(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3846596号
(P3846596)
(45)発行日　平成18年11月15日(2006.11.15)　(24)登録日　平成18年9月1日(2006.9.1)

(51)Int.Cl.　　F I
H01S 5/183 (2006.01)　　H01S 5/183
H01S 5/026 (2006.01)　　H01S 5/026 612

請求項の数 15　(全 26 頁)

(21)出願番号　特願2005-172433(P2005-172433)
(22)出願日　平成17年6月13日(2005.6.13)
(62)分割の表示　特願2003-289049(P2003-289049)の分割
原出願日　平成15年8月7日(2003.8.7)
(65)公開番号　特開2005-286352(P2005-286352A)
(43)公開日　平成17年10月13日(2005.10.13)
審査請求日　平成17年6月13日(2005.6.13)

(73)特許権者　000002369
セイコーエプソン株式会社
東京都新宿区西新宿２丁目４番１号
(74)代理人　100090387
弁理士　布施　行夫
(74)代理人　100090398
弁理士　大渕　美千栄
(74)代理人　100101649
弁理士　伊奈　達也
(74)代理人　100104710
弁理士　竹腰　昇
(72)発明者　金子　剛
長野県諏訪市大和３丁目３番５号　セイコーエプソン株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】面発光型半導体レーザ、光モジュール、ならびに光伝達装置

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
発光素子部と、
前記発光素子部上に設けられ、かつ、出射面を有する光検出部と、を含み、
前記発光素子部は、第２導電型の第１ミラーと、前記第１ミラーの上方に設けられた活性層と、前記活性層の上方に設けられた分布反射型の第２ミラーとを含み、
前記第２ミラーは、第１導電型の第１領域と、第２領域とからなり、
前記第２領域は前記光検出部に接し、
前記第２領域は前記第１領域よりも高抵抗であり、
前記光検出部は、第２導電型の第１コンタクト層と、前記第１コンタクト層の上方に設けられた光吸収層と、前記光吸収層の上方に設けられた第１導電型の第２コンタクト層と、を含む、面発光型半導体レーザ。
【請求項２】
請求項１において、
さらに、前記発光素子部を駆動させるための第１電極および第２電極を含み、
前記第２電極は前記第１領域に接している、面発光型半導体レーザ。
【請求項３】
請求項１または２において、
前記第２領域の膜厚は１μｍ以上である、面発光型半導体レーザ。
【請求項４】

請求項１ないし３のいずれかにおいて、
前記第１領域および前記第２領域は第１導電型の不純物を含み、
前記第２領域における第１導電型の不純物の濃度は、前記第１領域における第１導電型の不純物の濃度よりも低い、面発光型半導体レーザ。
【請求項５】
請求項４において、
前記第２領域における第１導電型の不純物の濃度は1×10^{16}［cm^{-2}］未満である、面発光型半導体レーザ。
【請求項６】
請求項４または５において、
前記第２領域は、第２導電型の不純物をさらに含むことにより、半絶縁性になっている、面発光型半導体レーザ。
【請求項７】
請求項１ないし３のいずれかにおいて、
前記第２領域は真性半導体からなる、面発光型半導体レーザ。
【請求項８】
請求項１ないし７のいずれかにおいて、
前記第１領域は電流狭窄層を含む、面発光型半導体レーザ。
【請求項９】
請求項１ないし８のいずれかにおいて、
前記第２領域は自然放出光の反射層を含む、面発光型半導体レーザ。
【請求項１０】
請求項１ないし９のいずれかにおいて、
前記光検出部は、前記発光素子部にて生じた光の一部を電流に変換する機能を有する、面発光型半導体レーザ。
【請求項１１】
請求項２ないし１０のいずれかにおいて、
さらに、前記光検出部を駆動させるための第３電極および第４電極を含み、
前記第１電極および前記第２電極のいずれか一方と、前記第３電極および前記第４電極のいずれか一方とが、電極接合部にて電気的に接続されている、面発光型半導体レーザ。
【請求項１２】
請求項１１において、
前記電極接合部は、前記発光素子部および前記光検出部を除いた、電極パッドに至るまでの領域に設けられた、面発光型半導体レーザ。
【請求項１３】
請求項１ないし１２のいずれかにおいて、
前記発光素子部および前記光検出部は、全体としてｐｎｐｎ構造またはｎｐｎｐ構造をなす、面発光型半導体レーザ。
【請求項１４】
請求項１ないし１３のいずれかに記載の面発光型半導体レーザと、光導波路とを含む、光モジュール。
【請求項１５】
請求項１４に記載の光モジュールを含む、光伝達装置。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、面発光型半導体レーザ、光モジュール、ならびに光伝達装置に関する。
【背景技術】
【０００２】
面発光型半導体レーザは、環境温度により光出力が変動するという特性を有する。この

ため、面発光型半導体レーザを用いた光モジュールにおいては、面発光型半導体レーザから出射されるレーザ光の一部を検出して光出力値をモニタするための光検出機能が備えられている場合がある。例えば、面発光型半導体レーザにフォトダイオード等の光検出部を設けることにより、面発光型半導体レーザから出射されるレーザ光の一部を同一素子内でモニタすることができる（例えば、特許文献１参照）。しかしながら、面発光型半導体レーザ内に光検出部を設ける場合、レーザ光の発生に寄与する部分（発光素子部）や光検出部を構成する各層の極性や、発光素子部および光検出部の電極の構造等の点から、面発光型半導体レーザの構造が限定されてしまい、構造の自由度が少なくなることがある。

【０００３】

ところで、面発光型半導体レーザは高速駆動が可能であり、この特徴を生かして電子機器や光通信システムに適用されている。したがって、光検出部を備えた面発光型半導体レーザにおいても高速駆動が求められている。

【特許文献１】特開平１０－１３５５６８号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【０００４】

本発明の目的は、構造に自由度があり、かつ高速駆動が可能である、光検出部を含む面発光型半導体レーザを提供することにある。

【０００５】

また、本発明の目的は、前記面発光型半導体レーザを含む光モジュールならびに光伝達装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【０００６】

［面発光型半導体レーザ］

本発明の面発光型半導体レーザは、

発光素子部と、

前記発光素子部上に設けられ、かつ、出射面を有する光検出部と、を含み、

前記発光素子部は、第１ミラーと、前記第１ミラーの上方に設けられた活性層と、前記活性層の上方に設けられた第２ミラーとを含み、

前記第２ミラーは第１領域および第２領域からなり、

前記第２領域は前記光検出部に接し、

前記第２領域は前記第１領域よりも高抵抗である。

【０００７】

本発明の面発光型半導体レーザによれば、前記第２領域は前記第１領域よりも高抵抗であることにより、構造に自由度があり、かつ高速駆動が可能である。詳しくは本実施の形態の欄で説明する。

【０００８】

上記面発光型半導体レーザは、以下の態様（１）～（１１）をとることができる。

【０００９】

（１）さらに、前記発光素子部を駆動させるための第１電極および第２電極を含み、前記第２電極は前記第１領域に接していることができる。この場合、さらに、前記光検出部を駆動させるための第３電極および第４電極を含み、前記第１電極および前記第２電極のいずれか一方と、前記第３電極および前記第４電極のいずれか一方とが、電極接合部にて電気的に接続できる。また、この場合、前記電極接合部を、前記発光素子部および前記光検出部を除いた、電極パッドに至るまでの領域に設けることができる。

【００１０】

（２）前記第２領域の膜厚は１μｍ以上であることができる。

【００１１】

（３）前記第１領域および前記第２領域は第１導電型の不純物を含み、前記第２領域における第１導電型の不純物の濃度は、前記第１領域における第１導電型の不純物の濃度よ

りも低くすることができる。
【００１２】
（４）前記第２領域の不純物濃度は1×10^{16}［cm^{-2}］未満であることができる。
【００１３】
（５）前記第２領域は、第２導電型の不純物をさらに含むことにより、半絶縁性になっていることができる。
【００１４】
（６）前記第２領域は真性半導体からなることができる。ここで、「真性半導体」とは、電気伝導に関与するキャリアのほとんどが、価電子帯から伝導体に熱励起された自由電子、あるいは価電子帯に生じた同数の正孔であり、不純物や格子欠陥の存在によるキャリア濃度の変化が無視できる半導体をいう。
【００１５】
（７）前記第１領域は電流狭窄層を含むことができる。
【００１６】
（８）前記第２領域は自然放出光の反射層を含むことができる。
【００１７】
（９）前記光検出部は、前記発光素子部にて生じた光の一部を電流に変換する機能を有することができる。
【００１８】
（１０）前記光検出部は、第１コンタクト層と、前記第１コンタクト層の上方に設けられた光吸収層と、前記光吸収層の上方に設けられた第２コンタクト層と、を含むことができる。
【００１９】
（１１）前記発光素子部および前記光検出部は、全体としてｐｎｐｎ構造またはｎｐｎｐ構造をなすことができる。
【００２０】
［光モジュールおよび光伝達装置］
本発明の光モジュールは、前記面発光型半導体レーザと、光導波路とを含む。また、本発明の光伝達装置は、上記光モジュールを含む。
【発明を実施するための最良の形態】
【００２１】
以下、本発明の好適な実施の形態について、図面を参照しながら説明する。
【００２２】
［第１の実施の形態］
１．光素子の構造
図１は、本発明を適用した第１の実施の形態に係る面発光型半導体レーザ（以下、「面発光レーザ」ともいう）１００を模式的に示す断面図である。また、図２は、図１に示す面発光レーザ１００を模式的に示す平面図である。
【００２３】
本実施の形態の面発光レーザ１００は、図１に示すように、発光素子部１４０および光検出部１２０を含む。この面発光レーザ１００においては、発光素子部１４０ではレーザ光が発生し、光検出部１２０に設けられた出射面１０８から出射する。また、光検出部１２０は、発光素子部１４０にて生じたレーザ光の一部を電流に変換する機能を有する。以下、発光素子部１４０および光検出部１２０について説明する。
【００２４】
（発光素子部）
発光素子部１４０は、半導体基板（本実施形態ではｎ型ＧａＡｓ基板）１０１上に設けられている。この発光素子部１４０は垂直共振器（以下「共振器」とする）を構成する。また、この発光素子部１４０は、柱状の半導体堆積体（以下「柱状部」とする）１３０を

含むことができる。

【００２５】

発光素子部１４０は、例えば、ｎ型$Al_{0.9}Ga_{0.1}As$層とｎ型$Al_{0.15}Ga_{0.85}As$層とを交互に積層した４０ペアの分布反射型多層膜ミラー（以下、「第１ミラー」という）１０２、ＧａＡｓウエル層と$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$バリア層からなり、ウエル層が３層で構成される量子井戸構造を含む活性層１０３、および２５ペアの分布反射型多層膜ミラー（以下、「第２ミラー」という）１０４が順次積層されて構成されている。

【００２６】

発光素子部１４０のうち面発光レーザ１００の第２ミラー１０４から第１ミラー１０２の途中にかけての部分が、出射面１０８と垂直の方向からみて円形の形状にエッチングされて柱状部１３０が形成されている。なお、この面発光レーザ１００では、柱状部１３０の平面形状を円形としたが、この形状は任意の形状をとることができる。

【００２７】

第２ミラー１０４は、第１領域１０４ａおよび第２領域１０４ｂからなる。図１に示すように、第２領域１０４ｂは第１領域１０４ａ上に設けられている。また、第２領域１０４ｂは光検出部１２０（より具体的には光検出部１２０の第１コンタクト層１１１）に接している。さらに、この面発光レーザ１００においては、図１および図２に示すように、半導体基板１０１の表面１０１ａと平行な面で切断した場合、第１領域１０４ａの断面が第２領域１０４ｂの断面よりも大きい。これにより、柱状部１３０において、第２ミラー１０４の第１領域１０４ａと第２領域１０４ｂとによって段差が形成されている。すなわち、第２領域１０４ｂは第１領域１０４ａの上面１０４ｘの一部に設けられている。第１領域１０４ａの上面１０４ｘ上にはさらに、第２電極１０９（後述する）が設けられている。

【００２８】

第２領域１０４ｂは第１領域１０４ａよりも高抵抗である。例えば、第２領域１０４ｂは真性半導体であってもよい。本実施の形態の面発光レーザ１００においては、第１領域１０４ａおよび第２領域１０４ｂがともに第１導電型（ｐ型）の不純物を含み、第２領域１０４ｂのｐ型不純物の濃度が第１領域１０４ａのｐ型不純物の濃度よりも低い。なお、本実施の形態においては、第１導電型をｐ型としたが、第１導電型をｎ型とすることができる。この点は、後述する他の実施形態においても同様に適用できる。

【００２９】

また、第２領域１０４ｂの不純物濃度は1×10^{16}［cm^{-2}］未満であることが望ましい。さらに、第２領域１０４ｂの膜厚は１μｍ以上であることが望ましい。

【００３０】

より具体的には、第１領域１０４ａはｐ型$Al_{0.9}Ga_{0.1}As$層とｐ型$Al_{0.15}Ga_{0.85}As$層とが交互に５ペア積層されて構成され、第２領域１０４ｂはｐ型$Al_{0.9}Ga_{0.1}As$層とｐ型$Al_{0.15}Ga_{0.85}As$層とが交互に２０ペア積層されて構成されている。この場合、第１領域１０４ａのｐ型不純物の濃度は例えば1×10^{18}［cm^{-2}］であり、第２領域１０４ｂのｐ型不純物の濃度は例えば1×10^{15}［cm^{-2}］である。

【００３１】

なお、第１ミラー１０２、活性層１０３、および第２ミラー１０４を構成する各層の組成および層数はこれに限定されるわけではない。

【００３２】

第２ミラー１０４のうち少なくとも第１領域１０４ａは、例えばＣがドーピングされることによりｐ型にされ、第１ミラー１０２は、例えばＳｉがドーピングされることによりｎ型にされている。したがって、ｐ型の第２ミラー１０４の第１領域１０４ａ、不純物がドーピングされていない活性層１０３、およびｎ型の第１ミラー１０２により、ｐｉｎダイオードが形成される。

【００３３】
また、第２ミラー１０４の第１領域１０４ａのうち活性層１０３に近い領域に、酸化アルミニウムからなる電流狭窄層１０５が形成されている。この電流狭窄層１０５はリング状に形成されている。すなわち、この電流狭窄層１０５は、図１に示す半導体基板１０１の表面１０１ａと平行な面で切断した場合における断面が同心円状である形状を有する。
【００３４】
さらに、発光素子部１４０には第１電極１０７および第２電極１０９が設けられている。この第１電極１０７および第２電極１０９は、発光素子部１４０に電圧を印加して駆動させるために使用される。発光素子部１４０の上面１４０ａには、第２電極１０９が設けられている。具体的には、図２に示すように、第２電極１０９はリング状の平面形状を有する。また、第１電極１０７は柱状部１３０を取り囲むように設けられ、第２電極１０９は第２ミラー１０４の第２領域１０４ｂならびに光検出部１２０を取り囲むように設けられている。言い換えれば、柱状部１３０は第１電極１０７の内側に設けられ、第２ミラー１０４の第２領域１０４ｂおよび光検出部１２は第２電極１０９の内側に設けられている。なお、第１電極１０７は所定の平面形状に形成することができる。
【００３５】
また、本実施の形態では、第１電極１０７が第１ミラー１０２上に設けられている場合について示したが、第１電極１０７を半導体基板１０１の裏面１０１ｂに設けてもよい。このことは、後述する実施の形態の面発光レーザでも同様である。
【００３６】
第１電極１０７は、例えばＡｕとＧｅの合金とＡｕとの積層膜からなる。また、第２電極１０９は、例えばＰｔ、ＴｉおよびＡｕの積層膜からなる。第１電極１０７と第２電極１０９とによって活性層１０３に電流が注入される。なお、第１電極１０７および第２電極１０９を形成するための材料は、前述したものに限定されるわけではなく、例えばＡｕとＺｎとの合金などが利用可能である。
【００３７】
（光検出部）
光検出部１２０は発光素子部１４０上に設けられ、出射面１０８を有する。また、光検出部１２０は第１コンタクト層１１１と、光吸収層１１２と、第２コンタクト層１１３とを含む。第１コンタクト層１１１は発光素子部１４０の第２ミラー１０４上に設けられ、光吸収層１１２は第１コンタクト層１１１上に設けられ、第２コンタクト層１１３は光吸収層１１２上に設けられている。さらに、本実施の形態の光検出部１２０においては、第１コンタクト層１１１の平面形状が光吸収層１１２および第２コンタクト層１１３の平面形状よりも大きい場合が示されている（図１および図２参照）。また、第３電極１１６は第１コンタクト層１１１上に設けられている。すなわち、この第１コンタクト層１１１は第３電極１１６に接している。
【００３８】
第１コンタクト層１１１は例えばｎ型ＧａＡｓ層からなり、光吸収層１１２は例えば不純物が導入されていないＧａＡｓ層からなり、第２コンタクト層１１３は例えばｐ型ＧａＡｓ層からなることができる。具体的には、第１コンタクト層１１１は、例えばＳｉがドーピングされることによりｎ型にされ、第２コンタクト層１１３は、例えばＣがドーピングされることによりｐ型にされている。したがって、ｎ型の第１コンタクト層１１１、不純物がドーピングされていない光吸収層１１２、およびｐ型の第２コンタクト層１１３により、ｐｉｎダイオードが形成される。
【００３９】
光検出部１２０には、第３電極１１６および第４電極１１０が設けられている。この第３電極１１６および第４電極１１０は光検出部１２０を駆動させるために使用される。また、本実施の形態の面発光レーザ１００においては、第３電極１１６は第１電極１０７と同じ材質にて形成することができ、第４電極１１０は第２電極１０９と同じ材質にて形成することができる。

【００４０】
第４電極１１０は光検出部１２０の上面上（第２コンタクト層１１３上）に設けられている。第４電極１１０には開口部１１４が設けられており、この開口部１１４の底面が出射面１０８である。したがって、開口部１１４の平面形状および大きさを適宜設定することにより、出射面１０８の形状および大きさを適宜設定することができる。本実施の形態においては、図１に示すように、出射面１０８が円形である場合を示す。
【００４１】
（全体の構成）
本実施の形態の面発光レーザ１００においては、発光素子部１４０のｎ型第１ミラー１０２およびｐ型第２ミラー１０４、ならびに光検出部１２０のｎ型第１コンタクト層１１１およびｐ型第２コンタクト層１１３から、全体としてｎｐｎｐ構造が構成される。すなわち、この面発光レーザ１００においては、３つのｐｎ接合を有し、半導体の伝導型が構造内において３回変化している。なお、上記各層において、ｐ型とｎ型を入れ替えることにより、全体としてｐｎｐｎ構造を構成することもできる。以上の点は、後述する実施の形態の面発光レーザにおいても同様に適用される。
【００４２】
なお、第２ミラー１０４の第２領域１０４ｂについては、その極性は特に限定されるわけではない。本実施の形態の面発光レーザ１００においては、第２領域１０４ｂに第１導電型（ｐ型）の不純物が導入されている場合について示したが、この第２領域１０４ｂはさらに第２導電型（ｎ型）の不純物をさらに含むことができる。この場合、第２領域１０４ｂにおいて、第１導電型の不純物の濃度と第２導電型の不純物の濃度とをほぼ等しくすることにより、第２領域１０４ｂを半絶縁性にすることができる。また、第２領域１０４ｂにおいて、第１導電型の不純物の濃度を第２導電型の不純物の濃度よりも大きくすることにより、第２領域１０４ｂを第１導電型にすることもできるし、あるいは、第２導電型の不純物の濃度を第１導電型の不純物の濃度よりも大きくすることにより、第２領域１０４ｂを第２導電型にすることもできる。
【００４３】
光検出部１２０は、発光素子部１４０で生じた光の出力をモニタする機能を有する。具体的には、光検出部１２０は、発光素子部１４０で生じた光を電流に変換する。この電流の値によって、発光素子部１４０で生じた光の出力が検知される。
【００４４】
より具体的には、光検出部１２０において、発光素子部１４０により生じた光の一部が光吸収層１１２にて吸収され、この吸収された光によって、光吸収層１１２において光励起が生じ、電子および正孔が生じる。そして、素子外部から印加された電界により、電子は第３電極１１６に、正孔は第４電極１１０にそれぞれ移動する。その結果、光検出部１２０において、第１コンタクト層１１１から第２コンタクト層１１３の方向に電流が生じる。
【００４５】
また、発光素子部１４０の光出力は、主として発光素子部１４０に印加するバイアス電圧によって決定される。面発光レーザ１００においては、一般的な面発光レーザと同様に、発光素子部１４０の光出力は発光素子部１４０の周囲温度や発光素子部１４０の寿命によって大きく変化する。このため、発光素子部１４０の光出力を光検出部１２０にてモニタする。すなわち、光検出部１２０にて発生した電流の値に基づいて発光素子部１４０に印加する電圧値を調整することによって、発光素子部１４０内を流れる電流の値を調整することにより、発光素子部１４０において所定の光出力を維持することが求められる。発光素子部１４０の光出力を発光素子部１４０に印加する電圧値にフィードバックする制御は、外部電子回路（駆動回路；図示せず）を用いて実施することができる。
【００４６】
２．面発光レーザの動作
本実施の形態の面発光レーザ１００の一般的な動作を以下に示す。なお、下記の面発光

レーザ１００の駆動方法は一例であり、本発明の趣旨を逸脱しない限り、種々の変更が可能である。

【００４７】

まず、第１電極１０７と第２電極１０９とで、ｐｉｎダイオードに順方向の電圧を印加すると、発光素子部１４０の活性層１０３において、電子と正孔との再結合が起こり、前記再結合による発光が生じる。そこで生じた光が第２ミラー１０４と第１ミラー１０２との間を往復する際に誘導放出が起こり、光の強度が増幅される。光利得が光損失を上まわると、レーザ発振が起こり、活性層１０３にてレーザ光が生じる。このレーザ光は発光素子部１４０の第２ミラー１０４を出射し、光検出部１２０の第１コンタクト層１１１へと入射する。

【００４８】

次に、光検出部１２０において、第１コンタクト層１１１に入射した光は、次に光吸収層１１２に入射する。この入射光の一部が光吸収層１１２にて吸収される結果、光吸収層１１２において光励起が生じ、電子および正孔が生じる。そして、素子外部から印加された電界により、電子は第３電極１１６に、正孔は第４電極１１０にそれぞれ移動する。その結果、光検出部１２０において、第１コンタクト層１１１から第２コンタクト層１１３の方向に電流（光電流）が生じる。この電流の値を測定することにより、発光素子部１４０の光出力を検知することができる。そして、光検出部１２０を通過した光は、出射面１０８から出射する。

【００４９】

本実施の形態の面発光レーザ１００によれば、発光素子部１４０の光出力の一部を光検出部１２０でモニタして駆動回路にフィードバックすることで、温度等による出力変動を補正することができるため、安定した光出力を得ることができる。

【００５０】

３．光素子の製造方法

次に、本発明を適用した第１の実施の形態の面発光レーザ１００の製造方法の一例について、図３～図８を用いて説明する。図３～図８は、図１に示す面発光レーザ１００の一製造工程を模式的に示す断面図であり、それぞれ図１に示す断面図に対応している。

【００５１】

（１）まず、ｎ型ＧａＡｓからなる半導体基板１０１の表面１０１ａに、組成を変調させながらエピタキシャル成長させることにより、図３に示すように、半導体多層膜１５０が形成される（図３参照）。ここで、半導体多層膜１５０は例えば、ｎ型$Al_{0.9}Ga_{0.1}As$層とｎ型$Al_{0.15}Ga_{0.85}As$層とを交互に積層した４０ペアの第１ミラー１０２、ＧａＡｓウエル層と$Al_{0.3}Ga_{0.7}As$バリア層からなり、ウエル層が３層で構成される量子井戸構造を含む活性層１０３、ｐ型$Al_{0.9}Ga_{0.1}As$層とｐ型$Al_{0.15}Ga_{0.85}As$層とを交互に積層した５ペアの第１領域１０４ａおよび２０ペアの第２領域１０４ｂからなる第２ミラー１０４、ｎ型ＧａＡｓからなる第１コンタクト層１１１、不純物がドーピングされていないＧａＡｓからなる光吸収層１１２、およびｐ型ＧａＡｓからなる第２コンタクト層１１３からなる。これらの層を順に半導体基板１０１上に積層させることにより、半導体多層膜１５０が形成される（図３参照）。

【００５２】

なお、第２ミラー１０４を成長させる際に、活性層１０３近傍の少なくとも１層がＡｌＡｓ層またはＡｌ組成が０．９５以上のＡｌＧａＡｓ層に形成される。この層は後に酸化され、電流狭窄層１０５となる（図７参照）。また、後の工程において第２電極１０９が形成された際に、第２ミラー１０４の第１領域１０４ａのうち少なくとも第２電極１０９と接する部分の近傍は、キャリア密度を高くすることにより、第２電極１０９とのオーム性接触をとりやすくしておくのが望ましい。同様に、第１コンタクト層１１１のうち少なくとも第３電極１１６と接する部分の近傍、ならびに第２コンタクト層１１３のうち少なくとも第４電極１１０と接する部分の近傍は、キャリア密度を高くすることにより、それ

ぞれ第３電極１１６および第４電極１１０とのオーム性接触をとりやすくしておくのが望ましい。

【００５３】

エピタキシャル成長を行なう際の温度は、成長方法や原料、半導体基板１０１の種類、あるいは形成する半導体多層膜１５０の種類、厚さ、およびキャリア密度によって適宜決定されるが、一般に、４５０℃～８００℃であるのが好ましい。また、エピタキシャル成長を行なう際の所要時間も、温度と同様に適宜決定される。また、エピタキシャル成長させる方法としては、有機金属気相成長（ＭＯＶＰＥ：Ｍｅｔａｌ－Ｏｒｇａｎｉｃ Ｖａｐｏｒ Ｐｈａｓｅ Ｅｐｉｔａｘｙ）法や、ＭＢＥ法（Ｍｏｌｅｃｕｌａｒ Ｂｅａｍ Ｅｐｉｔａｘｙ）法、あるいはＬＰＥ法（Ｌｉｑｕｉｄ Ｐｈａｓｅ Ｅｐｉｔａｘｙ）を用いることができる。

【００５４】

（２）次に、第２コンタクト層１１３および光吸収層１１２を所定の形状にパターニングする（図４参照）。

【００５５】

まず、半導体多層膜１５０上にフォトレジスト（図示せず）を塗布した後、フォトリソグラフィ法により該フォトレジストをパターニングすることにより、所定のパターンのレジスト層Ｒ１が形成される。

【００５６】

ついで、レジスト層Ｒ１をマスクとして、例えばドライエッチング法により、第２コンタクト層１１３および光吸収層１１２をエッチングする。これにより、第２コンタクト層１１３と、第２コンタクト層１１３と同じ平面形状を有する光吸収層１１２とが形成される。その後、レジスト層Ｒ１が除去される。

【００５７】

（３）次いで、第１コンタクト層１１１および第２ミラー１０４の第２領域１０４ｂを所定の形状にパターニングする（図５参照）。具体的には、まず、第１コンタクト層１１１および第３コンタクト層１１３上にフォトレジスト（図示せず）を塗布した後、フォトリソグラフィ法により該フォトレジストをパターニングすることにより、所定のパターンのレジスト層Ｒ２が形成される（図５参照）。

【００５８】

次いで、レジスト層Ｒ２をマスクとして、例えばドライエッチング法により、第１コンタクト層１１１および第２ミラー１０４の第２領域１０４ｂをエッチングする。以上の工程により、図５に示すように、光検出部１２０が形成される。この光検出部１２０は、第２コンタクト層１１３、光吸収層１１２および第１コンタクト層１１１を含む。また、第１コンタクト層１１１の平面形状は、第２コンタクト層１１３および光吸収層１１２の平面形状よりも大きく形成することができる。その後、レジスト層Ｒ２が除去される。

【００５９】

なお、上記工程では、第２コンタクト層１１３および光吸収層１１２をパターニングした後、第１コンタクト層１１１をパターニングする場合について説明したが、第１コンタクト層１１１をパターニングした後、第２コンタクト層１１３および光吸収層１１２をパターニングして光検出部１２０を形成してもよい。

【００６０】

（４）次いで、パターニングにより、柱状部１３０を含む発光素子部１４０が形成される（図６参照）。具体的には、まず、第２ミラー１０４の第１領域１０４ａおよび光検出部１２０上にフォトレジスト（図示せず）を塗布した後、フォトリソグラフィ法により該フォトレジストをパターニングすることにより、所定のパターンのレジスト層Ｒ３が形成される（図６参照）。

【００６１】

次いで、レジスト層Ｒ３をマスクとして、例えばドライエッチング法により、第２ミラー１０４の第１領域１０４ａ、活性層１０３、および第１ミラー１０２の一部をエッチン

グする。これにより、図６に示すように、柱状部１３０が形成される。以上の工程により、半導体基板１０１上に、柱状部１３０を含む共振器（発光素子部１４０）が形成される。すなわち、光検出部１２０と発光素子部１４０との積層体が形成される。その後、レジスト層Ｒ３が除去される。

【００６２】

なお、本実施の形態においては前述したように、光検出部１２０をまず形成した後に柱状部１３０を形成する場合について説明したが、柱状部１３０を形成した後に光検出部１２０を形成してもよい。

【００６３】

（５）続いて、例えば４００℃程度の水蒸気雰囲気中に、上記工程によって発光素子部１４０および光検出部１２０が形成された半導体基板１０１を投入することにより、前述の工程によって第２ミラー１０４の第１領域１０４ａ中に設けられたＡｌ組成が高い層を側面から酸化して、電流狭窄層１０５が形成される（図７参照）。

【００６４】

酸化レートは、炉の温度、水蒸気の供給量、酸化すべき層（前記Ａｌ組成が高い層）のＡｌ組成および膜厚に依存する。酸化により形成される電流狭窄層を備えた面発光レーザでは、駆動する際に、電流狭窄層が形成されていない部分（酸化されていない部分）のみに電流が流れる。したがって、酸化によって電流狭窄層を形成する工程において、形成する電流狭窄層１０５の範囲を制御することにより、電流密度の制御が可能となる。

【００６５】

また、発光素子部１４０から出射する光の大部分が第１コンタクト層１１１に入射するように、電流狭窄層１０５の径を調整することが望ましい。

【００６６】

（６）次いで、第２ミラー１０４の第１領域１０４ａの上面１０４ｘ上に第２電極１０９が形成され、光検出部１２０の上面（第２コンタクト層１１３の上面１１３ａ）上に第４電極１１０が形成される（図８参照）。

【００６７】

まず、第２電極１０９および第４電極１１０を形成する前に、必要に応じて、プラズマ処理法等を用いて、第１領域１０４ａの上面１０４ｘおよび第２コンタクト層１１３の上面１１３ａを洗浄する。これにより、より安定した特性の素子を形成することができる。

【００６８】

次いで、例えば真空蒸着法により、例えばＰｔ、ＴｉおよびＡｕの積層膜（図示せず）を形成する。次いで、リフトオフ法により、所定の位置以外の積層膜を除去することにより、第２電極１０９および第４電極１１０が形成される。この際、第２コンタクト層１１３の上面１１３ａに、前記積層膜が形成されていない部分が形成される。この部分が開口部１１４となり、開口部１１４の底面が出射面１０８となる。なお、上記工程において、リフトオフ法のかわりにドライエッチング法を用いることもできる。また、前記工程においては、第２電極１０９および第４電極１１０を同時にパターニングしているが、第２電極１０９および第４電極１１０を個々に形成してもかまわない。

【００６９】

（７）次に、同様の方法で、例えばＡｕとＧｅの合金とＡｕとの積層膜をパターニングすることで、発光素子部１４０の第１ミラー１０２上に第１電極１０７が形成され、光検出部１２０の第１コンタクト層１１１上に第３電極１１６が形成される（図１参照）。次いで、アニール処理を行なう。アニール処理の温度は電極材料に依存する。本実施形態で用いる電極材料の場合は、通常４００℃前後で行なう。以上の工程により、第１電極１０７および第３電極１１６が形成される（図１参照）。ここで、第１電極１０７および第３電極１１６を同時にパターニングして形成してもよいし、あるいは第１電極１０７および第３電極１１６を個々に形成してもかまわない。

【００７０】

以上の工程により、発光素子部１４０および光検出部１２０を含む面発光レーザ１００

が得られる（図１参照）。

【００７１】

４．作用効果

以下、本実施の形態に係る面発光レーザ１００の作用効果について説明する。

【００７２】

（１）作用効果１

まず、本実施の形態に係る面発光レーザ１００の作用効果について説明する前に、公知の面発光レーザ９００の構造について説明する。

【００７３】

（Ａ）公知の面発光レーザ

図２３は公知の面発光レーザ９００を模式的に示す断面図である。図２３に示す面発光レーザ９００は、発光素子部９４０および光検出部９２０を含む。発光素子部９４０は半導体基板９０１上に設けられ、ｎ型の第１ミラー９０２、活性層９０３、およびｐ型の第２ミラー９０４がこの順に積層されて構成される。光検出部９２０は発光素子部９４０上に設けられ、ｎ型の第１コンタクト層９１１、不純物が導入されていない光吸収層９１２、およびｐ型の第２コンタクト層９１３が順に積層されている。さらに、発光素子部９４０を駆動させるための第１電極９０７および第２電極９０９が設けられ、光検出部９２０を駆動させるための第３電極９１６および第４電極９１０が設けられている。

【００７４】

また、発光素子部９４０および光検出部１２０の間には、絶縁層９１５が設けられている。この絶縁層９１５は例えば、酸化アルミニウムを含む層からなる。Ａｌを含む層を側面から酸化することによって形成される。このような絶縁層９１５を含む面発光レーザ９００は、例えば特表２００２－５０４７５４号公報や特開２０００－１８３４４４号公報に開示されている。

【００７５】

この面発光レーザ９００においては、発光素子部９４０を駆動させるために、第１電極９０７と第２電極９０９との間に電圧を印加する。一方、光検出部９２０を駆動させるために、第３電極９１６と第４電極９１０との間にも所定の電圧を印加する。

【００７６】

一方、絶縁層９１５はＡｌを含む層（図示せず）を酸化して得られる。この方法により絶縁層９１５を形成する場合、酸化前のＡｌを含む層は、酸化時に酸素が層内にスムーズに入り込んで酸化が容易に進行するよう「疎」に形成されている。このため、酸化により得られた絶縁層９１５もまた「疎」であるため、信頼性が低く機械的強度が小さい。よって、信頼性および機械的強度を確保するためには、絶縁層９１５は膜厚を小さく形成せざるを得ない。しかしながら、発光素子部９４０および光検出部９２０の間に、膜厚が小さな絶縁層９１５が設けられていると、発光素子部９４０と光検出部９２０との間に大きな寄生容量が発生する。この寄生容量の発生は高速駆動の妨げとなる。

【００７７】

（Ｂ）本実施の形態の面発光レーザ

これに対して、本実施の形態の面発光レーザ１００によれば、第２ミラー１０４が第１領域１０４ａおよび第２領域１０４ｂからなり、第２領域１０４ｂが光検出部１２０に接し、第２領域１０４ｂが第１領域１０４ａよりも高抵抗である。また、この第２領域１０４ｂは通常のエピタキシャル成長により形成することができる。これにより、第２領域１０４ｂの膜厚を大きく形成することができる。その結果、発光素子部１４０と光検出部１２０との間に生じる寄生容量を小さくすることができる。

【００７８】

さらに、第２領域１０４ｂは通常のミラーと同様に、エピタキシャル成長により形成することができる。これにより、公知の面発光レーザ９００において、Ａｌを含む層を酸化して得られた絶縁層９１５と比較して、本実施の形態の面発光レーザ１００は信頼性および機械的強度に優れている。

【００７９】
（２）作用効果２
また、本実施の形態の面発光レーザ１００によれば、発光素子部１４０の第１電極１０７および第２電極１０９のいずれか一方と、光検出部１２０の第３電極１１６および第４電極１１０のいずれか一方とを電極接合部にて電気的に接続することにより、３端子構造とすることができる。
【００８０】
面発光レーザ１００が３端子構造を有する場合における前記電極の接続方法を図９（ａ）～図９（ｄ）に示す。また、図９（ａ）～図９（ｄ）に示す電極の接続方法を実現するための電極接続構造をそれぞれ、図１０および図１４～図１６に平面図として模式的に示す。さらに、図１０に示す平面図をＡ－Ａ線、Ｂ－Ｂ線、Ｃ－Ｃ線に沿って切断した断面をそれぞれ図１１～図１３に示す。
【００８１】
発光素子部１４０の第１電極１０７および第２電極１０９のいずれか一方と、光検出部１２０の第３電極１１６および第４電極１１０のいずれか一方とを電気的に接続する方法は４通りあり、それぞれ図９（ａ）～図９（ｄ）に接続方法１～４として示されている。この図９（ａ）～図９（ｄ）にはそれぞれ、電極接合部１６０ａ～１６０ｄが示されている。
【００８２】
（Ａ）接続方法１
接続方法１においては、図９（ａ）ならびに図１０～図１３に示すように、発光素子部１４０の第２電極１０９と、光検出部１２０の第３電極１１６とが電極接合部１６０ａにて電気的に接続されている。より具体的には、図１２および図１３に示すように、面発光レーザ１００から電極パッド（図示せず）に至るまでの間に電極接合部１６０ａが設けられ、この電極接合部１６０ａにて第２電極１０９と第３電極１１６とが電気的に接続されている。すなわち、電極接続部１６０ａにおいては、第３電極１１６上に第２電極１０９が設けられている。
【００８３】
第３電極１１６は光検出部１２０の第１コンタクト層１１１上から絶縁層１０６ｂ上にかけて形成されており、第２電極１０９は第２ミラー１０４の第１領域１０４ａ上から絶縁層１０６ａ上を経て絶縁層１０６ｂ上および第２電極１０９上にかけて形成されている。なお、絶縁層１０６ａ，１０６ｂ，１０６ｃは一括して形成してもよいし、それぞれ形成してもよい。このことは、後述する接続方法２～４でも同様である。また、接続方法２～４については断面図の図示を省略するが、以下に言及する電極以外の部分については、図１０～図１３に示す面発光レーザ１００と同様の層構造を有する。
【００８４】
（Ｂ）接続方法２
接続方法２においては、図１４に示すように、発光素子部１４０の第２電極１０９と、光検出部１２０の第４電極１１０とが、電極接合部１６０ｂにて電気的に接続されている。この電極接合部１６０ｂは、面発光レーザ１００から電極パッド（図示せず）に至るまでの間に設けられている。電極接続部１６０ｂにおいては、第４電極１１０上に第２電極１０９が設けられている。
【００８５】
第４電極１１０は第２コンタクト層１１３上から絶縁層１０６ｃ上にかけて形成されており、第２電極１０９は第２ミラー１０４の第１領域１０４ａ上から絶縁層１０６ｃ上を経て第４電極１１０上にかけて形成されている。
【００８６】
（Ｃ）接続方法３
接続方法３においては、図１５に示すように、発光素子部１４０の第１電極１０７と、光検出部１２０の第４電極１１０とが、電極接合部１６０ｃにて電気的に接続されている

。この電極接合部１６０ｃは、面発光レーザ１００から電極パッド（図示せず）に至るまでの間であって、発光素子部１４０および光検出部１２０を除く領域に設けられている。電極接続部１６０ｃにおいては、第４電極１１０上に第１電極１０７が設けられている。

【００８７】

第４電極１１０は第２コンタクト層１１３上から絶縁層１０６ｃ上にかけて形成されており、第１電極１０７は第１ミラー１０２上から絶縁層１０６ｃ上を経て第４電極１１０上まで形成されている。

【００８８】

（Ｄ）接続方法４

接続方法４においては、図１６に示すように、発光素子部１４０の第１電極１０７と、光検出部１２０の第３電極１１６とが、電極接合部１６０ｄにて電気的に接続されている。この電極接合部１６０ｄは、面発光レーザ１００から電極パッド（図示せず）に至るまでの間に設けられている。電極接続部１６０ｃにおいては、第３電極１１６上に第１電極１０７が設けられている。

【００８９】

第３電極１１６は第１コンタクト層１１１上から絶縁層１０６ｂ上にかけて形成されており、第１電極１０７は第１ミラー１０２上から絶縁層１０６ｂ上を経て第３電極１１６上まで形成されている。

【００９０】

（Ｅ）作用効果

接続方法１においては、図９（ａ）に示すように、発光素子部１４０の第２電極１０９と、光検出部１２０の第３電極１１６とが電気的に接続されている。この場合、第２電極１０９と第３電極１１６との間には電位差が生じないため、発光素子部１４０と光検出部１２０との間には寄生容量が発生しない。

【００９１】

一方、接続方法２においては、図９（ｂ）に示すように、発光素子部１４０の第２電極１０９と、光検出部１２０の第４電極１１０とが電気的に接続されている。この場合、第２電極１０９と第４電極１１０との間に電位差が生じる結果、寄生容量C_pが発生する。ここで、発光素子部１４０と光検出部１２０との間に「絶縁性が高い層」が形成されている場合、発生する寄生容量C_pが大きい。すなわち、この「絶縁性が高い層」の膜厚が小さいほど、発生する寄生容量C_pは大きくなる。

【００９２】

また、接続方法３および４においても同様に、第１電極１０７と第４電極１１０との間、ならびに第１電極１０７と第３電極１１６との間に電位差が生じる場合、寄生容量C_pが発生する。

【００９３】

例えば、図２３に示す公知の面発光レーザ９００の場合、発光素子部９４０と光検出部１２０との間に絶縁層９１５が設けられている。この絶縁層９１５は前述したように、Ａｌを含む層を酸化することにより形成される。前述したように、Ａｌを含む層を酸化することにより形成された絶縁層９１５は機械的強度が小さい。特に、絶縁層９１５の膜厚を厚く形成しようとすると、面発光レーザ１００の機械的強度が低下する。このため、絶縁層９１５はある程度薄く形成せざるを得ない。しかしながら、絶縁層９１５の膜厚が小さいと、発光素子部９４０と光検出部１２０との間に発生する寄生容量C_pが大きくなる。

【００９４】

これに対して、本実施の形態の面発光レーザ１００によれば、発光素子部１４０の第２ミラー１０４中の第２領域１０４ｂが第１領域１０４ａよりも高抵抗であり、この第２領域１０４ｂは光検出部１２０に接している。したがって、この第２領域１０４ｂは上述の接続方法２～４において、発光素子部１４０と光検出部１２０との間に設けられた「絶縁性が高い層」に相当する。しかしながら、この第２領域１０４ｂは第２ミラー１０４の一

部であるため、この第２領域１０４ｂは通常のエピタキシャル成長によって形成することができる。このため、第２領域１０４ｂは膜厚を大きく形成することができる。すなわち、発光素子部１４０と光検出部１２０との間に設けられた「絶縁性が高い層」である第２領域１０４ｂの膜厚を大きく形成することができる。これにより、上述の接続方法２～４において、発生する寄生容量C_pを抑制することができるため、面発光レーザ１００を高速駆動させることができる。

【００９５】

また、以上に説明したように、本実施の形態の面発光レーザ１００によれば、接続方法１～４のいずれも適用することができる。これにより、面発光レーザ１００の積層構造を変えることなく、各電極の接続方法を変えることができるため、構造に自由度があり、かつ高速駆動が可能な、３端子構造の面発光レーザ１００を得ることができる。また、電極形成工程以外の製造工程を変えることなく、各電極間の接続方法が異なる３端子構造の面発光レーザ１００を得ることができる。

【００９６】

（３）作用効果３

さらに、本実施の形態の面発光レーザ１００によれば、第２ミラー１０４は活性層１０３上に設けられ、第２ミラー１０４において第２領域１０４ｂは第１領域１０４ａ上に設けられている。また、発光素子部１４０を駆動させるための第１電極１０７および第２電極１０９を含み、第２電極１０９が第２ミラー１０４の第１領域１０４ａに接している。すなわち、活性層１０３のより近傍に第２電極１０９が設けられているため、活性層１０３に効率的に電圧を印加することができる。

【００９７】

加えて、第２領域１０４ｂは第１領域１０４ａ上に設けられ、第２電極１０９は第１領域１０４ａ上に設けられていることにより、第２領域１０４ｂには電流が流れない。すなわち、第２領域１０４ｂ内ではキャリアが移動せず、第１領域１０４ａ内のみをキャリアが移動する。したがって、キャリアがより少ないヘテロジャンクションを経由して面発光レーザ１００内を移動することができるため、より低抵抗の面発光レーザ１００を得ることができる。

【００９８】

また、一般的な面発光レーザでは、ミラー内の抵抗を下げるためにミラー内に不純物が添加される。この不純物の添加により、光の吸収錯乱が起こり、発光効率が低下することがある。これに対して、本実施の形態の面発光レーザ１００によれば、第２ミラー１０４の第２領域１０４ｂは第１領域１０４ａと比較して、第１領域１０４ａと同じ導電型の不純物の濃度が低いかあるいは同じ導電型の不純物が添加されていない。このため、第２領域１０４ｂは第１領域１０４ａよりも高抵抗である。これにより、上述した不純物の添加による課題を解決することができる。

【００９９】

［第２の実施の形態］

１．光素子の構造

図１７は、本発明を適用した第２の実施の形態に係る面発光レーザ２００を模式的に示す断面図である。図１８は、図１７に示す面発光レーザ１００を模式的に示す平面図である。

【０１００】

本実施の形態の面発光レーザ２００においては、第２ミラー１０４の第２領域１０４ｂに反射層３０５が設けられている点で、第１の実施の形態の面発光レーザ１００とは異なる構成を有する。上記の点以外は第１の実施の形態の面発光レーザ１００の構造と同様である。したがって、第１の実施の形態の面発光レーザ１００と同様の構成要素については、同じ符号を付して詳しい説明を省略する。

【０１０１】

反射層３０５は自然放出光を反射する機能を有する。この反射層３０５は例えば、電流

狭窄層１０５と同じ材質（酸化アルミニウムを含む層）を用いて形成することができる。この場合、電流狭窄層１０５と同様の工程にて反射層３０５を形成することができる。すなわち、第２ミラー１０４の第２領域１０４ｂにあらかじめＡｌ組成が高い層（図示せず）を形成しておき、側面からこの層を酸化することにより、反射層３０５を形成することができる。

【０１０２】

酸化アルミニウム（ＡｌＯｘ）層は通常、屈折率が周囲の半導体層より低い誘電体層である。酸化アルミニウム層の屈折率はほぼ１．６であり、半導体層の屈折率は通常２．９～３．５である。

【０１０３】

また、反射層３０５の膜厚は、発光素子部１４０にて生じるレーザ光の波長のｎ／４（ｎは自然数）に設定できる。これにより、前記レーザ光のモードの反射を大きくすることができる。

【０１０４】

２．光素子の動作

本実施の形態の面発光レーザ２００の基本的な動作は、第１の実施の形態の面発光レーザ１００と同様であるため、詳しい説明は省略する。

【０１０５】

３．作用効果

本実施の形態に係る面発光レーザ２００は、第１の実施の形態に係る面発光レーザ１００と実質的に同じ作用効果を有する。

【０１０６】

加えて、本実施の形態に係る面発光レーザ２００によれば、光検出部１２０は発光素子部１４０の光出力を検知する機能を有する。したがって、発光素子部１４０で生じたレーザ光以外の光が光検出部１２０に入射すると、発光素子部１４０で生じた光の出力を正しく検知できないおそれがある。しかしながら、本実施の形態の面発光レーザ２００によれば、第２ミラー１０４の第２領域１０４ｂに反射層３０５が設けられていることにより、自然放出光が光検出部１２０に入射するのを防止することができる。その結果、発光素子部１４０で生じたレーザ光のみを光検出部１２０に入射させることができるため、光検出部１２０において発光素子部１４０で生じた光の出力をより正確に検知することができる。

【０１０７】

また、例えば、光検出部内に反射層が設けられていると、この反射層によって光検出部の効率が低下することがある。これに対して、本実施の形態に係る面発光レーザ２００によれば、反射層３０５が光検出部１２０内ではなく第２ミラー１０４の第２領域１０４ｂに設けられていることにより、反射層３０５の存在によって光検出部１２０の効率を低下させることがない。

【０１０８】

さらに、この第２領域１０４ｂには電流が流れない。よって、反射層３０５が第２ミラー１０４の第２領域１０４ｂに設けられていることにより、電流経路と関係なく反射層３０５を設置することができる。すなわち、反射層３０５を設置することによって電流経路に影響を与えることはない。したがって、反射層３０５を設けることにより、発光素子部１４０の特性が変化することがない。

【０１０９】

加えて、反射層３０５は、通常用いられているミラーの設計を適用して形成できるため、新たな製造工程を必要としない。

【０１１０】

［第３の実施の形態］

１．光素子の構造

図１９は、本発明を適用した第３の実施の形態に係る面発光レーザ３００を模式的に示

す断面図である。

【０１１１】

本実施の形態に係る面発光レーザ３００は、光検出部２２０および発光素子部２４０がこの順に半導体基板２０１上に積層されている点で、第１の実施の形態の面発光レーザ１００とは異なる構成を有する。なお、本実施の形態の面発光レーザ３００において、第１の実施の形態に係る面発光レーザ１００の構成要素「１ＸＸ」と類似する構成要素を「２ＸＸ」と示す。すなわち、「２ＸＸ」は、第１の実施の形態の面発光レーザ１００の「１ＸＸ」と同様の構成要素を表しており、基本的に同様の材質からなるため、その詳細な説明については省略するものとする。

【０１１２】

本実施の形態の面発光レーザ３００は、半導体基板２０１上に設けられた光検出部２２０と、光検出部２２０上に設けられた発光素子部２４０とを含む。この面発光レーザ３００は、発光素子部２４０にて生じた光を出射面２０８から出射する。

【０１１３】

光検出部２２０は、第２コンタクト層２１３と、光吸収層２１２と、第１コンタクト層２１１とを含む。ｐ型の第２コンタクト層２１３、光吸収層２１２、およびｎ型の第１コンタクト層２１１はこの順に、ｐ型ＧａＡｓからなる半導体基板２０１上に積層されている。第２コンタクト層２１３、光吸収層２１２、および第１コンタクト層２１１はそれぞれ、第１の実施の形態の第２コンタクト層１１３、光吸収層１１２、および第１コンタクト層１１１と同じ材質から形成することができる。

【０１１４】

発光素子部２４０は、第２ミラー２０４と、活性層２０３と、第１ミラー２０２とを含む。第２ミラー２０４は第１領域２０４ａおよび第２領域２０４ｂからなる。第２領域２０４ｂは光検出部２２０に接しており、かつ、第１領域２０４ａよりも高抵抗である。第２ミラー２０４のｐ型第１領域２０４ａおよび第２領域２０４ｂ、活性層２０３、およびｎ型の第１ミラー２０２はこの順に光検出部２２０上に積層されている。第２ミラー２０４の第１領域２０４ａおよび第２領域２０４ｂ、活性層２０３、ならびに第１ミラー２０２は、第１の実施の形態の第２ミラー１０４の第１領域１０４ａおよび第２領域１０４ｂ、活性層１０３、ならびに第１ミラー１０２と同じ材質から形成することができる。また、第２ミラー２０４には、第１の実施の形態の第２ミラー１０４と同様に、電流狭窄層２０５が設けられている。

【０１１５】

本実施の形態の面発光レーザ３００はまた、第１電極２０７、第２電極２０９、第３電極２１６、および第４電極２１０を含む。第１電極２０７および第２電極２０９は発光素子部２４０を駆動させるために用いられる。また、第３電極２１６および第４電極２１０は光検出部２２０を駆動させるために用いられる。

【０１１６】

第１電極２０７は第１ミラー２０２上に設けられている。第２電極２０９は第２ミラー２０４の第１領域２０４ａと接している。第３電極２１６は第１コンタクト層２１１上に設けられている。第４電極２１０は第２コンタクト層２１３上に設けられている。第２電極２０９、第３電極２１６、および第４電極２１０はリング状の平面形状を有することができる。この場合、第２電極２０９は発光素子部２４０を取り囲むように設けられ、第３電極２１６は発光素子部２４０ならびに第２ミラー２０４の第１領域２０４ａを取り囲むように設けられ、第４電極２１０は第１コンタクト層２１１および光吸収層２１２を取り囲むように設けられている。

【０１１７】

また、本実施の形態の面発光レーザ３００において、光検出部２２０の一部が半導体基板２０１と接している面を上面（面２０１ａ）、発光素子部２４０と接している側を下面（面２０１ｂ）とした場合、光検出部２２０の上面（面２０１ａ）に出射面２０８が設けられている。より具体的には、面発光レーザ３００において、半導体基板２０１を貫通す

る開口部２１４が半導体基板２０１に設けられており、この開口部２１４の底面が出射面２０８となっている。

【０１１８】

２．光素子の動作

本実施の形態の面発光レーザ３００は、半導体基板２０１上での発光素子部２４０および光検出部２２０の積層順が、第１の実施の形態の面発光レーザ１００と逆である。しかしながら、本実施の形態の面発光レーザ３００の基本的な動作は、第１の実施の形態の面発光レーザ１００と同様であるため、詳しい説明は省略する。

【０１１９】

すなわち、本実施の形態の面発光レーザ３００においては、発光素子部２４０でレーザ光が生じた後、このレーザ光が光検出部２２０を通過して出射面２０８から出射する。ここで、発光素子部２４０で生じたレーザ光の一部が光検出部２２０の光吸収層２１２によって吸収されて、電流へと変換されることにより、発光素子部２４０で生じた光出力が検知される。

【０１２０】

３．作用効果

本実施の形態に係る面発光レーザ３００は、第１の実施の形態に係る面発光レーザ１００と実質的に同じ作用および効果を有する。

【０１２１】

［第４の実施の形態］

図２０は、本発明を適用した第４の実施の形態の光モジュール５００を模式的に示す図である。この光モジュール５００は、第１の実施の形態の面発光型半導体レーザ１００（図１参照）と、半導体チップ２０と、光ファイバ３０とを含む。なお、本実施の形態の光モジュール５００において、第１の実施の形態の面発光型半導体レーザ１００のかわりに、上述した他の実施形態の面発光型半導体レーザを用いた場合でも、同様の作用および効果を奏することができる。このことは、後述する第５および第６の実施形態においても同様である。

【０１２２】

１．光モジュールの構造

面発光型半導体レーザ１００は、光ファイバ３０の端面３０ａから出射される光を吸収する。この面発光型半導体レーザ１００は、光ファイバ３０の端面３０ａとの相対的な位置が固定された状態となっている。具体的には、面発光型半導体レーザ１００の出射面１０８が光ファイバ３０の端面３０ａと対向している。

【０１２３】

半導体チップ２０は、面発光型半導体レーザ１００を駆動するために設置されている。すなわち、半導体チップ２０には、面発光型半導体レーザ１００を駆動するための回路が内蔵されている。半導体チップ２０には、内部の回路に電気的に接続された複数の電極（またはパッド）２２が形成されている。電極２２が形成された面に、少なくとも一つの電極２２と電気的に接続した配線パターン２４，６４が形成されることが好ましい。

【０１２４】

半導体チップ２０と面発光型半導体レーザ１００とは電気的に接続されている。例えば、配線パターン１４と、半導体チップ２０上に形成された配線パターン２４とがハンダ２６を介して電気的に接続されている。この配線パターン１４は、面発光型半導体レーザ１００の第１電極１０７（図２０では図示せず）と電気的に接続されている。また、配線パターン３４と、半導体チップ２０上に形成された配線パターン６４とがハンダ２６を介して電気的に接続されている。この配線パターン３４は、面発光型半導体レーザ１００の第１電極１０７（図２０では図示せず）と電気的に接続されている。また、面発光型半導体レーザ１００の第３電極１１６および第４電極１１０（図２０では図示せず）は、図示しない配線パターンと電気的に接続されている。

【０１２５】

面発光型半導体レーザ１００は、半導体チップ２０に対してフェースダウン実装させることができる。こうすることで、ハンダ２６によって、電気的な接続を行えるのみならず、面発光型半導体レーザ１００と半導体チップ２０とを固定することができる。なお、配線パターン１４と配線パターン２４との接続、ならびに配線パターン３４と配線パターン６４との接続には、ワイヤを使用したり、導電ペーストを用いてもよい。

【０１２６】

面発光型半導体レーザ１００と半導体チップ２０との間に、アンダーフィル材４０を設けてもよい。アンダーフィル材４０が面発光型半導体レーザ１００の出射面１０８を覆うときには、アンダーフィル材４０は透明であることが好ましい。アンダーフィル材４０は、面発光型半導体レーザ１００と半導体チップ２０との電気的な接続部分を覆って保護するとともに、面発光型半導体レーザ１００および半導体チップ２０の表面も保護する。さらに、アンダーフィル材４０は、面発光型半導体レーザ１００および半導体チップ２０の接合状態を保持する。

【０１２７】

半導体チップ２０には、穴（例えば貫通穴）２８が形成されていてもよい。穴２８には光ファイバ３０が挿入される。穴２８は、内部の回路を避けて、電極２２が形成された面からその反対側の面に至るまで形成されている。穴２８の少なくとも一方の開口端部には、テーパ２９が形成されていることが好ましい。テーパ２９を形成することで、穴２８に光ファイバ３０を挿入しやすくなる。

【０１２８】

半導体チップ２０は、基板４２に取り付けられていてもよい。より具体的には、半導体チップ２０は、接着剤４４を介して基板４２に貼り付けられていてもよい。基板４２には、穴４６が形成されている。穴４６は、半導体チップ２０の穴２８と連通する位置に形成されている。半導体チップ２０と基板４２とを接着する接着剤４４は、２つの穴２８、４６の連通を妨げないように、これらを塞がないように設けられる。基板４２の穴４６は、半導体チップ２０とは反対側の方向に内径が大きくなるように、テーパが付された形状になっている。これにより、光ファイバ３０を挿入しやすくなっている。

【０１２９】

基板４２は、樹脂、ガラスまたはセラミックなどの絶縁性を有する材料から形成されてもよいが、金属などの導電性を有する材料から形成されてもよい。基板４２が導電性の材料からなるときには、少なくとも半導体チップ２０が取り付けられる面に絶縁膜４３を形成することが好ましい。なお、以下の実施の形態でも、基板４２として同様の材料を用いることができる。

【０１３０】

また、基板４２は、高い熱伝導性を有することが好ましい。これによれば、基板４２が、面発光型半導体レーザ１００および半導体チップ２０の少なくとも一方の熱の発散を促進する。この場合、基板４２はヒートシンクまたはヒートスプレッダである。本実施の形態では、半導体チップ２０が基板４２に接着されているので、直接的には半導体チップ２０を冷却することができる。なお、半導体チップ２０と基板４２とを接着する接着剤４４は、熱伝導性を有することが好ましい。さらに、半導体チップ２０が冷却されるので、半導体チップ２０に接合された面発光型半導体レーザ１００も冷却される。

【０１３１】

基板４２には、配線パターン４８が設けられている。また、基板４２には、外部端子５０が設けられている。本実施の形態では、外部端子５０はリードである。基板４２に形成された配線パターン４８は、例えばワイヤ５２を介して、半導体チップ２０の電極２２、ならびに半導体チップ２０上に形成された配線パターン２４，６４のうち少なくとも１つと電気的に接続される。また、配線パターン４８は、外部端子５０と電気的に接続されてもよい。

【０１３２】

光ファイバ３０は、半導体チップ２０の穴２８に挿入されている。また、光ファイバ３

０は、基板４２の穴４６にも挿通されている。穴４６は、半導体チップ２０の穴２８に向けて徐々に内径が小さくなっており、半導体チップ２０とは反対側の面では、穴４６の開口の内径は、光ファイバ３０よりも大きくなっている。光ファイバ３０と穴４６の内面との間の隙間は、樹脂などの充填材５４で埋めることが好ましい。充填材５４は、光ファイバ３０を固定して抜け止めを図る機能も有する。

【０１３３】

この光ファイバ３０はシングルモードファイバであってもよいし、マルチモードファイバであってもよい。面発光型半導体レーザ１００がマルチモードの光を出射する場合、光ファイバ３０としてマルチモードファイバを使用することにより、面発光型半導体レーザ１００からの出射光を光ファイバ３０に確実に導入することができる。

【０１３４】

また、本実施の形態の光モジュール５００においては、面発光型半導体レーザ１００および半導体チップ２０が樹脂５６で封止されている。樹脂５６は、面発光型半導体レーザ１００と半導体チップ２０との電気的な接続部分や、半導体チップ２０と基板４２に形成された配線パターン４８との電気的な接続部分も封止する。

【０１３５】

［第５の実施の形態］

図２１は、本発明を適用した第５の実施の形態の光伝達装置を示す図である。光伝達装置９０は、コンピュータ、ディスプレイ、記憶装置、プリンタ等の電子機器９２を相互に接続するものである。電子機器９２は、情報通信機器であってもよい。光伝達装置９０は、ケーブル９４の両端にプラグ９６が設けられたものであってもよい。ケーブル９４は、光ファイバ３０（図２０参照）を含む。プラグ９６は、面発光型半導体レーザ１００および半導体チップ２０を内蔵する。なお、光ファイバ３０はケーブル９４に内蔵され、面発光型半導体レーザ１００および半導体チップ２０はプラグ９６に内蔵されているため、図２１には図示されていない。光ファイバ３０と面発光型半導体レーザ１００との取り付け状態は、第４の実施の形態にて説明した通りである。

【０１３６】

光ファイバ３０の一方の端部には、第１の実施の形態の面発光型半導体レーザ１００が設けられており、光ファイバ３０の他方の端部には、受光素子（図示せず）が設けられている。この受光素子は入力された光信号を電気信号に変換した後、この電気信号を一方の電子機器９２に入力する。一方、電子機器９２から出力された電気信号は、面発光型半導体レーザ１００によって光信号に変換される。この光信号は光ファイバ３０を伝わり、受光素子に入力される。

【０１３７】

以上説明したように、本実施の形態の光伝達装置９０によれば、光信号によって、電子機器９２間の情報伝達を行うことができる。

【０１３８】

［第６の実施の形態］

図２２は、本発明を適用した第６の実施の形態の光伝達装置の使用形態を示す図である。光伝達装置９０は、電子機器８０間に接続されている。電子機器８０として、液晶表示モニタまたはディジタル対応のＣＲＴ（金融、通信販売、医療、教育の分野で使用されることがある。）、液晶プロジェクタ、プラズマディスプレイパネル（ＰＤＰ）、ディジタルＴＶ、小売店のレジ（ＰＯＳ（Point of Sale Scanning）用）、ビデオ、チューナー、ゲーム装置、プリンタ等が挙げられる。

【０１３９】

本発明は、上述した実施の形態に限定されるものではなく、種々の変形が可能である。例えば、本発明は、実施の形態で説明した構成と実質的に同一の構成（例えば、機能、方法および結果が同一の構成、あるいは目的および結果が同一の構成）を含む。また、本発明は、実施の形態で説明した構成の本質的でない部分を置き換えた構成を含む。また、本発明は、実施の形態で説明した構成と同一の作用効果を奏する構成又は同一の目的を達成

することができる構成を含む。また、本発明は、実施の形態で説明した構成に公知技術を付加した構成を含む。

【０１４０】

例えば、上記実施の形態の面発光型半導体レーザでは、発光素子部が柱状部を一つ有する場合について説明したが、発光素子部に柱状部が複数個設けられていても本発明の形態は損なわれない。また、複数の面発光型半導体レーザがアレイ化されている場合でも、同様の作用および効果を有する。

【０１４１】

また、例えば、上記実施の形態において、各半導体層におけるｐ型とｎ型とを入れ替えても本発明の趣旨を逸脱するものではない。上記実施の形態では、ＡｌＧａＡｓ系のものについて説明したが、発振波長に応じてその他の材料系、例えば、ＧａＩｎＰ系、ＺｎＳＳｅ系、ＩｎＧａＮ系、ＡｌＧａＮ系、ＩｎＧａＡｓ系、ＧａＩｎＮＡｓ系、ＧａＡｓＳｂ系の半導体材料を用いることも可能である。なお、本発明の面発光型半導体レーザがＧａＡｓＳｂ系、ＩｎＧａＡｓ系、ＧａＩｎＮＡｓ系等の半導体材料を用いて形成されており、活性層において長波長のレーザ光を生じる場合、第２ミラーの第２領域に含まれる不純物の濃度を第１領域よりも少なくすることにより、第２ミラーの第２領域におけるオージェ非発光再結合を低減することができる。その結果、面発光型半導体レーザの発光効率を飛躍的に高めることができる。

【図面の簡単な説明】

【０１４２】

【図１】本発明の第１の実施の形態の面発光型半導体レーザを模式的に示す断面図である。

【図２】図１に示す面発光型半導体レーザを模式的に示す平面図である。

【図３】図１に示す面発光型半導体レーザの一製造工程を模式的に示す断面図である。

【図４】図１に示す面発光型半導体レーザの一製造工程を模式的に示す断面図である。

【図５】図１に示す面発光型半導体レーザの一製造工程を模式的に示す断面図である。

【図６】図１に示す面発光型半導体レーザの一製造工程を模式的に示す断面図である。

【図７】図１に示す面発光型半導体レーザの一製造工程を模式的に示す断面図である。

【図８】図１に示す面発光型半導体レーザの一製造工程を模式的に示す断面図である。

【図９】図９（ａ）～図９（ｄ）は、図１に示す面発光型半導体レーザの各電極の接続方法を模式的に示す図である。

【図１０】図９（ａ）に示す接続方法を用いた場合における、図１に示す面発光型半導体レーザの各電極構造を模式的に示す平面図である。

【図１１】図１１に示す面発光型半導体レーザのＡ－Ａ線に沿った断面を模式的に示す図である。

【図１２】図１１に示す面発光型半導体レーザのＢ－Ｂ線に沿った断面を模式的に示す図である。

【図１３】図１１に示す面発光型半導体レーザのＣ－Ｃ線に沿った断面を模式的に示す図である。

【図１４】図９（ｂ）に示す接続方法を用いた場合における、図１に示す面発光型半導体レーザの各電極構造を模式的に示す平面図である。

【図１５】図９（ｃ）に示す接続方法を用いた場合における、図１に示す面発光型半導体レーザの各電極構造を模式的に示す平面図である。

【図１６】図９（ｄ）に示す接続方法を用いた場合における、図１に示す面発光型半導体レーザの各電極構造を模式的に示す平面図である。

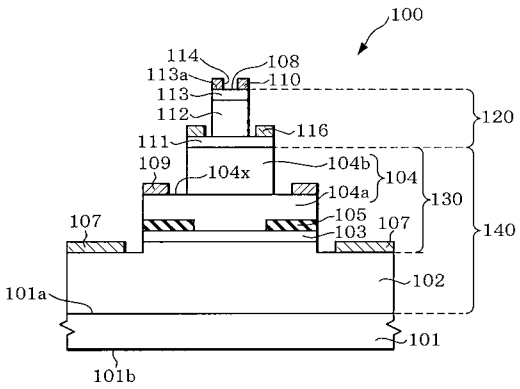
【図１７】本発明の第２の実施の形態の面発光型半導体レーザを模式的に示す断面図である。

【図１８】図１７に示す面発光型半導体レーザを模式的に示す平面図である。

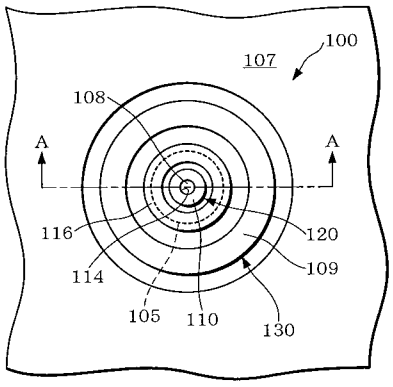
【図１９】本発明の第３の実施の形態の面発光型半導体レーザを模式的に示す断面図である。

【図２０】本発明の第４の実施の形態に係る光モジュールを模式的に示す図である。
【図２１】本発明の第５の実施の形態に係る光伝達装置を模式的に示す図である。
【図２２】本発明の第６の実施の形態に係る光伝達装置の使用形態を模式的に示す図である。
【図２３】公知の面発光型半導体レーザの一例を模式的に示す断面図である。
【符号の説明】
【０１４３】
１４，２４，３４，４８，６４　配線パターン、　２０　半導体チップ、　２６　ハンダ、　２８，４６　穴、　２９　テーパ、　３０　光ファイバ、　３０ａ　光ファイバの端面、　４０　アンダーフィル材、　４２　基板、　４３　絶縁膜、　４４　接着剤、　５０　外部端子、　５２　ワイヤ、　５４　充填材、　５６　樹脂、　８０，９２　電子機器、　９０　光伝達装置、　９４　ケーブル、　９６　プラグ、　１００，２００，３００　面発光型半導体レーザ、　１０１，２０１　半導体基板、　１０１ａ　半導体基板１０１の表面、　１０１ｂ　半導体基板１０１の裏面、　１０２，２０２　第１ミラー、　１０３，２０３　活性層、　１０４，２０４　第２ミラー、　１０４ａ，２０４ａ　第１領域、　１０４ｂ，２０４ｂ　第２領域、　１０４ｘ　第１領域１０４ａの上面、　１０５，２０５　電流狭窄層、　１０６ａ，１０６ｂ，１０６ｃ　絶縁層、　１０７，２０７　第１電極、　１０８，２０８　出射面、　１０９，２０９　第２電極、　１１０，２１０　第４電極、　１１１，２１１　第１コンタクト層、　１１２，２１２　光吸収層、　１１３，２１３　第２コンタクト層、　１１３ａ　第２コンタクト層１１３の上面、　１１４，２１４　開口部、　１１６，２１６　第３電極、　１２０，２２０　光検出部、　１３０　柱状部、　１４０，２４０　発光素子部、　１５０　半導体多層膜、　１６０ａ，１６０ｂ，１６０ｃ，１６０ｄ　電極接合部、　２０１ａ　半導体基板２０１の表面、　２０１ｂ　半導体基板２０１の裏面、　３０５　反射層、　５００　光モジュール、　Ｒ１，Ｒ２，Ｒ３　レジスト層

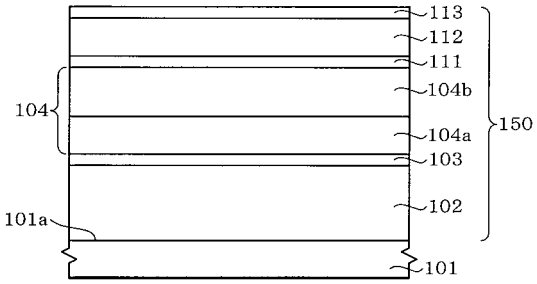
【図１】



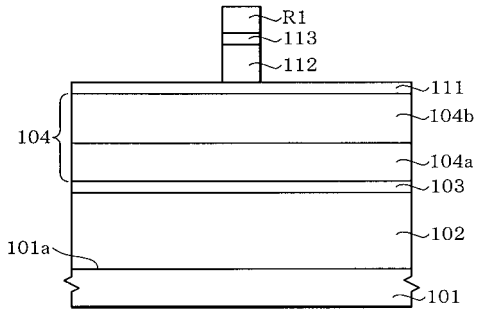
【図２】



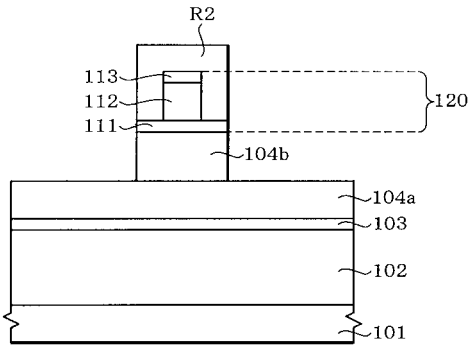
【図３】



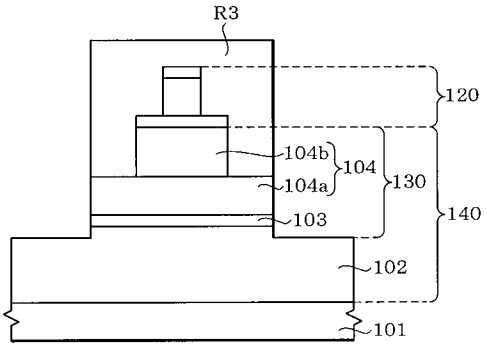
【図４】



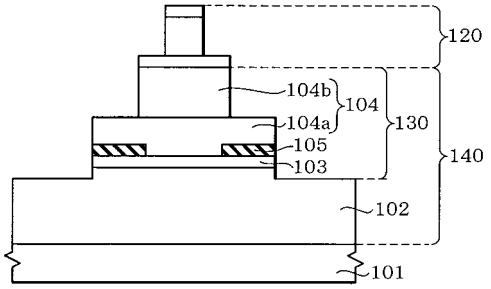
【図５】



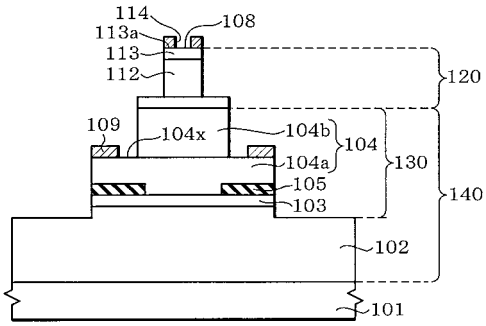
【図６】



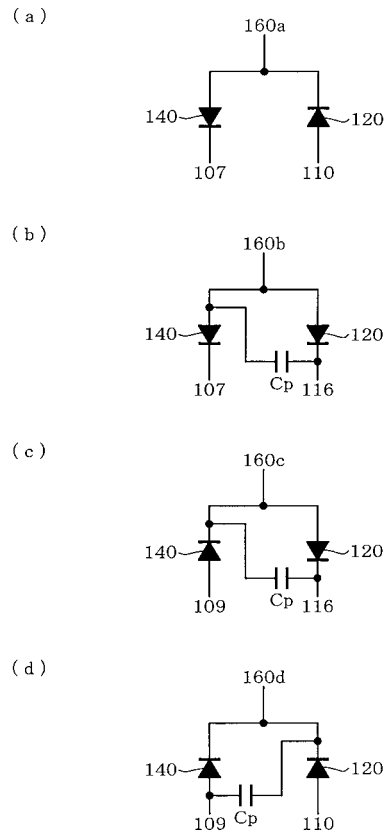
【図７】



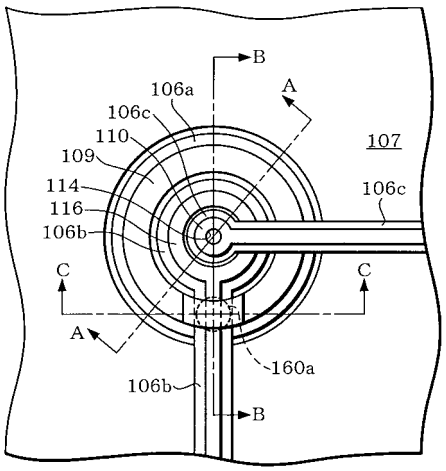
【図８】



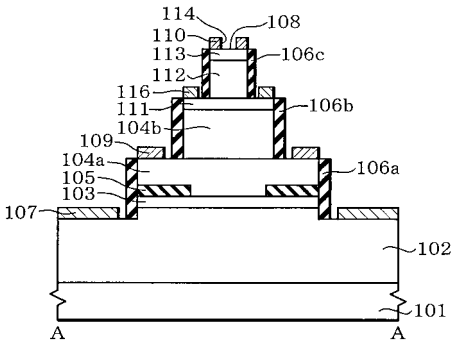
【図９】



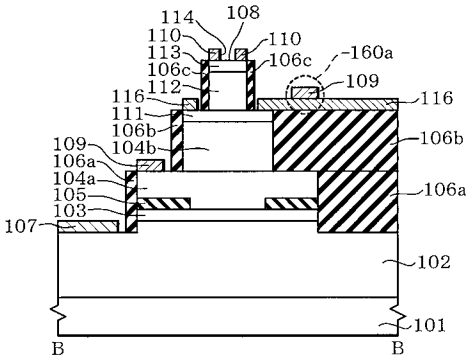
【図１０】



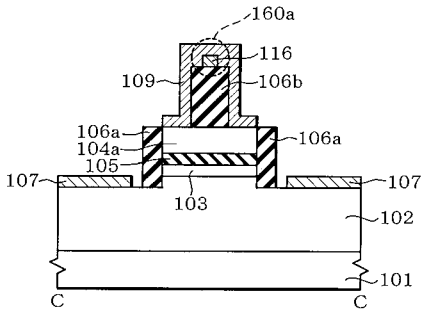
【図１１】



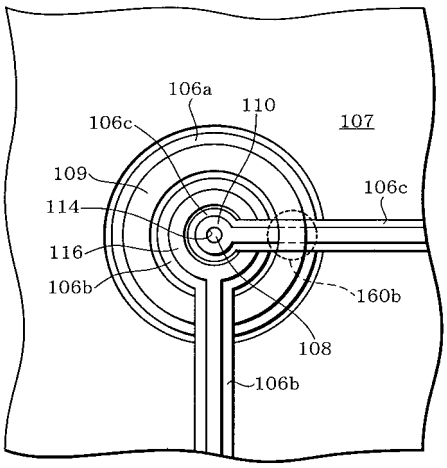
【図１２】



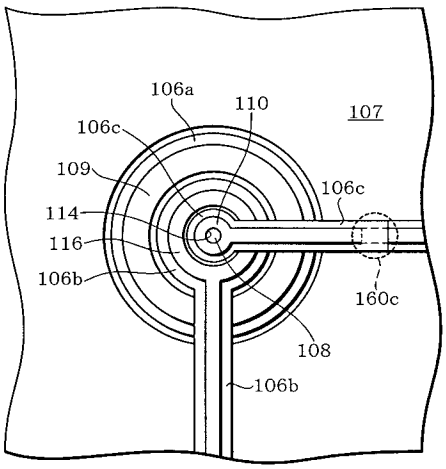
【図１３】



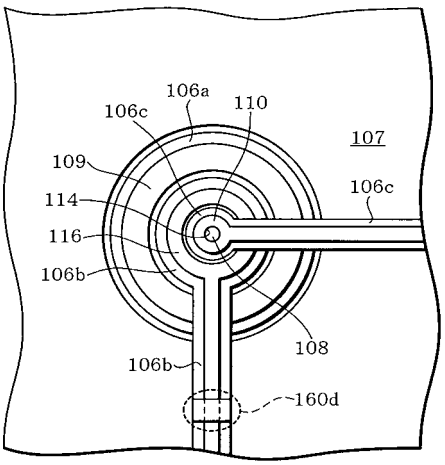
【図１４】



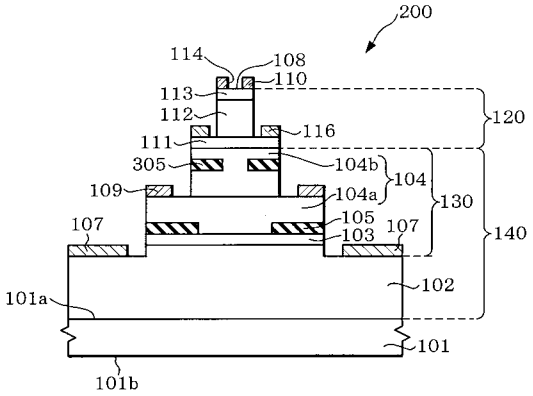
【図１５】



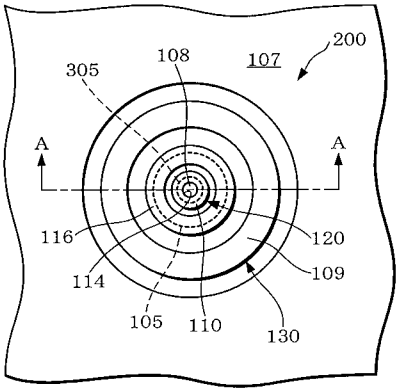
【図１６】



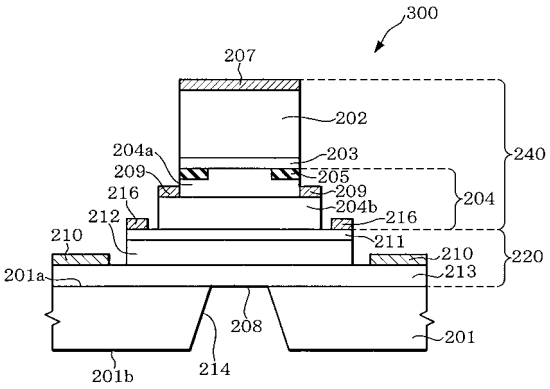
【図１７】



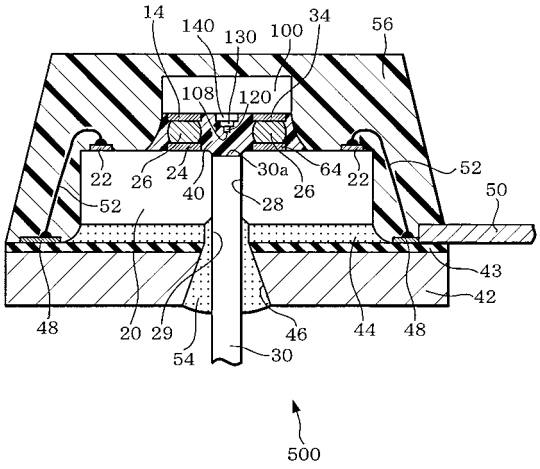
【図１８】



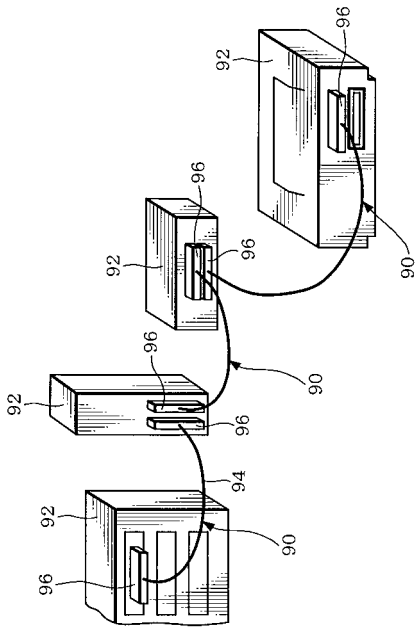
【図１９】



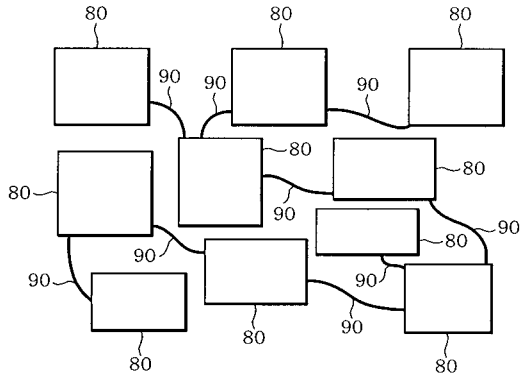
【図２０】



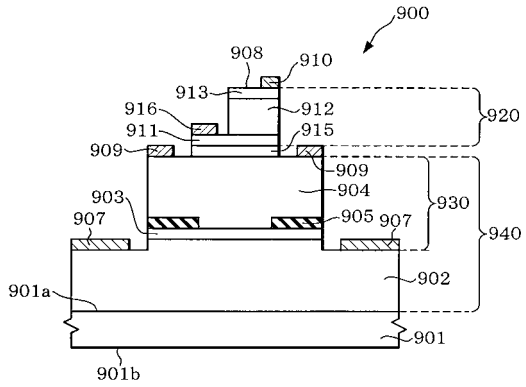
【図２１】



【図２２】


80
90

【図２３】


900
908
910
913
912
916
911
915
909
920
930
940
903
904
905
907
902
901a
901
901b

フロントページの続き

審査官　檀本　英吾

(56)参考文献　特開平０９－１９９７９５（ＪＰ，Ａ）
特表平０９－５０７３３９（ＪＰ，Ａ）
特表２００２－５０４７５４（ＪＰ，Ａ）

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