定量的に見積もる方法を見出した。

このディップ波長はレリーフ構造における低反射領域を形成する層厚の情報を反映しており、その波長から導入される損失量を前もって見積もることができる。

言い換えれば、所望の損失量に対応するディップ波長になるように低反射領域を形成する表面層、すなわち位相調整層の層厚を調整すればよいと言える。

【0015】

つぎに、その原理について説明する。

図5は吸収層における吸収係数の違いによるディップ形状の違いを説明するための図であるが、図5の低反射領域におけるディップ波長514が反射スペクトル測定から把握可能になるには、ウエハ層構造が以下の条件を満たすことが必要である。

第一の条件として、低反射領域を形成するために、高屈折率層で終端された多層膜反射鏡上にさらに1/8以上3/8以下の光学的厚さをもつ位相調整層を設ける。

また、第二の条件として、位相調整層や多層膜反射鏡内に、発振波長においてバンド間吸収程度（ 5000 cm^{-1} 以上）の大きな吸収を起こす層を設ける。

【0016】

ここで、第一の条件となるレリーフ構造の低反射領域は、例えば、図2(a)の低反射領域204に相当する。

第一の条件で付加する層は最表面に存在し、さらにその上部に存在する空気あるいは誘電体膜などの屈折率がさらに低い層との界面反射光が逆位相で反射するように位相、すなわち層厚を調整し、全体として反射率を低下させる。

本明細書において、この最終層を位相調整層と呼ぶことにする。

【0017】

図4に、上記条件を満たすウエハ層構造による赤色面発光レーザの場合の例を示す。図5は上記ウエハ層構造の反射スペクトルの例を示すものである。

反射スペクトルはレーザ発振波長を中心に短波長側から長波長側をカバーするように測定する。

図4に示すように、 $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ 高屈折率層416上に1/4波長の光学的厚さをもつように GaAs 位相調整層418が存在し、また、この GaAs 層は発振波長680nmの光に対しバンド間吸収する。

ゆえに、上記第一と第二の二つの条件を満たしていることになる。

【0018】

この場合、反射スペクトルにおいて、多層膜反射鏡412、404による高反射帯域と面発光レーザ共振器による鋭い共振波長512が見えるだけでなく、

低反射領域におけるブロードなディップ波長514も、図5の実線506（吸収係数 5000 cm^{-1} 以上の場合）が示すように観察される。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 9 】

つぎに、低反射領域、すなわち位相調整層に起因するディップ波長 5 1 4 の発生理由について説明する。

本実施形態における構造では、1 / 4 波長の光学的厚さをもつ層を位相調整層 (G a A s 層 4 1 8) として通常の高屈折率層 4 1 2 上に設けている。

したがって、この層と直下の高屈折率層 (A l _{0.5} G a _{0.5} A s 高屈折率層 4 1 6) をあわせた 1 / 2 波長の光学的厚さが形成する構造から見ると、

上部には空気と G a A s 層との界面による反射鏡が、下部には面発光レーザ上部多層膜反射鏡 4 1 2 による反射鏡がそれぞれ存在することになる。

すなわち、面発光レーザ共振器以外に、新たに共振器が低反射領域の最表面に形成されたことになり、その新規共振器の共振波長が位相調整層に起因するディップ波長 5 1 4 として観測される。

しかし、このままでは、上部反射鏡としての空気と G a A s 層との界面と、下部反射鏡としての上部多層膜反射鏡との反射率が大きく異なることから、明瞭に共振波長を観測することは困難である。

そこで、第二の条件である吸収を導入することにより、共振波長における反射率が大きく落ち込ませることができる。このブロードなディップを形成することによりディップの共振波長の値が現実的に特定可能となる。

【 0 0 2 0 】

図 5 には、吸収が存在しない場合 (5 0 2) と、少ない (1000 cm^{-1}) 場合 (5 0 4) における二種類の反射スペクトルが示されている。

吸収がない、あるいは少ない場合には、ディップの落ち込みはほとんど認識できず、明瞭にその波長を特定することができない。

また、半導体の吸収として自由キャリア吸収などがあるが、 $1 \times 10^{20}\text{ cm}^{-3}$ 程度の極めて高いドーピングを用いても、その吸収係数としては 1000 cm^{-1} 程度にすることしかできず、十分なディップが形成できず、本目的には不十分となる。

一方、バンド間吸収は一般的に 5000 cm^{-1} 以上あり、図 5 の 5 0 6、5 0 8、5 1 0 で見られるように十分なディップが得られ、波長を確定することができる。

【 0 0 2 1 】

ところで、この吸収層は、位相調整層に起因するディップ波長 5 1 4 の特定には不可欠である一方、面発光レーザとしては不必要な吸収になり、レーザ素子特性の低下に繋がる可能性がある。

したがって、この吸収層の構造、配置にはいくつかの望ましい形態が存在する。

まず、この吸収層は、上部多層膜反射鏡において結晶成長に用いた基板と反対側の表面側半分以内に設置する。好ましくは、上部多層膜反射鏡の表面側 5 ペア以内である。

これは、基本横モードで単一横モード発振する面発光レーザとして機能する場合は、面内方向の光分布は位相調整層が存在しない高反射領域に集中し、その深さ方向の光分布は図 6 の 6 0 6 が示すように表面に近くなるほど光分布が小さくなる。

一方、位相調整層の存在する低反射領域の反射スペクトルを測定している場合には、光分布は 6 0 8 のように最表面に近づくに従って大きくなる。

しかしながら、低反射領域であっても多層膜反射鏡内で活性層 (基板) に近い側では、図 6 に示すように光分布は次第に大きくなっていく。

したがって、多層膜反射鏡で表面に近い側に配置することで、反射スペクトル測定時には必要な吸収が増えて明瞭な共振波長 5 1 4 の特定が可能になり、面発光レーザ動作時には不必要な吸収を減らして、素子特性の劣化を抑えることができる。

【 0 0 2 2 】

さらには、図 6 に示すように、上部多層膜反射鏡内において、表面からみて、高屈折率層から低屈折率層へ移る界面 6 1 0 近傍に配置するのが好ましい。

図 6 に示すように、多層膜反射鏡の表面側において、低反射領域では、この界面付近は光分布 6 0 8 が示すように腹になり吸収が増え、反射スペクトル測定においてディップ波長

10

20

30

40

50

5 1 4 がより明瞭に測定できることになる。

一方、高反射領域では、この界面付近の光分布 6 0 6 は節になり吸収を極力抑えることができ、素子特性への影響を最小限にすることが可能となる。

【0023】

また、図 1 4 に示すように、明瞭なディップ波長が観測されるためにはその層厚として少なくとも 2 nm 以上必要であることがわかる。

一方で厚くしすぎると素子駆動時に不必要な吸収が増えるため、多層膜反射鏡の構成層の半分（約 30 nm）より薄くするのが好ましい。

【0024】

あるいは、その吸収層は位相調整層内に配置するのも好ましい。それは、所望の基本横モードにおいて面内方向の光分布が集中する高反射領域では、この位相調整層は凹型にエッチングされて取り除かれるため、素子動作時には光が吸収されにくいからである。

この場合の吸収層の層厚としては、除去されてしまうことから比較的厚くてもよく、また電極のためのコンタクト層としても使用することを考慮すると、10 nm 以上あるのが好ましい。より好ましくは 20 nm 以上である。

【0025】

続いて、このディップ波長と導入される反射損失の関係を明らかにするために、位相調整層や多層膜反射鏡を構成する層の厚さばらつきを想定し、そのときのディップ波長と損失を検討した。

具体的には、図 6 が示すような位相調整層（604、第一層）のみならず、その下の全て多層膜反射鏡の構成層（612、614、616）がばらついた場合を想定して検討した。

すなわち、その下の第二（612）、第三（614）、第四の層（616）が、別々に -20 ~ +20 nm まで層厚が目標値（通常は 1/4 波長の光学的厚さ）からばらついた場合を、結晶成長などで起こり得るばらつきと想定した。

そして、この場合にディップ波長や反射損がどのように変化するかを検討した。

図 6 の各層は、具体的に図 4 に対応させると、第一層は GaAs 位相調整層 418 であって 1/4 波長の光学的厚さを持つ層に相当する。

また、第二層は $Al_{0.5}Ga_{0.5}As$ 高屈折率層 416 に、第三層は $Al_{0.9}Ga_{0.1}As$ 低屈折率層 414 に相当する。

また、第四層はさらにその下の 1/4 波長の光学的厚さの層（ $Al_{0.5}Ga_{0.5}As$ 高屈折率層）に相当する。

【0026】

図 7 に、各層厚がばらついた場合の導入される損失の変化を示す。

ここで損失として高反射領域 202 における損失値で規格化した値（規格化損失）を用いた。

この図より、第一層である位相調整層だけでなく、その下に存在する第二、第三、あるいは第四の層がばらついても、ばらついた量に応じて導入される損失がほぼ同じように変化することがわかった。

言い換えると、位相調整層の厚さだけを高い精度で制御しても、導入される損失を制御するには不十分であることを意味している。

この検討により、その下に存在する多層膜反射鏡の構成層も含めた全体的な層厚制御が必要であることが明らかになった。

【0027】

続いて、上記のように各四層が別々にばらついた場合に、今度は位相調整層に起因する低反射領域におけるディップ波長のずれと導入される損失がどのような関係になるかを検討した。

ここで言うディップ波長のずれとは、位相調整層が 1/4 波長の光学的厚さをもつ場合のディップ波長を基準とし、その波長からのずれを意味する。

その様子を図 8 に示す。

10

20

30

40

50

横軸はディップ波長のずれであり、縦軸は図 7 と同様に規格化損失である。

結果として、第一層である位相調整層だけでなく、その下に存在する第二、第三、あるいは第四の層がばらついたとしても、ばらついた量に相当する分だけディップ波長がずれ、それに応じて損失がほとんど同じように低下することがみてとれる。

言い換えると、ディップ波長のずれさえ正確に把握していれば、どの層がどれだけばらついているかを細かく把握する必要なく、導入される損失を定量的に見積もることが可能であることがわかった。

さらに推し進めて、所望の損失が得られるように、ディップ波長がその損失に対応した値になるように、例えば位相調整層厚を調整することで必要な損失が得られることも、この図から理解できる。

【0028】

ここでは、赤色面発光レーザを例にとって説明したため、吸収層としては GaAs 層を例に挙げたが、発振波長で十分な吸収を示す層であれば、どのようなものでもよい。

例えば、680 nm である赤色面発光レーザに対しては、AlGaAs、AlGaAsP、InGaAsP、InGaAs などが挙げられる。850 ~ 980 nm 帯の面発光レーザでは、InGaAs が挙げられる。

また、より短波長側の ZnSe 系面発光レーザでは、MgZnCdSSeTe、ZnCdSe などが、GaN 系面発光レーザにおいては、AlGaNIPAs、InGaN などが挙げられる。

【0029】

つぎに、この原理を用いた具体的な表面リーフ構造の作製手順について説明する。

まず、所望の素子特性を得るために低反射領域における必要な損失値を決定する。

その損失に相当する層厚と、その場合の低反射領域におけるディップ波長を算出する。

例えば、図 8 で規格化損失として 5 が必要であれば、ディップ波長の目標値として $1/4$ 波長の光学的厚さで層厚を形成した場合の低反射領域におけるディップ波長からのずれは 0 nm になる。

一方、規格化損失として 4 が必要であれば、波長ずれの目標値は $1/4$ 波長の光学的厚さで形成した場合の低反射領域におけるディップ波長からの波長ずれは - 4 nm、あるいは + 5 nm となる。

最終層である位相調整層まで結晶成長し終えた時点で反射スペクトルを測定し、そのディップ波長のずれが上述したような所望の値になっているかどうか確認する。

足りなければ、再度成長を行い、多すぎればエッチングを行うなどして調整する。

このように再度結晶成長を反射スペクトル測定後に行う可能性があるため、このウエハの最表面は Al を含まない層で終端するのが好ましい。

【0030】

あるいは、成長中に反射スペクトルをその場観察することで、所望のディップ波長が得られた時点で成長を終了してもよい。

この場合には結晶成長装置から搬出する必要がないため、必ずしも Al を含む層で終端する必要がない。

【0031】

つぎに、上記導入される損失量を制御したウエハにおけるレリーフ構造の形成を説明する。

ドライあるいはウェットエッチングにより、現在最表面にある位相調整層を取り除いて図 2 (a) にあるような凹型レリーフを形成する。

図 3 にあるように、高反射率 (低損失領域) が得られる許容層厚は逆に広い (+ / - 15 nm) ため、上記エッチングに求められる制御性は緩い。

一方で、より再現性、均一性を高めるためにエッチングストップ層による選択エッチングを利用しても良い。

ここでは、具体的には最終層である GaAs 層だけをその下に存在する高屈折率 Al_{0.5}Ga_{0.5}As 層に対してエッチングすればよく、例えばクエン酸系のエッチャントを

10

20

30

40

50

利用することで時間に左右されずに、エッチング深さを制御することができる。

上記手順を踏むことで、高精度なレリーフ形成が可能になり、再現性および均一性の優れた素子形成が可能となる。

【0032】

上記本実施の形態の製造方法によれば、凹型の表面レリーフ構造を精度よく作製することが可能となるが、その表面レリーフ構造の作製に用いられる材料はA l G a A s系半導体材料に限定されるものではない。

例えば、その他のI I I - V族あるいはI I - V I族化合物半導体などの様々な半導体材料に適用できる。

さらに、本実施の形態の上記構造は、誘電体材料や金属材料などその他の材料を用いたレリーフ構造にも適用可能である。

また、以上では面発光レーザを例にとって説明しているが、本発明の原理は面発光レーザ構造に限定されることなく、一般的な多層膜反射鏡を用いた発光および受光素子に適用可能である。

【0033】

以上のことから、本発明の実施形態においては、面発光レーザをより具体的につぎのように構成することができる。

本実施形態においては、基板上に、下部反射ミラー、活性層、上部反射ミラーが積層されており、

前記上部反射ミラーの光出射部に、反射率の低い領域と該反射率の低い領域の中央部に形成された凹形状の反射率の高い領域とからなる反射率を制御するための構造を備え、波長 λ で発振する面発光レーザをつぎのように構成することができる。

前記上部反射ミラーを、複数の層を積層した積層構造体による多層膜反射鏡で構成する。そして、前記多層膜反射鏡は、該多層膜反射鏡上の光出射周辺部に、 $\lambda / 8$ 以上 $3 \lambda / 8$ 以下の光学的厚さを持つ位相調整層を備えた構成とする。

その際、前記位相調整層内に波長 λ に対して吸収係数が 5000 cm^{-1} 以上の吸収層が設けられるように構成することができる。

また、前記吸収層は、前記位相調整層の厚さ方向の真ん中に位置する層あるいは該真ん中に位置する層より表面側に配置されるように構成する。

また、前記吸収層は、厚さが 10 nm 以上とすることが好ましい。

また、本実施形態においては、面発光レーザをつぎのように構成することができる。

すなわち、基板上に、下部反射ミラー、活性層、上部反射ミラーが積層されてなり、

前記上部反射ミラーの光出射部に、反射率の低い領域と該反射率の低い領域の中央部に形成された凹形状の反射率の高い領域とからなる反射率を制御するための構造を備え、波長 λ で発振する面発光レーザをつぎのように構成することができる。

前記上部反射ミラーを、複数の層を積層した積層構造体による多層膜反射鏡で構成する。そして、前記多層膜反射鏡は、該多層膜反射鏡上の光出射周辺部に、 $\lambda / 8$ 以上 $3 \lambda / 8$ 以下の光学的厚さを持つ位相調整層を備えた構成とする。

その際、前記多層膜反射鏡を構成する前記積層構造体において真ん中に積層されている層よりも表面側に、前記波長 λ に対して吸収係数が 5000 cm^{-1} 以上の吸収層が設けられるように構成する。

好ましくは、前記吸収層が、前記積層構造体の表面側から5ペア以内に設けられるように構成する。

また、前記吸収層は、前記多層膜反射鏡の表面側からみて、前記多層膜反射鏡における高屈折率層から低屈折率層へ移る界面に、該吸収層の一部が含まれるように配置される構成とすることができる。

また、前記吸収層の厚さは 2 nm 以上 30 nm 以下とすることが好ましい。

また、前記位相調整層は、前記多層膜反射鏡に対して選択エッチングすることによって構成することができる。

また、前記位相調整層の表面は、少なくともA lを含まない半導体層で形成することがで

10

20

30

40

50

きる。

また、本実施形態においては、上記したいずれかに記載の面発光レーザを複数個配置して面発光レーザアレイを構成することができる。

また、本実施形態においては、上記した面発光レーザアレイを光源として備える光学機器を構成することができる。

また、本実施形態においては、面発光レーザの製造方法をつぎのように構成することができる。

すなわち、基板上に、下部反射ミラー、活性層、上部反射ミラーを順次積層する。

前記上部反射ミラーの光出射部に、反射率の低い領域と該反射率の低い領域の中央部に凹形状の反射率の高い領域からなる反射率を制御するための構造を形成する。

そして、波長 λ で発振する面発光レーザを製造する面発光レーザの製造方法を、つぎのように構成することができる。

まず、第1の工程において、前記上部反射ミラーとして、複数の層を積層した積層構造体による多層膜反射鏡を形成した後に、吸収係数が 5000 cm^{-1} 以上の吸収層を含めて、反射率を下げるための位相調整層を、前記多層膜反射鏡上に形成する。

次に、第2の工程において、前記位相調整層を形成する工程の後に、前記位相調整層の表面に光を照射することによって反射スペクトルを測定する。

次に、第3の工程において、前記反射スペクトルを測定する工程において得られたブロードなディップ波長を測定する。

次に、第4工程において、前記ディップ波長に基づいて、前記位相調整層の厚さを調整する。

また、前記吸収層を形成するに際し、該吸収層を前記位相調整層の厚さ方向の真ん中に位置する層あるいは該真ん中に位置する層より表面側に形成するようにしてもよい。

また、前記吸収層を形成するに際し、該吸収層の厚さが 10 nm 以上になるように形成してもよい。

また、本実施形態においては、面発光レーザの製造方法をつぎのように構成することができる。

すなわち、基板上に、下部反射ミラー、活性層、上部反射ミラーを順次積層する。

前記上部反射ミラーの光出射部に、反射率の低い領域と該反射率の低い領域の中央部に凹形状の反射率の高い領域からなる反射率を制御するための構造を形成する。

そして、波長 λ で発振する面発光レーザを製造する面発光レーザの製造方法を、つぎのように構成することができる。

まず、第1の工程において、前記上部反射ミラーとして、複数の層を積層した積層構造体による多層膜反射鏡を形成する際に、

前記積層構造体において真ん中に積層されている層よりも表面側に、前記波長 λ に対して吸収係数が 5000 cm^{-1} 以上の吸収層を、前記積層構造体中に形成する。

次に、第2の工程において、前記吸収層を形成した後に、前記積層構造体に光を照射することによって反射スペクトルを測定する。

次に、第3の工程において、前記反射スペクトルを測定する工程において得られたブロードなディップ波長を測定する。

次に、第4の工程において、前記上部反射ミラーである多層膜反射鏡を形成した後に、該多層膜反射鏡上に反射率を下げるための位相調整層を形成する。

次に、第5の工程において、前記ディップ波長に基づいて、前記位相調整層の厚さを調整する。

また、前記吸収層を形成するに際し、好ましくは、該吸収層を前記積層構造体の表面側から5ペア以内に形成する。

また、前記吸収層を形成するに際し、前記多層膜反射鏡の表面側からみて、前記多層膜反射鏡における高屈折率層から低屈折率層へ移る界面に、

前記吸収層の一部が含まれるように形成してもよい。

また、前記吸収層を形成するに際し、該吸収層の厚さが 2 nm 以上 30 nm 以下になるよ

10

20

30

40

50

うに形成してもよい。

また、前記上部反射ミラーの光出射部における前記凹形状を形成するに際し、前記位相調整層を前記多層膜反射鏡に対して選択エッチングすることによって形成するようにしてもよい。

また、前記位相調整層を形成するに際し、前記位相調整層の表面に少なくとも Al を含まない半導体層を形成するようにしてもよい。

また、本実施形態においては、上記したいずれかに記載の面発光レーザの製造方法による面発光レーザを複数個配置して製造する面発光レーザアレイの製造方法を構成することができる。

【実施例】

【0034】

以下に、本発明の実施例について説明する。

[実施例1]

実施例1として、680nmで発振する凹型の表面レリーフ構造を備えた垂直共振器型面発光レーザの構成例およびその製造方法について説明する。

図1に、本実施例における垂直共振器型面発光レーザの構成例を説明するための断面模式図を示す。

図1において、102はn側電極、104はn型GaAs基板、106はn型AlAs / Al_{0.5}Ga_{0.5}As多層膜反射鏡、108はn型AlGaInPスペーサ層、110はGaInP量子井戸活性層である。

112はp型AlGaInPスペーサ層、114はp型Al_{0.9}Ga_{0.1}As / Al_{0.5}Ga_{0.5}As多層膜反射鏡、116はAl_{0.98}Ga_{0.02}As酸化狭窄層である。

118はp型Al_{0.9}Ga_{0.1}As低屈折率層、120はp型Al_{0.5}Ga_{0.5}As高屈折率層である。

また、122は位相調整層であり、ここではGaAs層が用いられている。

また、この層はコンタクト層としても機能させるために $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上の高濃度p型ドーピングを行っている。124は絶縁膜、126はp側電極である。

【0035】

本実施例において、110の活性層は、複数のGaInP量子井戸層と複数のAl_{0.25}Ga_{0.25}In_{0.5}P障壁層で構成された多重量子井戸構造になっている。

その多重量子井戸構造が内部光定在波の腹に位置するように、p型AlGaInPスペーサ層108、p型AlGaInPスペーサ層112の層厚を調整する。これらで構成される共振器としては発振波長である680nmに対して、その波長の整数倍の光学的厚さを持つように層厚を調整する。活性層自体の発光波長は面発光レーザ共振器の共振波長より短波側に発光ピーク波長（例えば660～670nm）を持つように調整作製される。

【0036】

n型多層膜反射鏡106は、発振波長680nmのそれぞれ1/4波長の光学的厚さをもつn型AlAs低屈折率層とn型Al_{0.5}Ga_{0.5}As高屈折率層を60ペア積層した構造である。

この反射鏡の反射帯域の中心波長は発振波長である680nmに調節する。n型伝導性を得るために、SiやSeをドーピングする。

電気抵抗をさらに下げるために、二つの異なる屈折率層間に組成傾斜層を設けたり、光吸収を少なくしつつ電気抵抗を下げるために、光分布の腹周辺ではドーピング量を落とし節ではドーピング量をふやす変調ドーピングなどを用いたりしてもよい。

【0037】

p型多層膜反射鏡114は、それぞれ1/4波長の光学的厚さをもつp型Al_{0.9}Ga_{0.1}As低屈折率層118とp型Al_{0.5}Ga_{0.5}As高屈折率層120を38ペア積層した構造である。

この反射鏡の反射帯域の中心波長は発振波長である680nmに調節する。p型伝導性を

10

20

30

40

50

得るために、CやZnをドーピングする。電気抵抗をさらに下げするために、n型多層膜反射鏡で用いたような方法をp型反射鏡にも適用することが可能である。

p型多層膜反射鏡内で活性層に近いp型 $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}$ 低屈折率層118のひとつをp型 $\text{Al}_{0.98}\text{Ga}_{0.02}\text{As}$ 酸化狭窄層116に置き換えてある。この層を高温水蒸気雰囲気下で選択酸化させて素子周辺部から絶縁させることにより、中央部のみに電流が流れる電流狭窄構造を形成する。

本実施例では酸化狭窄により電流が流れる領域がほぼ円形で6μm径になるように調節した。

【0038】

通常、p型多層膜反射鏡114は1/4波長の光学的厚さをもつ高屈折率層120で終端する。

本実施例では、基本モードによる単一横モード化のために、光出射中央部は通常どおり高屈折率層120で終端して発振に必要な高反射率が得られるようにする。その際、光出射周辺部はその高屈折率層120上にさらに、位相調整層122を付け加えて、高次モードが発振に到らないような低反射率を得られるようにする。

【0039】

つぎに、本実施例における垂直共振器型面発光レーザの製造方法の一例について、更に詳しく説明する。

その構造は上記した構造と同じであり、以下の工程により製造される。

まず、第1の工程において、位相調整層の層厚を決定する。

次に、第2の工程において、吸収層を決定する。

次に、第3の工程において、位相調整層に起因するディップ波長を計算する。

次に、第4の工程において、位相調整層成長後に反射スペクトルを測定し、次に、第3の工程でのディップ波長の計算値と比較し、ディップ波長の実測値が計算値に一致するまで位相調整層の層厚調整をする。

次に、第5の工程において、上記調整後のウエハによる素子を形成する。

【0040】

以下、順を追って上記各工程について、更に詳細に説明する。

第1の工程においては、まず、シングルモード化のために必要な損失をもたらす位相調整層の層厚を決定する。

本実施例では、図8が示すように規格化損失として5が得られる層厚として、1/4波長の光学的厚さをもつGaAs（この場合45nm）を選んだ。

ここでは1/4波長の光学的厚さを選んだが、必要な素子特性に応じて、例えば図7を参考に、必要な損失に対応する層厚を決定すればよい。

【0041】

第2の工程においては、精度よくディップ波長の測定ができるように、位相調整層あるいは上部多層膜反射鏡内にバンド間吸収する層を配置する。より好ましくは上述した形態で配置すればよい。

さらに、高反射領域を精度よく形成するために、この位相調整層122がp型 $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ 高屈折率層120に対して選択エッチング可能に構成されていることが好ましい。

上記を満たす構造の例として、発振波長680nmに対して吸収層であるGaAs層を選択し、それを位相調整層すべてに配置した。

このGaAsによる位相調整層は多層膜反射鏡内の $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}$ 高屈折率層120に対してクエン酸系エッチャントなどを用いることで選択エッチングが可能である。

【0042】

第3の工程においては、上記の位相調整層まで形成した全層構造における反射スペクトルを計算する。

図10に計算結果を示す。ここでは、意図的に位相調整層の層厚を1/4波長の光学的厚

10

20

30

40

50

さである目標値の45 nmを基準に、-10 nmから+10 nmまで5 nm毎に変化させた場合の反射スペクトルの変化を示す。

従来の面発光レーザウエハの反射スペクトルと大きく異なり、吸収層を含む位相調整層が形成する共振器の影響を強く受け、多層膜反射鏡反射帯域スペクトル内にその共振器によるおおきなディップが明瞭に観測される。

位相調整層の厚さが変化するとそれに応じてそのディップ波長が変化し、ディップ波長の測定分解能が数nmあれば、層厚ばらつきも+/-5 nm以内に十分収まり、所望の損失を導入することができる。

【0043】

第4の工程においては、作製したウエハの反射スペクトルを測定する。

10

図11に実際の測定結果を示す。

図11(a)は、実際には位相調整層の層厚として45 nmを狙って作製し、一旦結晶成長を終了してその反射スペクトルを測定した結果である。

この図11(a)と図10の結果を比較すると、ディップ波長は1/4波長の光学的厚さの場合よりも短波長側に出現している。

これは、層厚として45 nmを実際には狙ったものの、その低温成長、あるいは高濃度Cドーピングのエッチバックにより成長速度が想定よりも遅くなり、7.5 nm程度薄い37.5 nmであると同定できる。

そこで、そのウエハを用いて7.5 nm追加したものを用意した。

追加した層は最表面に存在する層と同じ高濃度CドーピングされたGaAs層である。これを結晶成長により追加した。

20

その反射スペクトルを測定した結果が図11(b)である。同じく図10と比較すると、調整した通り図11(b)ではほぼ45 nmになっていることが予想される。

このように本実施例の方法により、反射スペクトルからディップ波長を求め、そこから極めて精度の高い損失制御が可能となった。

【0044】

第5の工程においては、最終層の層厚が調整されたウエハ、ここでは図11(b)のウエハを用いて素子形成を行った。

始めに、表面レリーフを形成する。そのためのマスクパターン形成として、誘電体層を堆積し、フォトリソグラフィ、パフアードふっ酸によるウェットエッチングを用いてSiO₂をパターンニングする。

30

続いて、クエン酸系エッチャントにより、Al_{0.5}Ga_{0.5}As高屈折率層120に対してGaAs位相調整層122の選択エッチングを行い、3.5 μmφの凹型レリーフを形成する。

次に、20~30 μm径のメサを形成する。上記と同じように、誘電体層を再度パターンニングしてドライエッチング等により、少なくともAlGaAs選択酸化層の側面が露出するまでエッチングを行う。

この時、レリーフ径の中心とメサ径の中心が揃うように注意してアライメントを行う。あるいは、セルフアライメントが可能になるようなプロセスを採用してもよい。

続いて、高温・水蒸気雰囲気下で必要なだけAl_{0.98}Ga_{0.02}As酸化狭窄層116をメサ周辺から酸化させる。

40

ここでは6 μm径で中央に電流が流れるような酸化狭窄領域になるように時間を調整する。その後、必要な誘電体層を堆積し、再度パターンニングしてp型GaAsコンタクト層の一部を露出させ、その上部にリング状のTi/Auを蒸着してp側電極を形成する。

その後、n型GaAs基板の裏面にAuGe/Ni/Auを蒸着し、400℃前後でアニールすることでn側電極を形成する。

最後に必要な大きさのチップに切り出して、パッケージにダイボンディングし、p側電極をワイヤーボンディングして素子が完成する。

また、マスクをアレイ用に適切に設計することで、単一素子のみならず、素子が複数個二次元に配置されたアレイを作製することができる。このように、マスクのみの変更で、比

50

較的容易にアレイ構造が得られる点が面発光レーザの利点である。

以上に説明した本実施例の構成によれば、反射スペクトル測定から、導入される損失量の再現性を大幅に向上させ、ウエハ間での再現性および均一性を大幅に向上させることができる。

【0045】

[実施例 2]

実施例 2 として、同じく 680 nm で発振する凹型の表面レリーフ構造を備えた垂直共振器型面発光レーザについて説明する。

図 9 に、本実施例における垂直共振器型面発光レーザの構成例を説明するための断面模式図を示す。

図 9 では、図 1 に示した構成と同様の構成には同一の符号が付されており、重複する部分の説明は省略し、異なる構造について説明する。

図 9 において、902 は位相調整層、904 は GaAs 吸収層である。

【0046】

本実施例においては、位相調整層 902 は、ここでは、20 nm GaAs コンタクト層と 27 nm Al_{0.9}Ga_{0.1}As 低屈折率層とを用いている。

この位相調整層 902 はちょうど 1/4 波長の光学的厚さをもつような厚さに設定している。

この位相調整層 902 でも発振波長 680 nm の光は吸収されるが、より確実な吸収を起こすために、10 nm の GaAs 吸収層 904 を、44 nm の Al_{0.5}Ga_{0.5}As 高屈折率層 120 と、48 nm の Al_{0.9}Ga_{0.1}As 低屈折率層 118 との、界面に配置した。

この界面は図 6 でいう高屈折率層から低屈折率層へ移る界面 610 に相当する。

したがって、44 nm の Al_{0.5}Ga_{0.5}As 高屈折率層 120、10 nm の GaAs 吸収層 902 の 1/2 の 5 nm で 1/4 波長の光学的厚さに対応し、残り 1/2 の 5 nm の GaAs 吸収層 902 と 48 nm の Al_{0.9}Ga_{0.1}As 低屈折率層 118 で 1/4 波長の光学的厚さに対応するようになっている。

【0047】

この GaAs 吸収層 902 が設けられた節の位置は、図 6 に示すように低反射領域における反射スペクトル測定では、光強度分布において腹となるため、十分な吸収が生じて、ディップ波長の測定が可能となる

以上のような本実施例による構造を用いれば、実施例 1 で示した方法により導入する損失量を見積もり、均一性、再現性の高い素子を形成することができる。

【0048】

[実施例 3]

実施例 3 として、980 nm で発振する凹型の表面レリーフ構造を備えた垂直共振器型面発光レーザについて説明する。

図 13 に、本実施例における垂直共振器型面発光レーザの構成例を説明するための断面模式図を示す。

図 13 では、図 1 に示した構成と同様の構成には同一の符号が付されており、重複する部分の説明は省略し、異なる構造について説明する。

図 13 において、1306 は n 型 Al_{0.9}Ga_{0.1}As / GaAs 多層膜反射鏡、1308 は n 型 AlGaAs スペース層、1310 は InGaAs 量子井戸活性層である。1312 は p 型 AlGaAs スペース層、1314 は p 型 Al_{0.9}Ga_{0.1}As / GaAs 多層膜反射鏡、1320 は p 型 GaAs 高屈折率層である。また、1322 は位相調整層であり、ここでは GaAs 層と吸収のための In_{0.3}Ga_{0.7}As 層 1328 を用いている。

【0049】

本実施例において、1310 の活性層は、複数の In_{0.2}Ga_{0.8}As 量子井戸層と GaAs 障壁層で構成された多重量子井戸構造になっている。

この多重量子井戸が内部光定在波の腹に位置するように、 n 型 AlGaAs スペース層 1308、 p 型 AlGaAs スペース層 1312 の層厚を調整する。

これらで構成される共振器としては発振波長 980 nm に対して、その波長の整数倍の光学的厚さを持つように層厚を調整する。活性層自体の発光波長は 960 ~ 970 nm に発光ピーク波長を持つように調整作製される。

【0050】

位相調整層 1322 は、全層厚が $1/4$ 波長の光学的厚さに相当する 80 nm であり、最表面に 20 nm の GaAs 、続いて 5 nm の $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 、そして 55 nm の GaAs 層という構造になっている。

コンタクト層を兼ねるため、 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上に高ドーピングしている。

ここで、上記のような配置、層厚の $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ 層は、発光波長である 980 nm に対してバンド間吸収層となり、反射スペクトルにおいて位相調整層に起因するディップ波長が明瞭に観測される。

以上のような本実施例による構造を用いれば、実施例 1 で示した方法により導入する損失量を見積もり、均一性、再現性の高い素子を形成することができる。

【0051】

[実施例 4]

実施例 4 として、本発明の垂直共振器型面発光レーザを適用して構成した光学機器の構成例について説明する。

ここでは、光学機器として、本発明の垂直共振器型面発光レーザによる赤色面発光レーザアレイを用いて構成した画像形成装置の構成例について説明する。

図 12 に、本実施例の赤色面発光レーザによるレーザアレイを実装した電子写真記録方式の画像形成装置の構造図を示す。

図 12 (a) は画像形成装置の上面図であり、図 12 (b) は同装置の側面図である。

図 12 において、1200 は感光体、1202 は帯電器、1204 は現像器、1206 は転写帯電器、1208 は定着器、1210 は回転多面鏡、1212 はモータである。

また、1214 は赤色面発光レーザアレイ、1216 は反射鏡、1220 はコリメータレンズ及び 1222 は $f - \theta$ レンズである。

【0052】

本実施例の画像形成装置は、本発明の垂直共振器型面発光レーザを適用してなる光源からの光を、感光体上に入射させ、画像を形成するように構成されている。

具体的には、図 12 に示されるモータ 1212 は、回転多面鏡 1210 を回転駆動するように構成されている。

また、本実施例における回転多面鏡 1210 は、6 つの反射面を備えている。1214 は記録用光源であるところの赤色面発光レーザアレイである。

この赤色面発光レーザアレイ 1214 は、レーザドライバ (図示せず) により画像信号に応じて点灯または消灯し、こうして変調されたレーザ光は、赤色面発光レーザアレイ 1214 からコリメータレンズ 1220 を介し回転多面鏡 1210 に向けて照射される。

【0053】

回転多面鏡 1210 は矢印方向に回転していて、赤色面発光レーザアレイ 1214 から出力されたレーザ光は、回転多面鏡 1210 の回転に伴い、その反射面で連続的に出射角度を変える偏向ビームとして反射される。

この反射光は、 $f - \theta$ レンズ 1222 により歪曲収差の補正等を受け、反射鏡 1216 を経て感光体 1200 に照射され、感光体 1200 上で主走査方向に走査される。

このとき、回転多面鏡 1210 の 1 面を介したビーム光の反射により、感光体 1200 の主走査方向に赤色面発光レーザアレイ 1214 に対応した複数のライン分の画像が形成される。

本実施例においては、 4×8 の赤色面発光レーザアレイ 1214 を用いており、32 ライン分の画像が同時に形成される。

【0054】

10

20

30

40

50

感光体 1200 は、予め帯電器 1202 により帯電されており、レーザ光の走査により順次露光され、静電潜像が形成される。

また、感光体 1200 は矢印方向に回転していて、形成された静電潜像は、現像器 1204 により現像され、現像された可視像は転写帯電器 1206 により、転写紙（図示せず）に転写される。

可視像が転写された転写紙は、定着器 1208 に搬送され、定着を行った後に機外に排出される。

【0055】

また、本実施例では、 4×8 赤色面発光レーザアレイを用いたが、これに限定されるものではなく、 $m \times n$ 赤色面発光レーザアレイ（ m 、 n ：自然数）であっても良い。

以上説明したように、本実施例による赤色面発光レーザアレイを電子写真記録方式の画像形成装置に用いることにより、高速・高精細印刷を可能とする画像形成装置を得ることが可能となる。

【0056】

なお、上記説明では、光学機器として画像形成装置を構成した例について説明したが、本発明はこのような構成に限定されるものではない。

例えば、本発明の垂直共振器型面発光レーザを適用して構成した光源を用い、該光源からの光を画像表示体上に入射させ、画像の表示をするようにしてプロジェクションディスプレイ等の光学機器を構成するようにしてもよい。

【図面の簡単な説明】

【0057】

【図1】本発明の実施例1における凹型の表面レリーフ構造を備えた垂直共振器型面発光レーザおよびその製造方法を説明するための断面模式図。

【図2】従来例における凹型（a）および凸型（b）の表面レリーフ構造を説明するための断面模式図。

【図3】従来例である非特許文献2の表面レリーフ構造を備えたレーザに導入される規格化損失の層厚依存性を説明する図であり、横軸に表面レリーフにより除去される層厚、縦軸（左側）に導入される損失をプロットした図である。

【図4】本発明の実施形態における凹型の表面レリーフ構造を備えた面発光レーザのウエハ層構造を説明するための断面模式図。

【図5】本発明の実施形態の吸収層における吸収係数の違いによるディップ形状の違いを説明するための図であり、面発光レーザのウエハ層構造の反射スペクトルを示す図。

【図6】本発明の実施形態における面発光レーザの多層膜反射鏡の層構成と素子駆動時および反射スペクトル測定時の内部光強度分布を説明するための図。

【図7】本発明の実施形態における低反射領域に導入される規格化損失の層厚依存性を説明するための図であり、第一層から第四層まで各々の層厚がばらついた場合に導入される規格化損失を示す図。

【図8】本発明の実施形態における低反射領域に導入される規格化損失のディップ波長依存性を説明するための図であり、第一層から第四層まで各々の層厚がばらついた場合に導入される規格化損失を示す図。

【図9】本発明の実施例2における凹型の表面レリーフ構造を備えた垂直共振器型面発光レーザおよびその製造方法を説明するための断面模式図。

【図10】本発明の実施形態の反射領域における表面層の層厚の違いによるディップ波長の違いを説明するための図であり、面発光レーザのウエハ層構造の反射スペクトルを示す図。

【図11】本発明の実施例1において作製されたウエハの反射スペクトルの実際の測定結果を示す図。

【図12】本発明の実施例4における画像形成装置を説明するための模式図。

【図13】本発明の実施例3における凹型の表面レリーフ構造を備えた垂直共振器型面発光レーザおよびその製造方法を説明するための断面模式図。

【図14】本発明の実施形態の吸収層における吸収係数の違いによるディップ形状の違いを説明するための図であり、面発光レーザのウエハ層構造の反射スペクトルを示す図。

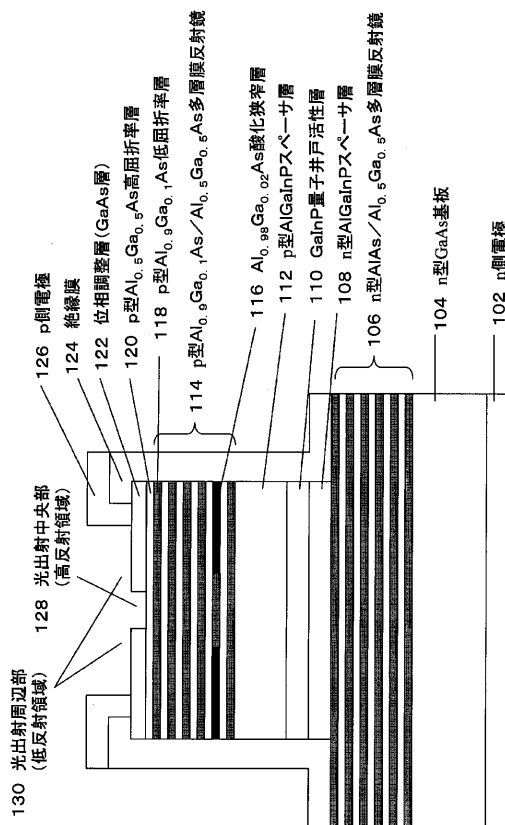
【符号の説明】

【0058】

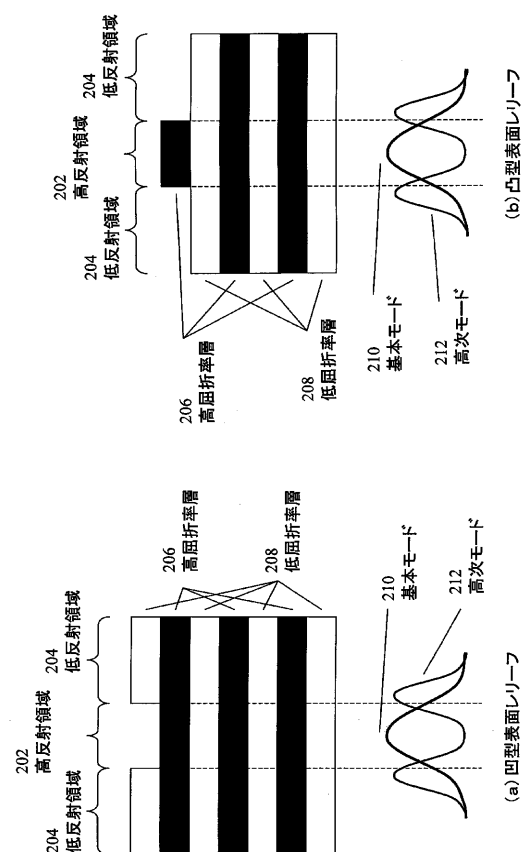
- 102 : n側電極
 104 : n型GaAs基板
 106 : n型AlAs / Al_{0.5}Ga_{0.5}As多層膜反射鏡
 108 : n型AlGaInPスペーサ層
 110 : GaInP量子井戸活性層
 112 : p型AlGaInPスペーサ層
 114 : p型Al_{0.9}Ga_{0.1}As / Al_{0.5}Ga_{0.5}As多層膜反射鏡
 116 : Al_{0.98}Ga_{0.02}As酸化狭窄層
 118 : p型Al_{0.9}Ga_{0.1}As低屈折率層
 120 : p型Al_{0.5}Ga_{0.5}As高屈折率層
 122 : 位相調整層
 124 : 絶縁膜
 126 : p側電極
 902 : 位相調整層 (GaAs / Al_{0.9}Ga_{0.1}As層)
 904 : 吸収層 (GaAs層)

10

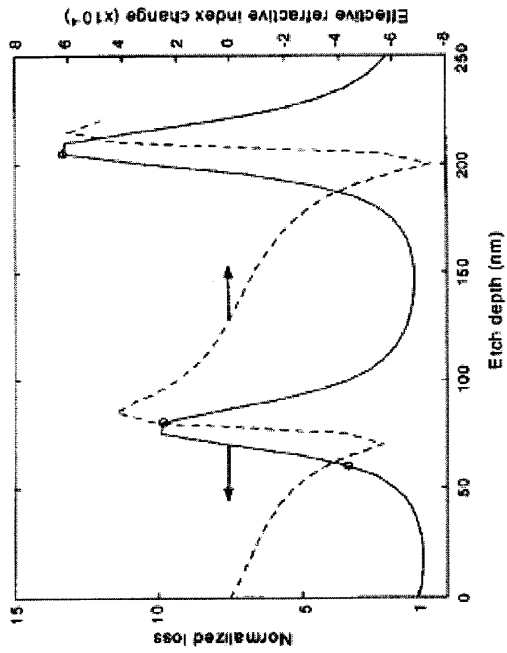
【図1】



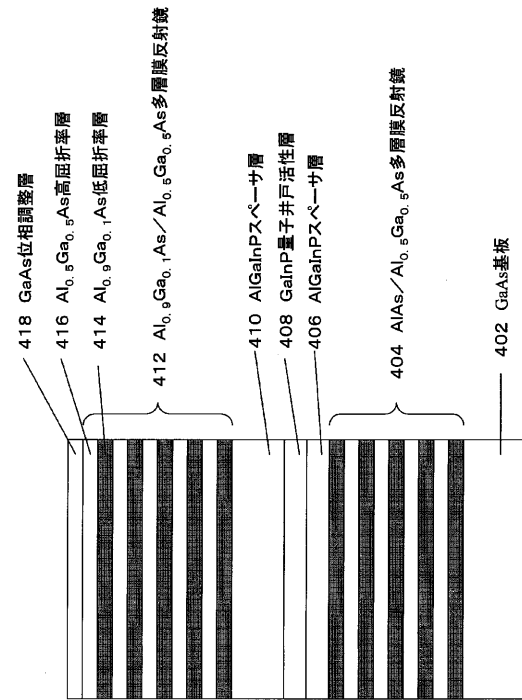
【図2】



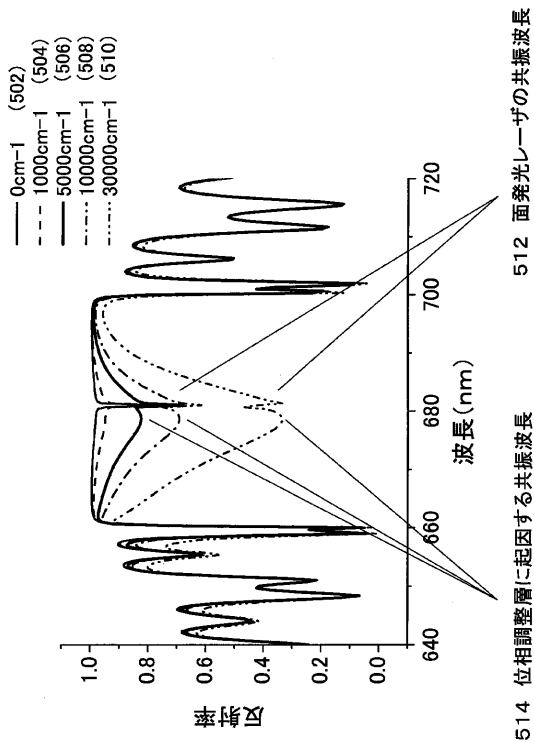
【図3】



【図4】

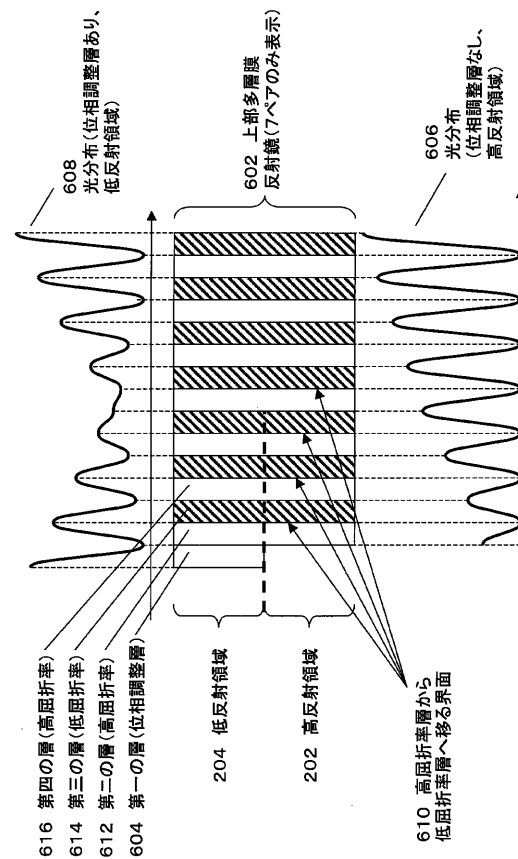


【図5】

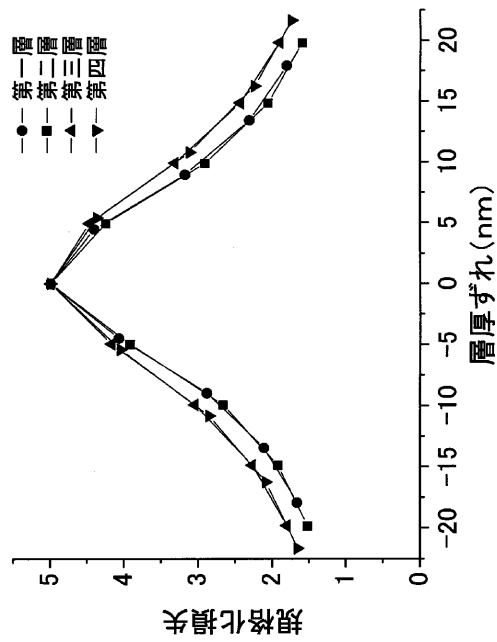


514 位相調整層に起因する共振波長 512 面発光レーザーの共振波長

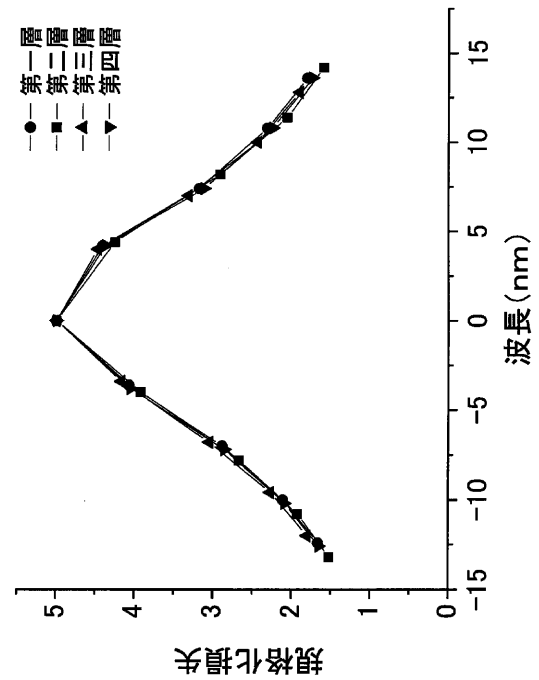
【図6】



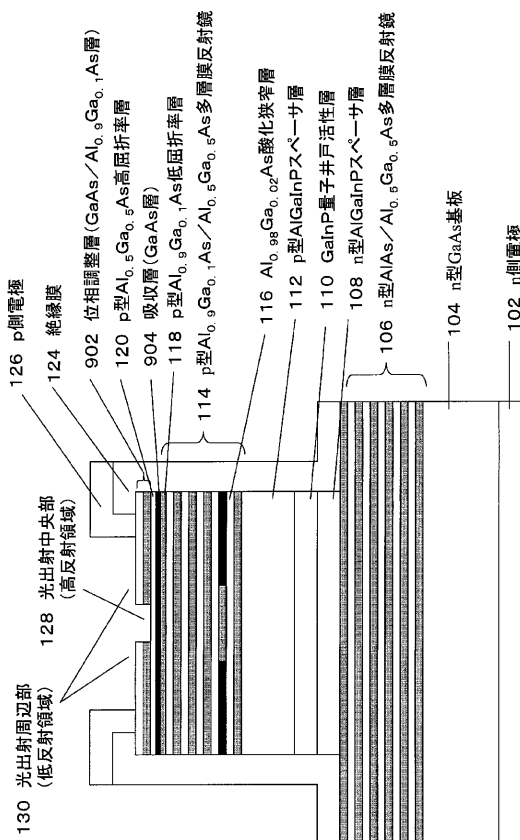
【図 7】



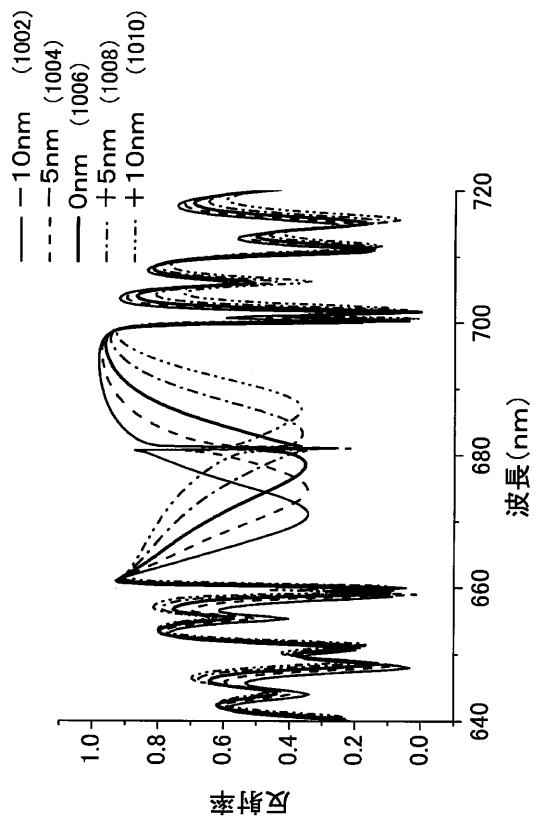
【図 8】



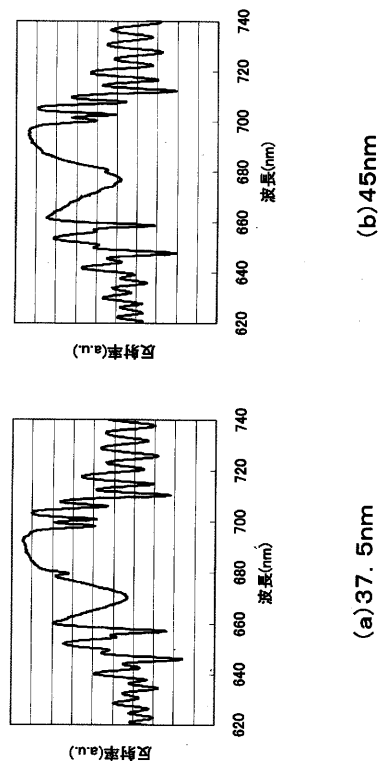
【図 9】



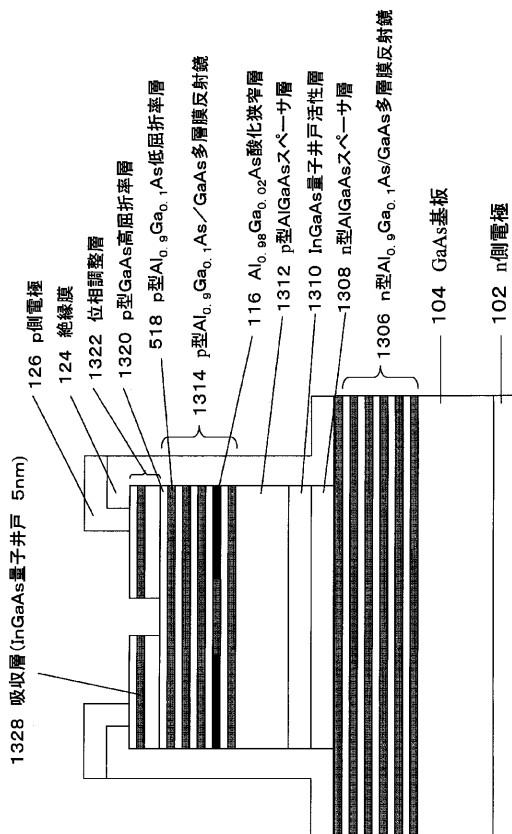
【図 10】



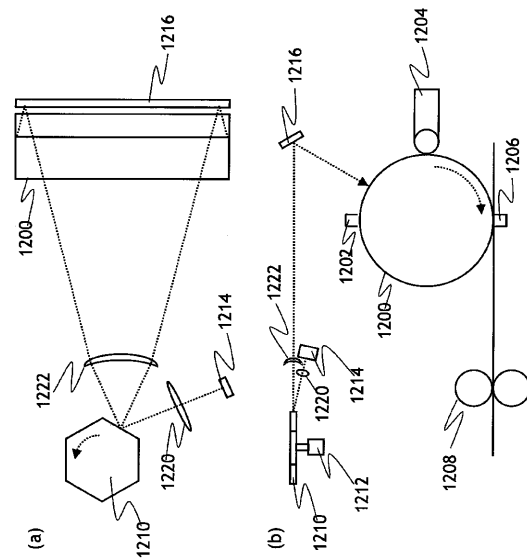
【図 1 1】



【図 1 3】



【図 1 2】



【図 1 4】

