

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3835260号
(P3835260)

(45) 発行日 平成18年10月18日(2006.10.18)

(24) 登録日 平成18年8月4日(2006.8.4)

(51) Int. Cl.

F I

G 1 1 B 7/125 (2006.01)

G 1 1 B 7/125 A

H 0 1 S 5/34 (2006.01)

H 0 1 S 5/34

請求項の数 6 (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2001-352538 (P2001-352538)
 (22) 出願日 平成13年11月19日(2001.11.19)
 (65) 公開番号 特開2003-157563 (P2003-157563A)
 (43) 公開日 平成15年5月30日(2003.5.30)
 審査請求日 平成16年7月7日(2004.7.7)

(73) 特許権者 000005108
 株式会社日立製作所
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
 (74) 代理人 100100310
 弁理士 井上 学
 (72) 発明者 一色 史雄
 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
 株式会社日立製作所中央研究所内

審査官 鈴木 肇

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ディスク装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

活性層を有して、非対称量子井戸構造である間接遷移型半導体レーザからなる光源と、前記光源から光を媒体に収束するレンズと、前記媒体からの反射光を検出するディテクタとを有することを特徴とする光ヘッド。

【請求項2】

前記半導体レーザは、光を放出する活性層を有し、前記活性層に間接遷移型半導体を用いることを特徴とする請求項1記載の光ヘッド。

【請求項3】

前記半導体レーザは、光を放出する量子井戸構造を有し、前記量子井戸構造は、活性層とバリア層を有し、前記活性層と前記バリア層共に間接遷移型半導体材料を用いたことを特徴とする請求項1記載の光ヘッド。

【請求項4】

活性層を有して、非対称量子井戸構造である間接遷移型の半導体混晶材料を用いた活性層を持つ半導体レーザからなる光源と、媒体からの反射光を検出するディテクタとを有することを特徴とする光ヘッド。

【請求項5】

記録光用のレーザと、再生光用のレーザを別々に設けた光ヘッドであり、前記再生光用のレーザが非対称量子井戸構造である間接遷移型半導体レーザであることを特徴とする光ヘッド。

10

20

【請求項 6】

活性層を有して、隣接閉じ込め構造である間接遷移型半導体レーザからなる光源と、前記光源から光を媒体に収束するレンズと、前記媒体からの反射光を検出するディテクタとを有することを特徴とする光ヘッド。

【発明の詳細な説明】**【0001】****【発明の属する技術分野】**

本発明は、光ディスク及び光を用いて光ディスクに記録された情報を再生する光ディスク装置に関係する。

【0002】**【従来の技術】**

従来、光ディスクに記録された情報の読出し（再生）においては、情報の読出しを行う光の光源として、近年、一般的に、半導体レーザ、より正確には、直接遷移型半導体の半導体レーザが用いられてきた。いわゆる従来半導体レーザと呼ばれていたものは、すべて直接遷移型半導体を活性層の半導体材料として用いた直接遷移型半導体レーザである。

直接遷移型半導体の半導体レーザは、単色性が高く、本来単一の発振波長の光を発しようとする作用が強く、特に工夫をしない限りは、共振器の長さで量子化される、ある単一の発振波長で発振しようとする傾向がある。このため、発振スペクトルは、図1上の直接遷移型2に示すように、波長53に対して非常に鋭い強度分布を持つ、針のようなスペクトルとなり、その代表的な半値幅は一般的に0.01nm未満である。

しかし、このレーザ光を情報記録またはデータ転送のために、強度変調すると、出力光強度が変化する途中で、モードホッピング等により、出力光強度が、電流量に対してスムーズに変化しない、いわゆるレーザノイズ（レーザ雑音）が生じるという問題点がある。また、半導体レーザは、光の発生効率が非常に高いため、光ディスクの光源として用いられてきたが、干渉性と単色性の高すぎる光を、光ディスクの再生用の光源として用いると、レンズや反射鏡、プリズム、ビームスプリッタ等の光学部品における部分反射光が、本来検知すべき再生光と干渉して、スクープノイズなどとして知られる光干渉ノイズを発生し、信号の再生に悪影響を与えていた。このような光干渉ノイズは、レーザ光源の単色性が高すぎるために、鋭い光干渉が起こることが原因である。

【0003】

このような光干渉ノイズを防ぐ方法として、従来よりレーザ素子構造とドライブ方法を工夫する種々の提案が成されている。この問題は、特開平8-330680号公報にて述べられているように、光ディスクのみならず、光通信の分野でも検討されている問題でもある。一般的に光ディスクでは、これらの問題を解決するために、光源として、特開平11-87831号公報に記載のようにドーピングにより利得導波構造を形成した多モード発振の半導体レーザを用いたり、特開2000-68610号公報記載のように可飽和吸収層を形成して自己変調発振する型の半導体レーザを用いたり、または、特開平10-11781号公報に記載のように、通常の単一発振波長のレーザを用いてレーザ励起電流を高周波で細かくON・OFFし、発振の連続性を断ち切るという、高周波重畳の手法を用いることで、単一発振波長での発振を防ぐよう工夫するという手段がとられてきた。特に、高周波重畳の方法は、レーザ雑音を下げる事が出来る点でも効果的であり、光ディスク・光通信の分野で多く用いられてきた。

【0004】**【発明が解決しようとする課題】**

しかし、これらの対策も万全ではなく、自励発振を用いたレーザ雑音の低減方法では、放出光の角度分布が広がり、レンズでの非点収差を生じやすいなどの問題を生じている。また、特開平11-87831号公報記載のように、多モード発振の半導体レーザを用いた場合でも、各輝線の間で、発振波長強度が相互干渉しながらランダムに変化する、モードホッピング的な光量変化を生じることが完全に防げず、特に再生時における光ノイズ要因となっている。また特開平10-11781号公報記載のような高周波重畳は、高周波の

10

20

30

40

50

発振回路をレーザ直近に付加する必要がある、光ディスク装置等、半導体レーザをヘッドと共に可動させる構造においては、発振回路をも可動ヘッド上に配置することが必要で、コスト増加の要因となっている。また、光ヘッドが小型化するに伴い、光路中を光が往復する時間が短くなるため、重畳高周波の周波数をさらに高くする必要が生じ、電磁輻射を防ぐ対策が必要になるなど、コスト増加の要因となっている。

【0005】

さらに、いずれの方法においても、光ディスクの記録密度が高密度化するに従い、レーザノイズや光干渉ノイズに対するマージンが厳しくなっており、これらのノイズを改善することが必要である。

【0006】

本発明は、レーザの光干渉ノイズを防ぐための高周波重畳回路と、高周波重畳に必要となる発振回路と電磁輻射対策を省いて、情報の再生速度を高速化し、コストを低減することにより、安定した光ディスク信号の再生を高速に行える光ディスク装置を安価に提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、光源である半導体レーザについて、従来用いられてきた直接遷移型半導体を発光材料として用いた直接遷移型半導体レーザに代えて、間接遷移型半導体を発光層（活性層）に用いた、間接遷移型半導体レーザを用いて、光ヘッドと光ディスク装置を構成する。

【0008】

まず、本発明にて用いる間接遷移型半導体レーザと、従来の半導体レーザ（直接遷移型半導体レーザ）との発光スペクトルの違いについて説明する。

（連続スペクトルとブロードバンドの定義）

従来の半導体レーザ（直接遷移型）の発光スペクトルは、特開平6-302003公報や、特開2000-138411号公報に記載されているように、自励発振の場合でも、マルチモード発振の場合でも、高周波重畳の場合でも、典型的には、スペクトルは、図18のように、分解能を十分に高い0.01nm程度にして測定すれば、鋭いピーク（輝線）の集まりで、波長に対してやや規則的に細かく増減を繰り返すスペクトルとなる。なお、ここで述べる輝線とは、発光スペクトル測定系の分光計の分解能よりも十分に細い線幅（半値幅）を持つ発光線のこととする。これらの規則的な増減には、レーザ素子の共振器長に対応した共振モードが現れている場合が多い。各輝線の一つ一つの幅は、典型的に0.2nm以下と非常に鋭い。これらは、測定を繰り返しても凹凸の位置に再現性が確認されており、平均を繰り返すとゼロになるようなランダムなノイズとは明らかに異なるので、明確に区別することができる。

【0009】

これに対して、間接遷移型の半導体材料を活性層に用いた半導体レーザでは、本願図1下の間接遷移型1にて示すように、10nm近い半値幅を持つなだらかな発振スペクトルが得られる。図2に、AlGaP系間接遷移型半導体材料を発光層（活性層）に用いた電流注入発光構造において、駆動電流50を変化させた時の、発光強度51（図2左）と発光スペクトル（図2右）の変化を示す。発光色は緑色である。構造の詳細については、後記の発明の実施の形態にて詳述する。図2左側に示すように、駆動電流50の増加に従って（a、b、c、d）、発光強度は、ある閾値52（cの直前）を境に、急激に直線的に増加する（c～d）、いわゆる閾値特性を示す。これは、通常の半導体レーザが示す特性と同じである。

【0010】

ところが、図2右側に示すように、a～dの各々の電流における発光スペクトルを測定すると、閾値を超えた状態であっても（c～d）、スペクトルに目立って規則的な振動はなく、滑らかに山型を描くスペクトルが現れる。しかもピークの半値幅は、約10nm以上にもわたっており、直接遷移型半導体を材料とする従来の単一モード発振のレーザの約1

10

20

30

40

50

000倍にもおよぶ。この半値幅は、エネルギー幅に換算すると、40～50 meVにも相当する。このスペクトルは、分解能を0.01 nmまで細かくして測定しても、スペクトルの凹凸は測定系のノイズ以下である。直接遷移型の場合と異なり、測定を繰り返しても再現性がなく、平均を繰り返すとゼロとなる。従って、間接遷移型半導体を用いた半導体レーザの発光スペクトルは、基本的には連続的に滑らかであり、分解能を0.01 nmまで細かく測定しても、太陽光と同様の連続スペクトルとして観察される。本願では、上記の滑らかなスペクトルを、黒体放射における連続スペクトルの物理学的な定義と同様に、連続スペクトルと呼ぶことにする。

【0011】

すなわち、間接遷移型半導体レーザでは、通常の直接遷移型半導体レーザと同様に、閾値特性は示し、自己誘導放出（いわゆるレーザ発振）は起こしているが、発光スペクトルは非常にブロードかつ連続的に滑らかな、連続スペクトルであるという点が異なっている。

10

【0012】

これが、間接遷移型半導体を活性層に用いた場合に現れる、独特の自己誘導放出時のスペクトルである。本明細書ではこの状態にて放出される光を、間接遷移型半導体のレーザ光と呼ぶことにする。また、このような連続スペクトルでのレーザ光の発振を、本願明細書ではブロードバンドの発振と呼ぶことにする。そして、このような自己誘導放出光を発生する間接遷移型半導体発光素子を、間接遷移型半導体レーザと呼ぶことにする。

【0013】

なお、レーザ素子の構造については実施例中にて後述する。

20

【0014】

このように、間接遷移型半導体が、直接遷移型半導体レーザの放出光と大きく異なり、滑らかな連続スペクトルの自己誘導放出光を生じる理由は、間接遷移型半導体における中間状態を介した光学遷移（間接遷移）にあると説明される。これについて、次に説明する。

【0015】

図3に、間接遷移型半導体における、波数ベクトルに対する電子状態のバンド構造を示す。実線が間接遷移型1の半導体のバンド構造例、点線に直接遷移型2の半導体の例を示す。横軸を波数 k にとっている。

【0016】

直接遷移型半導体（点線）の場合においては、伝導帯3の下端は、価電子帯4の頂上となる点と、波数空間上で同じ点（点）にある。電子5は伝導帯の底に蓄積し、ホール（正孔）6は価電子帯の頂上に蓄積する。波数空間上で同じ位置にある電子とホールは、プロッホ波動関数の結晶並進対称性が一致しているため、発光遷移（光学遷移または発光性再結合）を起こしやすい。直接遷移型半導体の場合、伝導帯3の下端が、点線のように、価電子帯4の頂上のすぐ真上にある。このため、電子とホールは直接発光遷移でき、発光や光吸収の活性が高く、電流注入によりレーザ発振を起こしやすい。これが、一般的に、直接遷移型半導体が、半導体レーザ素子材料として使われている理由である。ただし、その光学的な活性の高さは、高すぎると、外部から戻った光に対しても鋭く反応してしまうため、干渉共振などの効果を生じやすい。これが逆にレーザの光ノイズ（光雑音）の原因ともなっている。

30

40

【0017】

一方、実線のように、伝導帯3の下端が、価電子帯4の頂上の斜め上にある場合、直接発光遷移できない。このため、発光遷移を起こすためには、なんらかの別の散乱要因または相互作用によって、ある中間状態を介して2回連続して遷移する必要がある。これを間接遷移と呼ぶ。そして、このようなバンド構造を持つ種類の半導体のことを、間接遷移型半導体と呼ぶ。例えばAlGaP系の間接遷移型半導体では、伝導帯3の下端はX点の付近となり、ちょうど図3のような配置となる。

【0018】

このような間接遷移型半導体における発光のメカニズムは、以下のように説明される。

【0019】

50

まず、伝導帯 3 の底にたまった電子 5 は、波数空間上でホールの斜め上にあるため、直接にはホール 6 と再結合（発光）できない。発光を起こすために、中間状態に遷移するためには、フォノンと呼ばれる格子振動や、界面不均一や組成不均一のような空間ポテンシャル揺らぎ等と、相互作用する必要がある。中間状態とは、実際に長時間存在することのできない、禁止帯の中にある仮の量子状態であり、電子がこの準位に留まれる時間は非常に短い。このため、中間状態に一時的に遷移した電子は、すぐに正孔 6 を見つけて再結合（発光遷移）するか、すぐに元の伝導帯 3 の底へ戻る必要がある。このように、間接遷移では、非常に短い寿命（ τ ）の準位（＝中間状態）を経由しているため、不確定性原理 $\tau \cdot E \sim h$ （但し h はプランク定数）により、周囲の光電場と相互作用を起こすことが可能な光学遷移のエネルギー範囲（ E ）が非常に広くなる。このため、通常の直接遷移型半導体レーザでは、閾数的（ $< 0.01 \text{ nm}$ ）になる光利得が、間接遷移では、典型的には約 10 nm 以上と、非常に広くなる。

10

【0020】

このため、共振器内で往復する光や戻り光等によって、波長の外部光電場がかかった場合に対し、 \pm 数 nm という広いエネルギー範囲で、次の発光遷移が誘起される。この結果、従来の直接遷移型半導体レーザに比較して、非常に幅の広いピークを持つ発光が誘起される。電子とホールの濃度が十分に高ければ、自己誘導放出光が発生する。

【0021】

このようにして放出されるスペクトルの広い光は、各波長での干渉光の強度の増減が打消しあって、光ヘッド内での戻り光による光干渉ノイズをほとんど生じない。たとえば、図 17 は、ディスク媒体と光ヘッドの距離が変動するときに、光ヘッドで起こる、フリンジノイズと呼ばれる光干渉ノイズの例を示している。横軸に時間 54、縦軸に反射光強度 55 をとっている。単色性の高く鋭いスペクトルを持つ直接遷移型半導体レーザを用いた場合（図 17（a））では、ディスク媒体と光ヘッドの距離が変動するときに、単色性の高さによって生じる光干渉で、図 17（a）に示すようなフリンジパターンを持つ光干渉ノイズが発生する。これに対し、間接遷移型半導体レーザを用いた場合（図 17（b））では、放出される発振光のスペクトルが広いため、各波長の光の干渉の強弱が打消し合って、図 17（b）のように、フリンジノイズはほとんど発生しない。また間接遷移の光学活性は高すぎないために、外部からの戻り光に対する反応が穏やかで、外部光干渉や共振などを生じにくい。このことがレーザ素子自体のノイズ（レーザ雑音）をも生じにくくし、低ノイズの光源としての長所を生じている。

20

30

【0022】

したがって、上記のように、間接遷移型半導体においては、滑らかな連続スペクトルで、非常に低ノイズのレーザ発振が生じる。

【0023】

このような状態での外部光電場に対する利得帯域の広さは、主に伝導帯バンド底に蓄積したキャリアの分布によって決まるため、図 2 右のように、典型的には数十 meV にわたる、広くブロードな発振スペクトルとなる。スペクトルの広さを決めるのは、主にキャリア（電子とホール）のエネルギー分布で、これは、量子井戸構造の界面揺らぎと、量子井戸中で緩和するキャリアの緩和速度と、キャリア温度との、複数の要因によって決まる。例えば室温（ 300 K ）の場合、キャリア温度は通常室温よりも高いため、発光スペクトルの半値幅は、室温のエネルギー（約 30 meV ）の指数関数（ \exp ）により半分の分布密度まで減衰するエネルギー幅（ $30 \text{ meV} \times 69\% = \text{約 } 20 \text{ meV}$ ）以上となる。従って、共振器による利得制限を特に行わない限り、原理的に 20 meV 以上の広い半値幅で発振することができる。これは、波長 500 nm 付近の緑色の光であれば、 AlGaP 系で 6 nm 以上、 SiGe 系で 13 nm 以上の半値幅となる。この値は、通常、直接遷移型半導体の直流励起時の発振（単一モード発振）の半値幅（典型的には $< 0.01 \text{ nm}$ ）に比べ、2 桁以上広い。また、この半値幅は、従来の光干渉によるレーザ雑音を、2 桁以上と大幅に抑圧できる素質を持っていることを意味する。

40

【0024】

50

なお、半値幅の実際の値は、温度・構造・準位密度・各準位の遷移寿命・励起強度など、いろいろな要因によって総合的に決まる。半値幅の上限は、発光構造である量子井戸の井戸深さを決めるバンド不連続量（バンド・オフセット・エネルギー）で制限され、この値は、半導体構造の各膜の組成など、設計条件により設定できる。具体的な値は、AlGaP系で400meV程度、SiGe系で150meV程度であり、波長の半値幅で言えばAlGaP系では100nm程度、SiGe系では90nm程度が自動的に上限となる。

【0025】

以上の様に、間接遷移型半導体を活性層に用いた、間接遷移型半導体レーザは、自発的にブロードな波長で発振するので、光干渉ノイズを生じない光源になる。間接遷移型半導体レーザを光源として用いることで、光ディスク装置で問題となっていた、光干渉ノイズとレーザ雑音を大きく改善することができる。

10

【0026】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を、図4～図16を用いて説明する。

（実施例1：間接遷移型半導体レーザの構造）

本願課題を解決するための手段中にて上述した、間接遷移型半導体レーザの発光構造について図4～図13を用いて説明する。

【0027】

本願図2にて用いた半導体発光構造は、隣接閉じ込め構造と呼ばれる量子井戸構造である。まずこの量子井戸構造について、以下に説明する。

20

（量子井戸構造の定義）

まず、本願明細書における量子井戸構造の定義について述べる。

【0028】

一般に、半導体で発光素子を作製する場合は、薄膜成長を併用してPN接合を形成することが多い。半導体材料を、有機金属気相成長法（MOVPE法）や分子線エピタキシー法（MBE法）、ガスソース分子線エピタキシー法（GSMBE法）を用いて積層することで、異なる材料を多様な膜厚の組み合わせで積層した多層構造を形成することができる。この時に、例えば伝導帯の下端の位置が異なる材料を、別の材料で挟めば、電子がそれらのうちエネルギーの最も低いところに蓄積されるような図4のような構造を作ることができる。これを量子井戸構造と呼び、伝導帯の窪みに電子がたまり、価電子帯の頂上にホール（正孔）がたまるような構造となる。これら伝導帯や価電子帯の構造をバンド構造と呼び、上端や下端のような代表的なエネルギーレベルをとって上記量子井戸構造のエネルギーレベルを図4の様に表したものをバンド構造図と呼ぶ。量子井戸構造のバンド構造は、その積層する材料の組み合わせによって、電子とホールを同じ層に閉じ込める図4のようなタイプ1と呼ばれる構造と、電子のみ又はホールのみが閉じ込められる図5（a）（b）のようなタイプ2と呼ばれる構造がある。

30

（隣接閉じ込め構造の定義）

次に、本願明細書にて隣接閉じ込め構造と呼ぶ構造について述べる。

タイプ2の量子井戸構造の場合、通常の単層の量子井戸では、電子がホールの片方しか閉じ込められない量子井戸となってしまう。発光を起こすためには、電子とホールを近接させることが必要なので、電子の閉じ込め層と、ホールの閉じ込め層とを隣接させて、両外側からその両方を閉じ込めるバリア層で挟んだ構造が必要となる。タイプ2の量子井戸を形成する材料系でこれを実現したのが、隣接閉じ込め構造である。その構造は、例えばAlGaP系半導体で構成する際は、AlP層とGaP層を隣接させ、両側から組成0.5付近のAlGaP層で挟んだ、図6のような構造である。このような隣接閉じ込め構造は、タイプ2の半導体材料においても、電子とホールの両方を閉じ込めて、発光再結合確率を向上させることができるため、発光素子の効率を向上できるという利点を有する。このAlGaP系の隣接閉じ込め構造については、アプライド・フィジクス・レターズ（Applied Physics Letters）67巻1048頁にて記載されている。また、SiGe系という間接遷移型半導体でも、隣接閉じ込め構造を構成することができ

40

50

、例えば、Si層と、Ge組成の濃いSiGe層を隣接させ、両側から中間の組成のSiGe層で挟み、全体を緩和SiGe層上に積層した図7のような構造で実現できる。このSiGe系の隣接閉じ込め構造の詳細については、アプライド・フィジクス・レターズ(Applied Physics Letters) 67巻524頁にて記載されている。これらの作製法は、上記アプライド・フィジクス・レターズの2報に記述の方法にて再現できる。また、AlGaP系における具体的な作製法は、図8を用いて後述する。

(非対称量子井戸構造の定義)

次に、本願明細書における非対称量子井戸構造の定義について述べる。

【0029】

図4のようなタイプ1の半導体量子井戸構造では、量子井戸層の中心に対して、バンド構造が左右対称な形をしている。また、図5のようなタイプ2の単一量子井戸構造でも、価電子帯と伝導帯の対称性は逆になるものの、左右については、対称な形をしている。これに対し、図6・図7の隣接閉じ込め構造では、量子井戸構造の中心に対して、バンド構造が左右非対称になっている。このように、非対称のバンド構造を持つ量子井戸構造を、ここでは非対称量子井戸構造と呼ぶことにする。

【0030】

タイプ2の非対称量子井戸構造では、電子とホール閉じ込め層中での各々の分布中心(重心)位置がお互いに異なるため、発光遷移時の電子とホールの消滅と同時に空間的な電場変動が必ず発生する。これによって、間接遷移型半導体であっても、原子軌道の対称性に関わらず、必ず光学的エネルギー相互作用の確率を生じ、発光遷移を起こしやすいという利点を持っている。すなわち、間接遷移型半導体の量子井戸構造において、非対称量子井戸構造を用いることで、間接遷移であっても一定の光学遷移確率を確保することができ、発光効率を向上することができる。

【0031】

なお、隣接閉じ込め構造は、非対称量子井戸の一構造であり、上記利点の恩恵にあずかることができる。

(活性層の定義)

次に、本願明細書における活性層の定義について述べる。

【0032】

隣接閉じ込め構造においては、AlP層とGaP層に、各々電子とホールのキャリアが蓄積している。キャリアが蓄積して光学的に利得を生じうる状態を生じる層(量子井戸層)を、ここでは活性層と呼ぶことにする。隣接閉じ込め構造のようなタイプ2の量子井戸構造を形成している場合は、電子の閉じ込め層とホールの閉じ込め層が空間的に分離しているが、隣接してペアとなることで、光学的な利得を生じうる状態が形成されるため、両方の閉じ込め層を活性層と呼ぶことにする。これに対し、活性層を両側から挟むことで電子やホールの閉じ込めを補助する役割を持った層を、バリア層と呼ぶことにする。ここではAlGaP層がバリア層に当る。

(AlGaPレーザ構造)

次に、本願図2にて示した、AlGaP系による、具体的な間接遷移型半導体レーザの素子構造について次に説明する。レーザチップの膜構造を、図8に示す。ガスソース分子線エピタキシー法(GSMBE法)による作製法を以下に述べる。

【0033】

硫黄ドーパのGaP(100)基板上に、温度650℃にて、以下の構造を順に成長する。GaP層50nm、バリア層であるAlGaP層150nm、活性層で電子側の井戸となるAlP層2.5nm、活性層でホール側の井戸となるGaP層0.6nm、バリア層であるAlGaP層150nm、同じくバリア層であるBeドーパのAlGaP層1000nm、キャップ層であるBeドーパのGaP層5nmの順である。このような薄膜構造を持つウエハは、GSMBE法以外にも、例えばMOCVD法により作製することができる。上記層構造における材料の組合せは、例えばGSMBE法では、シャッターの開閉にて制御できる。MOCVD法では、原料ガスのバルブの開閉によって制御できる。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 4 】

この様にして得られたレーザのウエハを劈開し、端面（鏡面）を平行にして共振器とする。

【 0 0 3 5 】

このチップの基板（S : GaP）側にInをつけ、350 で2分間アニールして、オーミック電極を形成し、負極（-）とする。一方、キャップ（cap）層側の電極は、Inを250 のハンダまたは蒸着により堆積し、そのままショットキー接合により正極（+）とする。

【 0 0 3 6 】

なお、ここでは基板として格子定数差の少ないGaP基板を用いた場合を示しているが、Si上にGaP結晶を積層するなど、材料の異なる基板上に構造を作製することも可能になっており、基板材料について間接遷移型半導体に限定するものではない。発光を起こす（光を放出する）活性層が間接遷移型半導体であれば、基本的に、前記に述べた間接遷移としての発光特性と利点は得られる。

10

【 0 0 3 7 】

このようにして得られたレーザチップを、冷却器上に固定して冷却し、チップ上に形成した両方の電極間に電圧を印加することで、図2のような発光スペクトルが得られる。

【 0 0 3 8 】

この電圧の印加の際に、図2に示したようブロードな発光を生じるためには、駆動電流を、レーザ閾値の付近で、ややゆっくりと増加させる必要がある。

20

【 0 0 3 9 】

もし、鋭い立ち上がり波形を持つ、急激な電圧をチップに印加すると、発光スペクトルが十分広がらないうちに（ブロードバンドな発振が安定しないうちに）、図9（a）のようなシングルモード（スペクトル上で主に一つの鋭いピークを生じて発振するモード）や、または図9（b）のようなマルチモード（スペクトル上で多数の鋭いピークを生じて発振するモード）で発振してしまう場合がある。この現象は、以下のように説明される。

【 0 0 4 0 】

間接遷移型半導体では、直接遷移型半導体に比べ、半導体中に蓄積したキャリアが、結晶中を非常に長距離にわたって拡散する性質がある。一度キャリアが十分に拡散すると、活性層の面積に応じて多くの電流を必要とするようになる。ただし、この多くの電流を、最初から一気に流してしまうと、キャリアの拡散が追いつかず、キャリアが十分に拡散しないうちに、電極付近のみが強く励起される状態となる。

30

【 0 0 4 1 】

このような局所的な強励起では、局所的な利得共振状態が形成されるため、一時的に鋭い利得を持つ利得共振器構造が形成されて、シングルモードやマルチモードでの発振を生じる。これらのモードでの発振状態では、直接遷移型半導体レーザと同様で、光干渉ノイズやレーザ雑音を生じる。この現象は、通常の直接遷移型では、駆動電流パルスを鋭くした方がよりブロードなスペクトルで発振しやすいことに対して、間接遷移レーザでは逆に、パルスが鋭すぎると、安定したブロードバンド発振にならないという点で、従来の直接遷移型半導体レーザと対称的である。

40

【 0 0 4 2 】

ブロードバンドで安定に発振させるために重要なのは、特にスペクトルの形が大きく変化する閾値付近での駆動電流の変化である。この付近では、スペクトルの形が急激に変化するため、瞬間的に不安定となり、シングルモードやマルチモードでの発振へ移行しやすい。間接遷移型半導体レーザは、本来ブロードバンドで発振しやすい特性を持っているので、不安定なモードへ移行しないよう、この閾値の前後で、スペクトルの変化をゆっくりと起こせば、安定なブロードバンドの発振へ移行する。

【 0 0 4 3 】

従って、光干渉ノイズを生じにくい、連続スペクトルの発光を安定に得るためには、シングルモードやマルチモードのような鋭い発振ピークを生じないよう、図10のように、特

50

に閾値 5 2 の付近で、時間 5 4 に対して駆動電流 5 0 をゆっくりと穏やかに増加させて駆動する必要がある。具体的には、図 1 1 の回路図のように、閾値の付近で電流の増加速度を制限する機能を付加したレーザドライバを用いるとよい。この回路では、間接遷移型半導体レーザ (LD) の発光強度を、バックモニタ (PD) で検出し、この光量が一定値 (閾値) の付近を通過するときのみ、電流の増減速度を十分の一に制限して、コンデンサの充電と共に、穏やかに電流が増加するように駆動している。値の記入のない抵抗値については、バックモニタ (PD) の感度や閾値に合わせて調整して決定する。光ヘッドや、光ディスク装置への組み込み時に、レーザの出力を頻繁に変化させたい場合は、このように閾値を考慮した電流制御を行うレーザドライバが必要となる。ただし、駆動電流自体は直流でよいから、高周波重畳の駆動のような場合と異なり、ドライバ回路自体はレーザの直近に配置する必要はない。すなわち、高周波重畳が不要であるため、直流ドライブができることによって、配置および実装の自由度が生じている。高周波重畳ドライブではなく、電流変化の緩やかな直流ドライブとすることによって、間接遷移型半導体を用いたレーザの特徴である、連続スペクトルのブロードな発振が安定して得られる。

10

【0044】

もし、記録のためにレーザの出力光強度を変調する必要がある場合は、ブロードバンドの発振を常に維持するように、記録中の駆動電流を閾値より上に保持するよう絶えず制御することが必要となる。このことは、本間接遷移型半導体レーザおよびレーザドライバを、データ伝送のために変調する、情報通信機器へ応用した場合も同様であり、その場合、図 1 2 のように、ファイバーに対して出力する光は、完全にゼロまでは落とさず、データの伝送中は閾値電流以上にて駆動させる必要がある。特にアナログ伝送および多重値伝送においては、干渉性を落としてファイバー内部でのモード共振や干渉をなくし、レーザに起因するノイズがない方が微妙なアナログ値の変化が正確に伝送しやすく、伝送情報の劣化を防ぐことができる。閾値よりも常に上の駆動電流で駆動することにより、レーザが不安定となる閾値を通過する必要がなくなり、高速なデータ変調が可能となる。

20

【0045】

また、記録や情報伝送のために、レーザ出力光を、変調器を別に用いて変調する際にも、間接遷移型半導体レーザの光は、変調器内部での光干渉を防いで、変調以外の要因による強度変化を生じにくいという利点があり、変調器を別に用いて変調する場合 (含む情報通信機器応用) も、間接遷移型半導体レーザは有用である。その際は、光干渉効果を必要としない吸収型の光変調器を用いる必要がある。

30

(材料系について)

このようにレーザ雑音の少ないレーザを形成できる間接遷移型半導体の材料としては、上記 AlGaP 系混晶材料や、SiGe 系混晶材料がある。これに対して、通常の半導体レーザに用いられている材料系としては、AlGaAs 系、650nm の発光波長を持ち DVD 用光ヘッドの光源の半導体レーザに用いられている InAlGaP 系、また青色半導体レーザとして用いられている InGaN 系、InAlGaN 系がその代表例であり、これらはすべて直接遷移型となる半導体である。

【0046】

AlGaP 系は格子整合系であり、厚さの厚い積層構造を作製した場合でも、良好な結晶が作製できるという長所がある。活性層におけるキャリア寿命が長い間接遷移型半導体の量子井戸では、バリア層上にもキャリアがたまりやすいため、活性層だけでなく活性層・バリア層共に間接遷移型となるように材料または組成を選べると、バリア層上での不純物等によるキャリアの非発光再結合が低減でき、発光効率が向上するという利点が見られる。

40

【0047】

また、全組成域で間接遷移型半導体であるため、組成の異なる界面で生じるバンドギャップを、最大限に生かして、十分に深い量子井戸を形成できる。また、全組成域で間接遷移型半導体であることによって、混晶の組成揺らぎや、異なる組成の層の界面における局所的な発光性中心 (ラディエーション・センター) の形成を防ぎ、安定して間接遷移を起こすことができる。

50

【0048】

また、SiGe系は、既存の集積回路や光ディスク用の受光器（PINフォトダイオード等）との、Siプロセスとの相性が良いため、光ヘッドに必要な増幅器や信号処理回路を一体化して低コスト化できるという利点を有する。SiGeも全組成域で間接遷移型の半導体材料であり、かつ隣接閉じ込め構造で発光効率を向上できる材料であることが確認されている。

（分布ブラッグ反射器・冷却器との組み合わせ）

また、間接遷移型半導体のスペクトルの半値幅が広すぎて、レンズ等の収差が問題となる場合は、レーザの片側端面に、分布ブラッグ反射器（Distribute Bragg Reflector：DBR）を形成して半値幅を改善することができる。分布ブラッグ反射器は、多層反射膜の一種で、波長に対する反射率分散について、連続的かつ山型の利得分布を持っており、その周期や積層数を変えることで、共振器の全体的な利得を調整することができる。分布ブラッグ反射器は、屈折率の異なる多層膜を、 $1/4$ 波長ずつ積層することで作製できる。例えば、石英（SiO₂）95nmと、酸化チタン（TiO₂）60nmを、交互に数周期～数十周期積層することで実現できる。なお、これらの具体的な膜厚は、作製条件により変化する屈折率に合わせて、若干調節する。この分布ブラッグ反射器41を、図13のように、レーザチップ40の端面に設置することで、間接遷移型半導体レーザの発振波長の半値幅を調節することができる。なお、図13は端面出射のレーザチップ構造とした場合であり、垂直共振型の面発光レーザの構成をとる場合は、活性層と第一バリア層の両側に $1/4$ 波長の厚さの多層膜構造を挿入する。例えば図8の150nmのAlGaP層の両外側に、GaP層42nmとAlP層49nmを交互に10周期程度繰返した多層構造を挿入すればよい。

【0049】

また、ブロードバンドでの発振の半値幅は、温度によって決まるキャリア分布によっても左右されるので、本実施例のように冷却器を備えることで、フォノンの分散で決まるスペクトルの半値幅を、温度によって調節できる。たとえば、図13のように、レーザチップ40をペルチェ冷却器42上のマウントに固定し、冷却器によってチップを冷却しながら間接遷移型半導体レーザを発振させることで、スペクトルの半値幅を狭く調節して発振させることができる。

【0050】

これらの機能を間接遷移型半導体レーザの素子の中に一体化することによって、レーザの半値幅を目的に合わせて改善することができる。

（実施例2：光ディスク装置の構成1）

次に、本願発明による光ディスク装置の構成例を、図14を用いて説明する。図14は、光ヘッドの光源として、間接遷移型半導体レーザを用いた光ディスク装置の構成例である。

【0051】

点線で囲まれた部分が、機械的に可動する部分に取り付けられている光ヘッド部である。レンズを用いて間接遷移型半導体レーザの出射光を媒体上に集束し、媒体上の記録パターンにより変調された反射光をディテクタにて検出する。この構成例では、ディテクタとして四分割光検出器24を用いている。この構成の詳細を以下に述べる。

【0052】

光の反射率変化により情報を記録したパターンを有する光ディスク媒体8を、回転サーボ回路9によって一定回転速度に制御されたモータ10上に設置し、回転する。間接遷移型半導体レーザドライバ11によって駆動される間接遷移型半導体レーザ12からレーザ光を発生させ、コリメートレンズ13によって並行光とした後、ビーム整形プリズム14によって整形する。これを反射鏡15によって反射し、光ディスク媒体8の方へ向けて導入する。この光は偏光ビームスプリッタ16を通過し、 $1/4$ 板17を通過し、対物レンズ18にて集光されて、光ディスク媒体8上に照射される。対物レンズ18は、アクチュエータ19上に設置されており、焦点深度方向と、ディスクの半径方向に電気信号によって

10

20

30

40

50

可動な構造となっている。焦点深度方向は焦点サーボ回路 20 によって、半径方向はトラッキングサーボ回路 21 によって、各々、前記集光照射された光が、光ディスク媒体 8 上の、希望のトラック上のパターンの上にて焦点を結ぶように制御される。なお、光ディスク媒体 8 中に記録されるピットパターンのピット高さは、ピット部と非ピット部の反射光の位相が、180 度反転するように、媒体の材料（通常ポリカーボネート等）の屈折率に合わせて調節される。尚、記録膜材料については、従来の 650nm 用のものをそのまま用いることができる。

【0053】

光ディスク媒体 8 上のパターンによって変調された反射光は、反転して対物レンズ 18 を通過し、平行光に戻された後、 $\lambda/4$ 板 17 を通過し、偏光ビームスプリッタ 16 にて反射されて、シリンダカルレンズ 22、集光レンズ 23 を通過して、四分割光検出器 24 に照射される。この四分割光検出器 24 上では、対物レンズ 18 の焦点深度に応じて、光のパターンの対称性が変化する。これを光電検出して、焦点ずれを電気信号の形で検知することができる。この電気信号を、光電流アンプ 25 にて増幅し、焦点サーボ回路 20 に帰還することで、自動焦点調節が実現される。

10

【0054】

一方、光電流アンプ 25 にて増幅された反射光信号は、信号処理によって情報を再生するためにも用いられる。光電流アンプ 25 の信号は、まず等化回路 26 によって、周波数・反射光量に応じて補正される。次にこの信号は、レベル検出回路 27、同期検出回路 28、サンプリング回路 30 に供給される。レベル検出回路 27 では、同期パターンの先頭を示す、同期信号を検知する。この信号を受けて、同期検出回路 28 にて、光ディスク媒体 8 の回転数に同期した、同期タイミング信号を生成する。この信号を位相ロック回路 29 にて受け、同期タイミング信号に同期した逡倍化信号を生成する。この逡倍化信号をサンプリングクロックとして、サンプリング回路 30 に供給し、変調データの通過点に合わせて、再生信号をサンプリングする。このサンプリングされた再生信号を、復調回路 31 とトラッキング誤差検出回路 32 に供給する。復調回路 31 では、サンプリングされた再生信号より、各変調信号を複号変換すると同時に、メモリ 33 に記憶して、次に読み出すビット信号の復号に用いる。一方、トラッキング誤差検出回路へ供給された、サンプリングされた再生信号は、サーボピットに相当するトラッキングのズレを検出できるエッジ位置の信号を抽出して、理想トラック位置からのズレ量をトラッキングサーボ回路 21 へ帰還する。これにより集光点のトラッキングが実現する。なお、これらのサーボ回路、駆動回路、信号処理回路は、主制御回路 34 によって、統括的に制御される。

20

30

【0055】

復調回路 31 より出力された、復号されたビット信号を、使用目的に合わせて信号処理することで、ディスクに記録されたデータが利用できる。一般的に、エラー訂正処理や、スクランブルの復号化等の処理が行われる。

【0056】

前記実施の形態にて述べた、間接遷移型半導体レーザを用いることで、レーザ雑音に対する仕様の厳しい高密度光ディスクにおいても、より確実な同期と信号処理が実現できる。レーザ雑音、光干渉ノイズを低減化して、より高密度で信頼性の高い光ディスク装置を提供することができる。

40

【0057】

同時に、高周波重畳が省け、コストダウンできると共に、高周波重畳の周波数で制限されていた転送レートを向上でき、本発明の光ディスク装置を用いた装置・製品において、高速なデータの再生や転送が可能となる。

【0058】

このように間接遷移型半導体レーザを光源として用いることによって、ブロードなスペクトルの光を、媒体上のパターンの読み出し光として用いることができ、光ヘッド内部における光干渉ノイズを大幅に低減できる。高周波重畳が不要で、重畳周波数で制限されてきたディスク上の記録情報の再生速度も、大幅に向上できるという利点を有する。また、従

50

来構成例のように、高周波重畳の回路を光ヘッド（可動部）上に設置する必要がないので、電気配線を最小限に省いて、光ヘッドを小型化できる。

光ヘッドの小型化に伴って、光ディスク装置を組み込んだノート型パーソナルコンピュータ等、コンピュータ機器のサイズ自体をも小さくできる。たとえば、図15のような光ディスクドライブを内蔵したノート型パーソナルコンピュータにおいては、光ヘッド可動部82のサイズが光ディスクドライブ81の厚みを決めており、半導体レーザの直近に配置する必要のあった重畳高周波発振回路83が不用となることで、光ヘッド可動部82を小型化・軽量化できる。これにより、光ディスクドライブ81自体の高さを低く抑え、ノート型パーソナルコンピュータ筐体80の厚みを薄くできる。また、光ディスク装置の、情報の転送レートが高速化することで、コンピュータ機器の動作速度をも向上できる。

10

（実施例3：光ディスク装置の構成2）

次に、本願発明による光ディスク装置の構成例として、再生用光源と記録用光源の2つの半導体レーザを用いた場合を、図16を用いて説明する。再生用光源として、間接遷移型半導体レーザを用い、記録用光源としては、従来より用いられてきた直接遷移型半導体レーザを用いている。

【0059】

間接遷移型半導体レーザを光源として用いることと、情報再生時に用いる光学系と、信号処理系と、それらの動作については同様であるので、ここでは前記実施の形態実施の形態にて示した図14の構成例との違いについて述べる。その他の部分の仕組みと動作については、前記実施の形態における構成例と同様である。

20

【0060】

前記実施の形態（図14）との違いは、（1）記録光用の光源として、直接遷移型半導体レーザを有し、再生光源とは別に、記録光源用の光学系を備えていることと、（2）再生光源用の光学系の途中に、波長帯域通過フィルタ35を追加してある点である。

【0061】

（1）は、記録用光源を再生用光源（間接遷移型半導体レーザ）と別にすることによって、記録制御については従来よりノウハウのある直接遷移型半導体レーザとその駆動回路を用いることを可能としている。光ディスク媒体への情報記録時のみ、直接遷移型半導体レーザ36を、直接遷移型半導体レーザドライバ37により駆動して、ビームスプリッタ38でディスク側へ向けて書き込み光を供給する。ドライバにより駆動する電流を変調して、光ディスク媒体上にデータパターンを記録する。

30

【0062】

（2）の波長帯域通過フィルタ35は、間接遷移型半導体レーザを用いることにより半値幅が広がるため、広くなりすぎた場合副作用としてレンズの非点収差が問題となることを解決するために用いている。一般に、光ディスク装置の光学系においては、高密度の光ディスクより情報を読み出す際には、再生光源のスペクトルが広すぎると、レンズにおける非点収差が大きくなり、波長とほぼ同じ十分小さなスポット径に、光を集束できないという副作用が生じる。収差を適宜な範囲に押さえるためには、スペクトルの半値幅を、光の波長の0.3%以下に抑えることが望ましい。一般的に光ディスクに用いられている650～780nmの波長の光を想定すると、半値幅にして2nm以下であることが望ましい。そこで、間接遷移型半導体レーザ12より出射される、半値幅の広い光を、波長帯域通過フィルタ35を通過させて、半値幅を適宜調節し、上記半値幅以下に収めて、光ディスクに記録された情報の再生に用いる。これによって、レンズにおける非点収差を抑えることができ、高密度な光ディスクパターンの再生が可能となる。かつ、この程度のスペクトルの半値幅が確保されていれば、レーザの光干渉ノイズの低減の効果は遜色なく十分に得られる。尚、この波長帯域通過フィルタを前述の実施例2の光ディスク装置の構成1に用いてもよい。

40

（顕現性）

なお、このようにして構成した光ヘッドおよび光ディスク装置より、ディスクの読み出しのために放出される光は、以上述べたように、従来光ディスク装置に用いられてきた直接

50

遷移型半導体レーザの光に比べ、なめらかな連続スペクトルで、幅広なピークを持つ光となる。レーザに間接遷移型半導体を用いていることは、上記光スペクトル測定その他、チップを顕微鏡観察して、透明であることを確認することである程度判断できる。また、二次イオン質量スペクトル分析(SIMS)によって、用いている半導体材料を特定できるほか、顕微ラマン散乱測定によって材料固有のフォノンスペクトルを解析することによっても同定できる。

【0063】

【発明の効果】

以上述べたように、本発明によれば、間接遷移型半導体レーザを用いて、光ディスク装置の、情報の読み出し用の光を、光干渉によるノイズをほとんど生じない、連続スペクトルの光とすることができる。したがって、半導体レーザの光雑音が問題となる光ヘッドの再生系においても、再生信号のS/N(信号/雑音強度比)を確保しながら、光干渉に基づくノイズや、レーザ雑音を防ぐことができる。また、高周波重畳が不要となり、高周波重畳回路を省いてコストダウンできる。さらに、重畳周波数で制限されていた記録/再生速度(ビットレート)を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来の直接遷移型半導体レーザと、本発明による間接遷移型半導体レーザの代表的なスペクトルの違いを示す図である。

【図2】間接遷移型半導体レーザの発光強度および発光スペクトルの駆動電流依存性を示す図である。

【図3】間接遷移型半導体の波数空間上でのバンド構造と、発光遷移の過程を説明する図である。

【図4】タイプ1型の半導体量子井戸のバンド構造の例を示す図である。

【図5】タイプ2型の半導体量子井戸のバンド構造の例を示す図である。

【図6】AlGaP系による隣接閉じ込め構造のバンド構造を示す図である。

【図7】SiGe系による隣接閉じ込め構造のバンド構造を示す図である。

【図8】AlGaP系隣接閉じ込め構造による間接遷移型半導体レーザの試料構造例を示す図である。

【図9】AlGaP系間接遷移型半導体レーザにおける、局所強励起時の発光スペクトルの例を示す図である。

【図10】間接遷移型半導体レーザを、安定してブロードバンドで発振させる電流駆動方法を説明する図である。

【図11】間接遷移型半導体レーザを、安定してブロードバンドで発振させるドライバの回路構成例である。

【図12】間接遷移型半導体レーザを、情報通信機器へ応用する場合に好ましい、レーザの変調方法を示す図である。

【図13】レーザチップに対する、分布ブラッグ反射器と、冷却器の配置を説明する図である。

【図14】間接遷移型半導体レーザを光源とする光ディスク装置の構成例である。

【図15】光ディスク装置を組み込んだコンピュータ機器の構成例である。

【図16】間接遷移型半導体レーザを光源とする光ディスク装置の構成図で、2つの半導体レーザを用いる場合の構成例である。

【図17】光ヘッド内部の光反射で起こる、光干渉ノイズの例を、直接遷移型半導体レーザを用いた場合と、間接遷移型半導体レーザを用いた場合で比較する図である。

【図18】直接遷移型半導体レーザにおける自励発振や高周波重畳によるマルチモード発振時の、発振スペクトルの例を示す図である。

【符号の説明】

- 1 ... 間接遷移型
- 2 ... 直接遷移型
- 3 ... 伝導帯

10

20

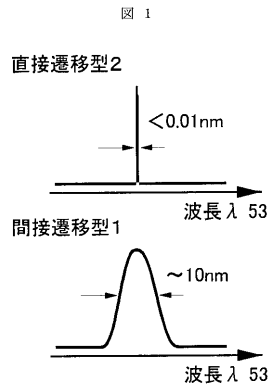
30

40

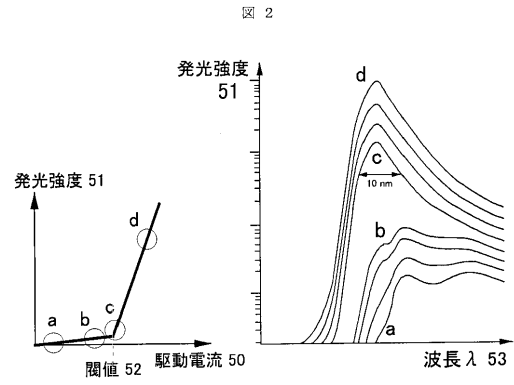
50

4 ...価電子帯	
5 ...電子	
6 ...ホール（正孔）	
7 ...波数	
8 ...光ディスク媒体	
9 ...回転サーボ回路	
1 0 ...モータ	
1 1 ...間接遷移型半導体レーザドライバ	
1 2 ...間接遷移型半導体レーザ	
1 3 ...コリメートレンズ	10
1 4 ...ビーム整形プリズム	
1 5 ...反射鏡	
1 6 ...偏向ビームスプリッタ	
1 7 ... / 4 板	
1 8 ...対物レンズ	
1 9 ...アクチュエータ	
2 0 ...焦点サーボ回路	
2 1 ...トラッキングサーボ回路	
2 2 ...シリンドリカルレンズ	
2 3 ...集光レンズ	20
2 4 ...四分割光検出器	
2 5 ...光電流アンプ	
2 6 ...等化回路	
2 7 ...レベル検出回路	
2 8 ...同期検出回路	
2 9 ...位相ロック回路	
3 0 ...サンプリング回路	
3 1 ...復調回路	
3 2 ...トラッキング誤差検出回路	
3 3 ...メモリ	30
3 4 ...主制御回路	
3 5 ...波長帯域通過フィルタ	
3 6 ...直接遷移型半導体レーザ	
3 7 ...直接遷移型半導体レーザドライバ	
3 8 ...ビームスプリッタ	
4 0 ...レーザチップ	
4 1 ...分布ブラッグ反射器	
4 2 ...ペルチェ冷却器	
5 0 ...駆動電流	
5 1 ...発光強度	40
5 2 ...閾値	
5 3 ...波長	
5 4 ...時間	
5 5 ...反射光強度	
8 0 ...ノート型パーソナルコンピュータ筐体	
8 1 ...光ディスクドライブ	
8 2 ...光ヘッド可動部	
8 3 ...重畳高周波発振回路。	

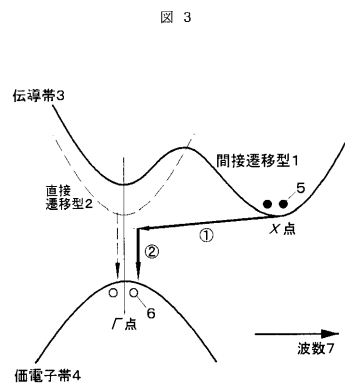
【図 1】



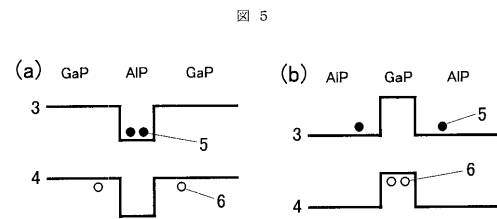
【図 2】



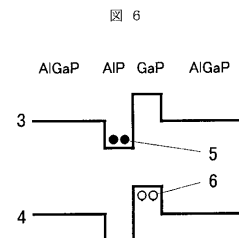
【図 3】



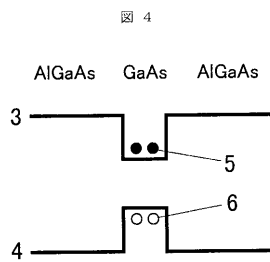
【図 5】



【図 6】

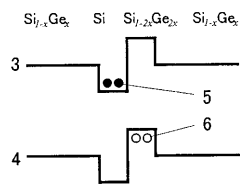


【図 4】



【図 7】

図 7



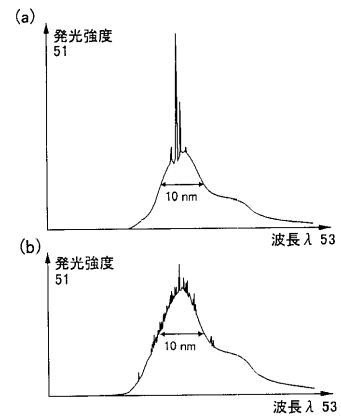
【図 8】

図 8

Be: GaP cap	5 nm	
Be: AlGaP graded	1000 nm	
AlGaP	150 nm	バリア層 61
GaP	0.6 nm	
AlP	2.5 nm	活性層 60
AlGaP	150 nm	バリア層 61
GaP buff.	50 nm	
S: GaP (100) sub.	650°C	基板 62

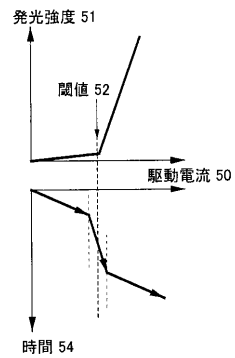
【図 9】

図 9



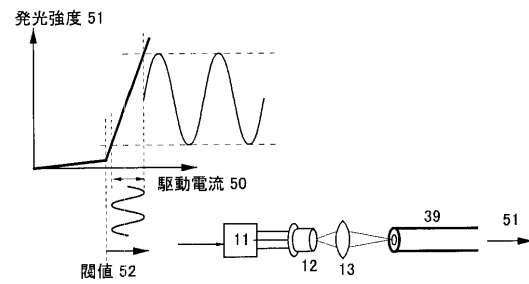
【図 10】

図 10



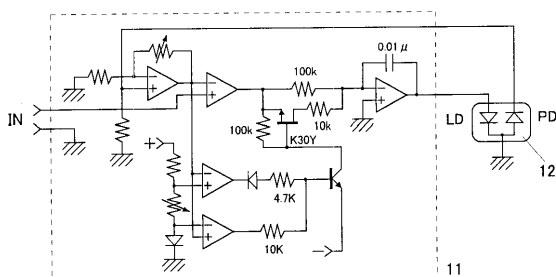
【図 12】

図 12



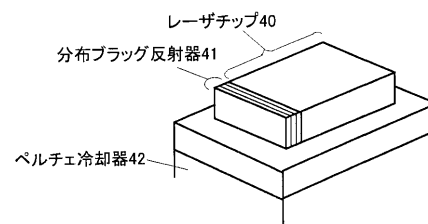
【図 11】

図 11

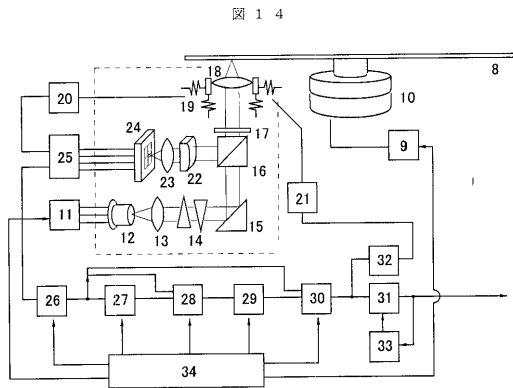


【図 13】

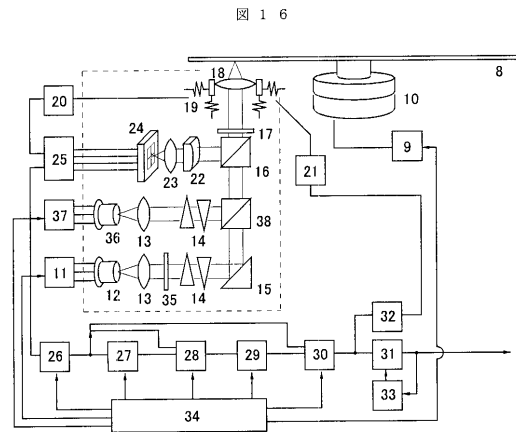
図 13



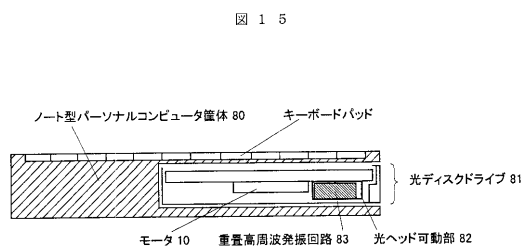
【図 1 4】



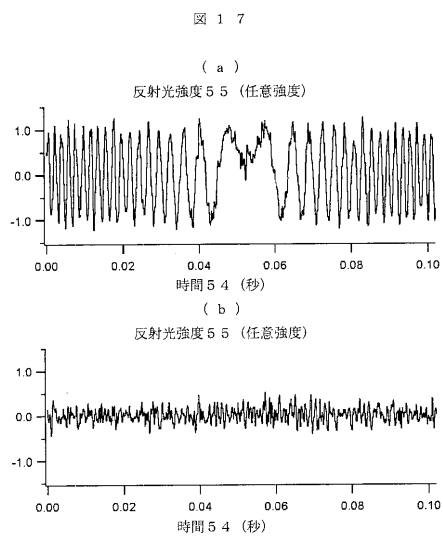
【図 1 6】



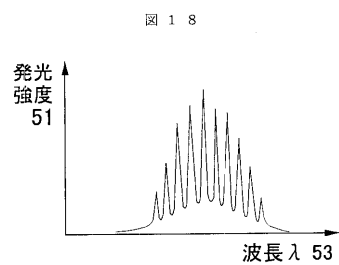
【図 1 5】



【図 1 7】



【図 1 8】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開昭57-187986(JP,A)
特開平09-306009(JP,A)
特開昭63-043387(JP,A)
特開平02-181486(JP,A)
特開平07-249833(JP,A)
特開平10-294524(JP,A)
特開2001-244575(JP,A)
特開平07-050445(JP,A)
特開平09-312448(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G11B 7/12 - 7/22

H01S 5/00 - 5/50