

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4097949号
(P4097949)

(45) 発行日 平成20年6月11日 (2008. 6. 11)

(24) 登録日 平成20年3月21日 (2008. 3. 21)

(51) Int. Cl.

F I

HO 1 S 5/022 (2006. 01)
 HO 1 L 31/0232 (2006. 01)
 HO 4 B 10/02 (2006. 01)
 HO 4 B 10/28 (2006. 01)

HO 1 S 5/022
 HO 1 L 31/02 D
 HO 4 B 9/00 W

請求項の数 4 (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2002-26725 (P2002-26725)
 (22) 出願日 平成14年2月4日 (2002. 2. 4)
 (65) 公開番号 特開2003-8131 (P2003-8131A)
 (43) 公開日 平成15年1月10日 (2003. 1. 10)
 審査請求日 平成17年2月1日 (2005. 2. 1)
 (31) 優先権主張番号 特願2001-122399 (P2001-122399)
 (32) 優先日 平成13年4月20日 (2001. 4. 20)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(73) 特許権者 000005049
 シャープ株式会社
 大阪府大阪市阿倍野区長池町2番2号
 (74) 代理人 100064746
 弁理士 深見 久郎
 (72) 発明者 下中 淳
 大阪府大阪市阿倍野区長池町2番2号
 シャープ株式会社内

審査官 古田 敦浩

(56) 参考文献 特開平08-234063 (JP, A)
 特開平08-056048 (JP, A)
 特開平11-121792 (JP, A)
 特開平07-221341 (JP, A)
 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 空間光伝送システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

レーザ光を発振する半導体レーザ素子と、
 前記半導体レーザ素子から出射され空間を伝搬してきたレーザ光を受光して電気信号に変える受光素子とを備え、

前記半導体レーザ素子は、前記受光素子における吸収係数が $0.007 \sim 0.04 \mu\text{m}^{-1}$ の範囲となる波長の前記レーザ光を発振し、

前記受光素子がシリコン系フォトダイオードから構成され、前記半導体レーザ素子の発振波長が $885 \sim 980 \text{ nm}$ の範囲にあり、

前記受光素子が、前記レーザ光が入射する入射面側から、厚さ $5 \sim 25 \mu\text{m}$ の第1導電型半導体層、その第1導電型半導体層の下に接して位置する厚さ $60 \sim 200 \mu\text{m}$ の真性半導体層、およびその真性半導体層の下に接して位置する第2導電型半導体層を有する、空間光伝送システム。

【請求項2】

レーザ光を発振する半導体レーザ素子と、
 前記半導体レーザ素子から出射され空間を伝搬してきたレーザ光を受光して電気信号に変える受光素子とを備え、

前記半導体レーザ素子は、前記受光素子における吸収係数が $0.02 \sim 0.3 \mu\text{m}^{-1}$ の範囲となる波長のレーザ光を発振し、

前記受光素子が InP 系フォトダイオードから構成され、前記半導体レーザ素子の発振

10

20

波長が900～945 nmの範囲にあり、

前記受光素子が、前記レーザ光が入射する入射面側から、厚さ5～25 μmの第1導電型半導体層、その第1導電型半導体層の下に接して位置する厚さ60～200 μmの真性半導体層、およびその真性半導体層の下に接して位置する第2導電型半導体層を有する、空間光伝送システム。

【請求項3】

レーザ光を発振する半導体レーザ素子と、

前記半導体レーザ素子から出射され空間を伝搬してきたレーザ光を受光して電気信号に変える受光素子とを備え、

前記半導体レーザ素子は、前記受光素子における吸収係数が0.02～0.3 μm⁻¹の範囲となる波長の前記レーザ光を発振し、

前記受光素子がGe系フォトダイオードから構成され、前記半導体レーザ素子の発振波長が1550～1590 nmの範囲にあり、

前記受光素子が、前記レーザ光が入射する入射面側から、厚さ20～40 μmの第1導電型半導体層、その第1導電型半導体層の下に接して位置する厚さ60～250 μmの真性半導体層、およびその真性半導体層の下に接して位置する第2導電型半導体層を有する、空間光伝送システム。

【請求項4】

前記半導体レーザ素子は、出射するレーザ光の放射照度が距離に応じて減衰する発散光源である、請求項1から3のいずれかに記載の空間光伝送システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、データを光にのせて自由空間を伝送する空間光伝送システム、とくに送信光の指向半値全角が広く、通信距離10 m以下の目的で使用される拡散型送信光源を有する空間光伝送システムに関するものである。

【0002】

【従来の技術】

従来の空間光伝送システムでは、伝送光の光源として発光ダイオードLED (Light Emitting Diode: LED) が用いられてきた。代表的な例として、図21に示されるIrDA (赤外線データ協会) の光送受信デバイスが知られている。この光送受信デバイスは、ピーク波長850～900 nmの発光ダイオード112と、受光素子102とを備え、短距離間での低速のデータリンクへの応用がなされている。

【0003】

一方、半導体レーザ素子を光通信に用いた空間光伝送システムとして、平常時に人間がいない場所での空間光リンクシステムがある。この空間光リンクシステムで半導体レーザ素子が使用された理由は、LEDと比較して集光性が良く、光ビームを長距離にわたって小さい径の光束を保ちながら伝送できるからである。たとえば、特開平6-252856号公報で開示されている空間光伝送システムでは、ビームの放射角度を狭く限定して長距離、かつ高速のデータリンクを実現している。この空間光伝送システムでは、数キロメートル～十数キロメートルの伝送を対象とし、空気中での減衰を抑制するため、波長範囲735 nm～759 nm、770 nm～811 nmまたは838 nm～891 nmの半導体レーザ光を用いることが推奨されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

LEDは非コヒーレントデバイスであり、通常、数十 nmの半値幅を持つ。たとえば、図22に示すように、ピーク波長が850 nmの場合、発光バンド範囲は約750～1000 nmの範囲に広がっている。このため、LEDを用いた送受信デバイスでは、シャープな光フィルタを用いると、カットされる波長範囲が広範にわたり信号光の強度が低下するので、シャープな光フィルタを用いることができない。さらに、上記LEDを用いた場合

10

20

30

40

50

、波長が広がっているために、受光素子の設計において有効感度波長幅を広げておく必要が生じる。しかし、有効感度波長幅を広げると、太陽光や蛍光灯などの背景雑音光を増大させるため、信号対雑音（S/N）比が劣化し、最低受信感度の低下、すなわち、最大伝送距離の低下を招いてしまう。

【0005】

黒色カーボンを含有した樹脂によって受光素子をモールドした場合には、短波長側の背景光は若干カットされるので雑音低下が期待される。しかし、送信光源であるLEDの波長がもともと広がっているため、大幅な雑音除去にはつながらない。また、半導体レーザーモジュール全体の色が黒に限定されるために、銀、白などの色を有するミニディスクプレーヤなどの製品の外観を損ねる場合があった。

10

【0006】

一方、上記特開平6-252856号公報に開示されているシステムでは、空気中の減衰を考慮に入れ、波長範囲735nm～759nm、770nm～811nmまたは838nm～891nmの半導体レーザー光が用いられる。しかしながら、放射指向半値全角が広い場合、伝送距離とともに光強度は急激に減衰するので、短距離使用に限られている。この場合、空気による減衰は考慮する必要がなく、光源の発振波長は、次のような別の観点から決定される。

【0007】

波長735～850nm程度の短波長の光は、シリコン受光素子での吸収が大きく、pnまたはpin接合フォトダイオード（PD：Photo Diode）の表面、すなわち光入射側で吸収されてしまうため、光入射側の層を十分に薄層化する必要がある。このとき、上記レーザー光の波長より短い波長の背景光も表面層で吸収され、表面層が薄いために拡散電流として雑音成分になってしまう。

20

【0008】

上記のような半導体レーザー光の光源への使い方では、単に半導体レーザー素子を空間伝送に用いただけであり、従来のLEDを用いたデバイスと比較して技術的優位性が乏しい。

【0009】

技術的優位性を獲得する観点から、半導体レーザー素子を光源に用いたことにより、背景光を低減するために急峻な光フィルタを採用することが考えられる。しかし、急峻な光フィルタの搭載により、空間伝送デバイスのコスト高を招くとともに、受信機の受光可能角度を狭くすることになるので、工業上の実用性に乏しい。

30

【0010】

そこで、本発明は、半導体レーザー素子を光源に用い、半導体レーザー光と受光素子との特性を生かした高感度で安価な空間光伝送システムを提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】

本発明の空間光伝送システムは、レーザー光を発振する半導体レーザー素子と、半導体レーザー素子から出射され空間を伝搬してきたレーザー光を受光して電気信号に変える受光素子とを備え、半導体レーザー素子は、その受光素子における吸収係数が $0.001 \sim 0.3 \mu\text{m}^{-1}$ の範囲となる波長のレーザー光を発振する。

40

【0012】

受光素子の半導体材料における吸収係数が上記範囲にあるとき、つぎの現象が生じる。

【0013】

（a）吸収係数の波長依存性が緩やかに変化する受光素子の半導体材料（たとえばシリコン）の場合：

表面側に不純物導電型半導体層を配置した真性半導体層によって光信号を電気信号に変換する受光素子において、LEDを光源にするよりもLDを光源に用いることにより、確実にS/N比を向上させることができる。

【0014】

（b）吸収係数の波長依存性が急峻に変化する受光素子の半導体材料（たとえばInP、

50

ゲルマニウム)の場合:

上記の半導体材料から構成される受光素子は、吸収係数が急峻に変化する狭い波長域の光に対してのみ感度を有し、それ以外の波長域の光に対しては感度を有しない。すなわち、上記波長域より短波長側の光では吸収が大きすぎて、真性半導体層まで光が届かない。また、上記波長域より長波長側では、真性半導体層でも光が吸収されず透過してしまう。このため、受光素子は、上記狭い波長域の光を透過させるフィルタを併せ持つのと同じ機能を発現することになる。その結果、通常、上記の狭い波長域よりも広い発光波長域を有するLEDを用いる場合には、上記の狭い波長域以外の光は信号の伝送に寄与しないことになり、信号光の強度が大きく低下してしまう。これに対して、略単一波長の光を出射するLDでは、上記狭い波長域に入る波長の光を発光できるので、信号光の強度の低下は生じない。この結果、LEDに比較して非常に高いSN比を確保することができる。

10

【0015】

上記(a)および(b)のいずれの場合にも、半導体レーザ素子LDを用いることにより、従来のLEDを用いた空間光伝送システムよりも高いSN比を得ることが可能になる。

【0016】

なお、上記の半導体レーザ素子と受光素子とは、光伝送が行なわれる2つのデバイスのうちの少なくとも一方に半導体レーザ素子が、また他方に受光素子が備えられていればよい。

【0017】

上記本発明の空間光伝送システムでは、半導体レーザ素子は、受光素子における吸収係数が $0.007 \sim 0.04 \mu\text{m}^{-1}$ の範囲となる波長のレーザ光を発振することができる(請求項1)。

20

【0018】

受光素子がシリコンで構成される場合、上記の吸収係数の範囲において、LDを用い上記範囲の吸収係数となる波長の光を出射させる空間光伝送システムは、LEDを用いた従来のものより一層高いSN比を確実に得ることができる。

【0019】

上記本発明の空間光伝送システムでは、半導体レーザ素子は、受光素子における吸収係数が $0.02 \sim 0.3 \mu\text{m}^{-1}$ の範囲となる波長のレーザ光を発振することができる(請求項2)。

30

【0020】

受光素子がInPまたはゲルマニウムで構成される場合、上記の吸収係数の範囲において、LDを用いた空間光伝送システムは、シャープな光フィルタを併せ持つことと同じ機能を有するようになる。このため、LEDを用いた従来のものより一層高いSN比を確実に得ることができる。

【0021】

本発明の空間光伝送システムでは、受光素子がシリコン系フォトダイオードから構成され、半導体レーザ素子の発振波長が $885 \sim 980 \text{ nm}$ の範囲にあるようにできる(請求項1)。

【0022】

半導体レーザ素子から出射されるほぼ単一波長に近いレーザ光の波長が上記範囲内にあるとき、シリコン中の吸収係数は、 $0.007 \sim 0.04 \mu\text{m}^{-1}$ の範囲にある。この吸収係数の範囲内では、表面側に不純物導電型シリコン層を配置した真性半導体シリコン層によって光信号を電気信号に変換するシリコン受光素子において、LDを用いた場合のSN比がLEDを用いた場合よりも大きく向上する。

40

【0023】

本発明の空間光伝送システムでは、受光素子がInP系フォトダイオードから構成され、半導体レーザ素子の発振波長が $900 \sim 945 \text{ nm}$ の範囲にあるようにできる(請求項2)。

【0024】

50

この波長域の場合、受光素子を構成する InP の吸収係数は、 $0.02 \sim 0.3 \mu\text{m}^{-1}$ の範囲にある。InP の吸収係数の波長依存性は急峻に上記波長域で変化するので、上述のように、 $900 \sim 945 \text{ nm}$ という狭い波長域の光を透過させるフィルタを付加したのと同じ状態になる。このため、LD を用いた本空間光伝送システムの SN 比は LED を用いた従来のものよりも大きく向上する。

【0025】

本発明の空間光伝送システムでは、受光素子が Ge 系フォトダイオードから構成され、半導体レーザ素子の発振波長が $1550 \sim 1590 \text{ nm}$ の範囲にあることができる（請求項 3）。

【0026】

本発明の空間光伝送システムでは、受光素子が、Si 系または InP 系フォトダイオードから構成され、レーザ光が入射する入射面側から、厚さ $5 \sim 25 \mu\text{m}$ の第 1 導電型半導体層、その第 1 導電型半導体層の下に接して位置する厚さ $60 \sim 200 \mu\text{m}$ の真性半導体層、およびその真性半導体層の下に接して位置する第 2 導電型半導体層を備えることができる（請求項 1、2）。

【0027】

上記の受光素子の構成は、LD を光源とし、シリコンまたはインジウム燐化合物によって上記受光素子を構成した場合に、良好な SN 比が得られるように最適化した構成である。

【0028】

本発明の空間光伝送システムでは、受光素子が、Ge 系フォトダイオードから構成され、レーザ光が入射する入射面側から、厚さ $20 \sim 40 \mu\text{m}$ の第 1 導電型半導体層、その第 1 導電型半導体層の下に接して位置する厚さ $60 \sim 250 \mu\text{m}$ の真性半導体層、およびその真性半導体層の下に接して位置する第 2 導電型半導体層を備えることができる（請求項 3）。

【0029】

上記の受光素子の構成は、LD を光源とし、ゲルマニウムによって上記受光素子を構成した場合に、良好な SN 比が得られるように最適化した構成である。

【0042】

【発明の実施の形態】

次に図面を用いて、本発明の実施例について説明する。

【0043】

（実施例 1）

図 1 は、本発明の実施例 1 における空間光伝送システムの空間光伝送モジュールを示す断面図である。また、図 2 は光源の部分を示す斜視図であり、図 3 は受光素子を示す斜視図である。本実施例では、光源として発振波長 890 nm の InGaAs 系半導体レーザ素子（レーザチップ）1 を、また受光素子としてシリコン（Si）の pin フォトダイオードを用いている。この空間光伝送システムでは、信号を送受信する相手がわも、上記と同じ空間光伝送モジュールを備えていることを前提にしている。

【0044】

図 1 において、回路基板 6 上には、半導体レーザ駆動用の正負両電極のパターンが形成され、図示のとおり、レーザチップを搭載する部分には深さ $300 \mu\text{m}$ の凹部 6a が設けられている。この凹部 6a に、レーザチップ 1 を搭載したレーザマウント（マウント材）20 をはんだで固定する。レーザマウント 20 の正電極 22 の平坦部 23 は、回路基板 6 上のレーザ駆動用正電極部（図示せず）とワイヤ 7a によって電氣的に接続される。凹部 6a はレーザ光の放射を妨げない程度の深さとなっており、また、面の粗さが放射角に影響を与えないようにされている。

【0045】

受光素子 2 は、やはり回路基板 6 に実装され、ワイヤ 7b により電気信号が取り出される。この他に、回路基板上にレーザ駆動用 / 受信信号処理用の IC 回路 8 が実装されている。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 6 】

次いで、はんだで凹部に固定されたレーザマウント 2 0 を搭載した部分に液状のシリコン樹脂 9 を適量滴下する。シリコン樹脂 9 は表面張力のために凹部内に留まり、レーザマウント 2 0 を覆い凹部 6 a に固定する。本実施例では、回路基板 6 に凹部を設け、レーザマウント 2 0 を実装したが、上述のように、シリコン樹脂 9 は表面張力のためにレーザチップ表面およびその近傍に留まるので、凹部は必ずしも設ける必要はない。

【 0 0 4 7 】

この後、8 0 で約 5 分間放置してゼリー状になるまで硬化させる。次いで、透明なエポキシ系樹脂モールド 3 により被覆する。レーザチップの上面には、放射角制御のためのレンズ部 4 が、また、受光素子の上面には信号光を集光するためのレンズ部 5 がそれぞれ一体的にモールドレンズとして形成される。

10

【 0 0 4 8 】

上述したように、この空間光伝送システムでは、相手方が同じ空間光伝送モジュールをもう 1 台保持して、光信号の送受信を行なうことを前提としている。光源から情報をもって発した光信号は、相手の空間光伝送モジュールの受信素子によって受信され、また、相手から発信された光信号は上記受信素子によって受信する。

【 0 0 4 9 】

次に、レーザマウント 2 0 について、図 2 を用いて説明する。図 2 に示すように、L 字型のヒートシンク 2 1 にレーザチップ 1 がダイボンドされている。レーザチップ 1 は、InGaAs 系半導体レーザ素子であり、そのチップ下面 1 b には高反射膜がコーティングされている。この高反射膜は、レーザチップ端面の保護をも兼ねているのが普通である。一方、レーザチップ上面 1 a の光取出面は、ノンコートであり、劈開により反射面が形成されている。本実施例では、シリコン樹脂によるプリコートを行ない、このプリコート膜がレーザチップ端面の保護機能を兼ねている。このため、コスト上昇の一因である端面保護コート工程を 1 / 2 に減らすことができる。もちろん、上下の両端面にコーティングすることも可能であり、その場合には、反射率を所望の値に設計できるなどの効果を得ることができる。

20

【 0 0 5 0 】

ヒートシンク 2 1 の基部 2 1 b には正電極 2 2 が、ヒートシンク 2 1 と導通しないように絶縁物により固着されている。この正電極 2 2 とレーザチップ 1 の表面 1 c とは、金めっきタングステン線 7 c によって接続されている。上述のように、このレーザマウント 2 0 を、図 1 の回路基板 6 の負電極（図示せず）にはんだ固定して、正電極 2 2 の上部の平坦部 2 3 と回路基板 6 の正電極部（図示せず）とをワイヤ 7 a で接続する。このような配線の形成により、レーザチップを発振させ、レーザビーム 2 4 を得ることができる。

30

【 0 0 5 1 】

次に、本実施例の空間光伝送モジュールの機能について説明する。光源のレーザチップ 1 の発振波長は約 8 9 0 n m であり、生産時におけるプロセス精度をも含めて、全レーザチップが 890 ± 1 n m 以内の発振波長精度を有する。さらに、温度変化にともなう発振波長の変動も数 n m 以下に抑えられ、単一発振波長の発光素子と考えることができる。

【 0 0 5 2 】

次に、シリコンの受光素子 2 について説明する。図 3 は受光素子を示し、n 型シリコン基板 3 1 上に厚さ 1 0 0 μ m の真性領域層 3 2（空乏層、i 層：i n t r i n s i c 層）、厚さ 1 0 . 5 μ m の p 型領域層 3 3 を有する。ここに、上面の p 層 3 3 の側からシリコンのバンドギャップより大きいエネルギーを有する短い波長の光が入射すると、光は吸収され電気信号として取り出すことができる。光が吸収される平均的な深さを平均自由行程 λ といい、その逆数を吸収係数 α と呼んでいる。表面での光子数 N の光がシリコン受光素子を深さ方向に進行するとき、深さ x での生存光子数 N' は、次の式（1）で表わされる。

40

【 0 0 5 3 】

$$N' = N \exp(-x / \lambda) = N \exp(-\alpha x) \quad \cdots \cdots (1)$$

空乏層 3 2 内で吸収された光子は、電気信号として取り出すことができる。しかし、p 層

50

やn層で吸収された光子は、拡散現象により空乏層に達したもののだけが電気信号として取り出すことができる。一般にシリコンの拡散長は1～10 μm程度であるので、p層やn層で吸収された場合の電気信号取り出し効率はきわめて低くなる。加えて、拡散速度が遅いために高速の光信号の変調に追従することができず、有効な電気信号とならない。さらに詳しい内容は、たとえば、「光エレクトロニクスの基礎」(A. Y a r i v 著、丸善出版、昭和63年)に紹介されている。

【0054】

図4は、受光素子を構成する半導体フォトダイオード材料である、シリコン(Si)、インジウム燐化合物(InP)およびゲルマニウム(Ge)の吸収係数の波長依存性を表わしたものである。Siでは光の放出と吸収とが間接遷移で行なわれるので、長波長側から短波長側にかけての吸収係数の立ち上がりは緩やかである。一方、InPおよびGeでは、直接遷移またはそれに近い遷移を行なうバンド構造を持つため、吸収係数の上記立ち上がりは急峻である。

10

【0055】

本実施例では、半導体フォトダイオード材料としてSiが配置された受光素子(以下、Si受光素子)を用いる。図4から、Siでは波長1000 nm以上の吸収係数は、波長800 nm以下の短波長側の吸収係数に比べて、1/10以下になる。波長800 nm以下の短波長側では、たとえば、厚さ10 μmのSiの場合、63%以上の吸収を受けることが、式(1)などを用いて確認される。

【0056】

20

図5は、上記式(1)にしたがい、Si受光素子での深さと、その深さで生存している光子数との関係を示したものである。その深さで生存している光子数は、その深さでの光子数と表面での光子数との比(光子数比)で表わしている。本実施例の場合、波長890 nmのレーザ光は、図4から吸収係数 $0.04 \mu\text{m}^{-1}$ に相当する。

【0057】

この吸収係数を基に式(1)により計算すると、図3に示す受光素子のp層33で30%吸収され、次のi層32で68%吸収される。つまり、受光素子に入射したレーザ光の約68%は受光素子2のi層32で吸収され、電気信号に変換される。一般に、背景光はシリコン受光素子の感度波長域の全域にわたって分布しており、とくに吸収の大きい短波長側の背景光は、受光素子によって効率よく吸収され雑音電流になる。本実施例では、p層33の厚さを10.5 μmと厚くしたため、図5に示すように、たとえば、短波長側の波長780 nmの光は、表面側のp層で約70%吸収され、かつ電気信号として取り出しにくいので、大きな雑音にはならない。

30

【0058】

本実施例の半導体レーザ素子を用いた場合と、LEDを発光素子に用いた場合との比較実験を行なった。比較例として、中心波長850、875、900、925、950、975、1000 nmの7種類のLEDを用い、同じく、本発明例として発振波長850、875、900、925、950、975、1000 nmの7種類の半導体レーザ素子を用いた。これらの発光素子のそれぞれの波長帯に対して受光素子のp層33と、i層32との厚さを変えながら最適設計を行ない、実際の信号受信時における信号対雑音比(SN比)を測定した。測定にあたっては、通常の通信時と同じく、晴天の昼間に窓のある部屋で蛍光灯点灯の条件で行なった。

40

【0059】

まず、LEDを用いた場合の結果を図6に示す。図6(a)～図6(d)は、それぞれ中心波長850、900、950および1000 nmに対応するSN比の(p層厚さ+i層厚さ)依存性を示すグラフである。すなわち、横軸には、p層とi層との厚さの合計をとり、さらにパラメータとしてp層の厚さを変えている。

【0060】

波長850 nmの図6(a)では、p層が薄いときにSN比が大きくなる傾向が認められる。これは、短波長の光は吸収係数が大きいので、受光素子の浅い部分で多くの光が吸収

50

されるからである。p層を薄くすることにより、短波長の背景光に対する排除能力は低下する。一方、全体の受信感度を上げるためには、図6(a)から、i層の厚さは50~100 μm 程度とするのがよいことが分る。これ以上厚くすると長波長側の背景光に起因する雑音が増えてしまう。

【0061】

図6(b)および図6(c)に示すように、中心波長を長くしてゆくと、最適なp層、i層の厚さは厚くなり、それに付随してSN比も増大することが確認される。さらに長波長とすると、図6(d)に示すように、SN比は劣化してしまう。これは、i層の厚みが足りないことが主原因である。厚さ300 μm 以上のi層を採用した場合、実質上、i層内での電界強度が低下し、信号が鈍ることが確認された。

10

【0062】

次に、半導体レーザ素子を用いた場合について、図7(a)~図7(d)を用いて説明する。図7(a)~図7(d)は、半導体レーザ素子の発振波長850、900、950、1000nmにそれぞれ対応する。図7(a)~図7(d)の測定結果の傾向は、図6(a)~図6(d)に示した結果とほぼ同様であるが、半導体レーザ素子の場合(図7)のほうが、SN比の大きさが大きくなる傾向がある。

【0063】

図8は、波長に応じて受光素子のp層とi層の厚さを最適化した場合に得られる最大SN比を示す図である。この図8より、受光素子について最適化等の改善を施しても、LEDの場合に得られる最大SN比は150程度である。すなわち、LEDを用いた場合には、発振波長885~980nmの半導体レーザ素子を用いた場合に得られる最小のSN比150程度を超えることはできない。つまり、波長帯885~980nmの半導体レーザ素子と、Si受光素子とを、空間光伝送システムに用いた場合、どのような波長帯のLEDとSi受光素子とを用いた空間光伝送システムより高いSN比を得ることができる。この波長帯は、図4から、シリコンに対しては吸収係数0.007~0.04 μm^{-1} の範囲に相当する。この波長帯の半導体レーザ素子を用いる場合には、受光素子を構成する各層の厚さに関しては、p層が5~25 μm 、i層が60~200 μm であるとき、ほぼ最適条件であることが分った。

20

【0064】

本発明で用いたレーザマウント20は、上述したように、レーザ光を回路基板に垂直に取り出すことができる。このような構造のシステムの他に、回路基板6に形成された凹部側面で光を反射させて上面側に光を取り出す方法も検討したが、凹部側面の平滑度が悪く、良好な放射パターンは得られなかった。上述のように、レーザ光を回路基板に垂直に取り出すレーザマウントを用いることにより、良好な放射パターンが得られ、LEDよりも大きなSN比が得られた。

30

【0065】

また、大きなヒートシンク21を用いることにより、半導体レーザ素子1の温度上昇を抑えることができる。凹部に、直接、レーザ素子1をマウントした場合の熱抵抗250deg/Wに比べて、レーザマウント20を用いた場合、熱抵抗は約1/3に低下して、80deg/Wが得られた。

40

【0066】

上記レーザチップ1の被覆に用いたシリコン樹脂9は、硬化時のJISA硬度が0である、いわゆるゼリー状樹脂である。JISA硬度が0より大きい、いわゆるゴム状樹脂もいくつか試みたが、ゼリー状のものが最も高い信頼性が得られることを確認した。

【0067】

(実施例2)

次に本発明の実施例2について説明する。実施例2における空間光伝送モジュールの構造は、図1に示すものと同じである。本実施例では、半導体レーザ素子1の発振波長が930nmとなるように設定した。レーザチップ1の発振波長の調整は、活性層InGaAsの混晶比を調整することによって行なうことができる。また、受光素子として、InP系

50

化合物半導体の受光素子を用いた。この受光素子の p 層の厚さを $3\ \mu\text{m}$ 、i 層の厚を $15\ \mu\text{m}$ とした。実施例 1 と同一の条件で S N 比を測定したところ、S N 比 400 が得られた。

【0068】

上記の光送受信デバイスについて説明する。図 4 を参照して、波長 $930\ \text{nm}$ 付近の光は、I n P の受光素子 2 の中で吸収係数が約 $0.07\ \mu\text{m}^{-1}$ であることが分る。一方、波長 $900\ \text{nm}$ の光に対する吸収係数は約 $1.0\ \mu\text{m}^{-1}$ である。さらに、長波長側、たとえば波長 $950\ \text{nm}$ の光に対する吸収係数は $0.0005\ \mu\text{m}^{-1}$ である。これらの吸収係数と式 (1) とを用いることにより、I n P に入射した光の所定深さにおける生存光子数比を求めることができる。

10

【0069】

図 9 に、吸収係数が 1.0 (波長 $900\ \text{nm}$)、 0.07 (波長 $930\ \text{nm}$)、また $0.0005\ \mu\text{m}^{-1}$ (波長 $950\ \text{nm}$) である場合、I n P の受光素子 2 に光が入射したときの入射光子数に対する生存光子数の比を示す。図 9 によれば、波長 $910\ \text{nm}$ 以下の光は、最表面の p 層 33 のみでほとんど吸収され、有効な電気信号として取り出すことができない。つまり、雑音にもならない。一方、波長 $940\ \text{nm}$ 以上の光は吸収が小さいので、p 層 33 と i 層 32 とを透過してしまい、やはり雑音を生じにくい。すなわち、上記の受光素子が受光し電気信号を発することができる光の波長範囲は、およそ $900 \sim 950\ \text{nm}$ の範囲である。言い換えれば、上記 I n P の受光素子は、波長域幅 $50\ \text{nm}$ の光フィルタ機能を併せ持っていることに相当する。

20

【0070】

本発明者は、実施例 1 と同様に、発光素子として、半導体レーザ素子および L E D を用意し、I n P 受光素子で受信した際の信号対雑音比 (S N 比) を測定した。レーザ素子および L E D のピーク波長は、 $860 \sim 1020\ \text{nm}$ の範囲で変化させた。L E D および半導体レーザ素子での測定結果をそれぞれ図 10 (a) ~ (d) および図 11 (a) ~ (d) に示す。

【0071】

半導体レーザ素子を用いた場合、長波長化と同時に S N 比が上昇しはじめ、波長 $920\ \text{nm}$ を超えると S N 比は急激に大きくなり、波長 $940\ \text{nm}$ 付近でピークを示す。さらに長波長化すると、 $950\ \text{nm}$ 以降で S N 比が急激に劣化することが実験的に確認された。一方、L E D の場合、ピーク波長の長波長化とともに、S N 比は単調に減少する傾向が見られた。

30

【0072】

次に、図 12 に、波長ごとに受光素子の層厚を最適化したときの S N 比を示す。図 12 によれば、 $920 \sim 940\ \text{nm}$ の波長域で半導体レーザ素子の S N 比は、L E D の場合に比べて格段に大きくなることが分かる。とくに受光素子として I n P 系受光素子を用いた場合、半導体レーザ素子を発光源に使い、かつ波長を $920 \sim 940\ \text{nm}$ にすることにより、これまでにない非常に高い S N 比を得られることが実証された。とくに、L E D 系では到達しえない S N 比 80 以上という範囲を得るためには、p 層および i 層の厚さとして、たとえば、次の組み合わせを採用することが望ましい。

40

(1) p 層および i 層のトータル層厚さが $100\ \mu\text{m}$ 以上であること。

(2) p 層の厚さ $5\ \mu\text{m}$ 以上で、かつ i 層の厚さ $50\ \mu\text{m}$ 以上であること。

【0073】

また、図 11 (c) より明らかなように、p 層を $20 \sim 40\ \mu\text{m}$ とし、p 層と i 層とを合わせた合計厚さを $200\ \mu\text{m}$ 程度とすることにより、容易に最大 S N 比を得られることが分かる。

【0074】

これより、レーザ素子の発振波長を吸収係数が大きく変化する遷移領域であって、ピーク波長に対する吸収係数が $0.001\ \mu\text{m}^{-1}$ である、波長 $900 \sim 945\ \text{nm}$ に設定することにより、吸収係数差を用いて光フィルタリングを行うことが可能となる。このような I

50

n P系フォトダイオードの受光素子によって受光される光源にLEDを用いた場合、中心波長を900～945nmの範囲内に入れてもブロードな発光なので、900～945nmの範囲に入らない波長域はすべて電気信号にならない。このため、LEDの光から得られる電気信号の強度は、半導体レーザ素子によって、波長900～945nmの範囲に入れた線スペクトル状の狭線幅の光源から得られる信号強度よりも大幅に小さくなる。雑音は背景光に由来するので、両方で同じなので、SN比は、やはりLEDが大幅に小さくなる。このようなLEDとLDとの大きなSN比の相違は、LDの発振波長を900～945nmの範囲に入れることを前提にしている。この波長域は、図4のInPの波長と吸収係数との関係から、吸収係数 $0.001 \sim 0.3 \mu\text{m}^{-1}$ に相当する。

【0075】

10

受光素子の吸収係数は、図4に示すように、受光素子を構成する材料によって大きく相違する。InPなどの直接遷移型フォトダイオードは、シャープな吸収端を持ち、本実施例のような使用に適している。また、間接遷移型受光素子であっても、Geフォトダイオードはシャープな吸収端を持つので、InPと同様に用いることができる。

【0076】

本発明者は、Ge系半導体PDについてもInP系半導体PDと同様の実験を遂行した。この実験結果を図13(a)～(d)および図14(a)～(d)に示す。また、それぞれのピーク波長で最適化されたPD構造でのSN比を図15に示す。Geの場合、吸収係数の変化率がInPに比べて緩やかなので、LEDの場合であっても長波長化と同時に単調にSN比は減少せず、半導体レーザ素子と同様に1560～1580nm程度にピーク

20

【0077】

Geの場合、図4と式(1)とから、レーザ素子の発振波長を $1.55 \sim 1.59 \mu\text{m}$ (1550～1590nm)にすればよいことが分る。 $1.55 \mu\text{m}$ 未満の波長では、受光素子のp層での吸収が大きすぎてi層に入る前に大部分吸収されてしまい信号に寄与することがない。また、波長 $1.59 \mu\text{m}$ を超えるとp層でもi層でも、光は実質的に吸収されず、透過してしまい信号にやはり寄与しない。

【0078】

30

上記の波長域は、同様に、図4から、吸収係数 $0.001 \sim 0.06 \mu\text{m}^{-1}$ に相当する。波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯のレーザ光は、InP系レーザ素子、またはGaInNAs系レーザ素子によって発振することができる。

【0079】

このように、Geまたは直接遷移型のフォトダイオードを用いた場合には、吸収係数が3～4桁にわたって急峻に変動する波長領域幅は、おおむね50nm程度である。その波長域で波長広がり50nm以下の光源を用いた場合に、SN比を大幅に向上させることができる。波長広がり50nm以下の光源は、LEDでは不可能であり、半導体レーザ素子(LD)ではじめて可能となる。

【0080】

40

本実施例の空間光伝送モジュールでは、発振波長940nmのレーザチップと、InPフォトダイオードを用いることにより、従来のLEDを用いた光通信に比べて大幅に雑音を低減することができる。また、この光送受信装置と、従来の光送受信装置や、Si受光素子から構成される光モジュールとの交信も可能である。

【0081】

なお、波長1550nmの半導体レーザとGeの受光素子を用いた構成の場合、波長が長いために眼球に対する安全性が高く、光出力を上げることができる。このことは、国際的な標準化基準であるIEC 60825-1に記載されている通りである。

【0082】

上記InPの受光素子およびGeの受光素子のいずれの場合も、波長幅50nm以下の光

50

源に適用可能である。このような狭幅域の光源として、工業的には半導体レーザ素子が最も適している。発光ダイオードでは発光幅が広すぎ、上記波長域以外の波長は信号に寄与することができないので、S/N比が急激に劣化する。本実施例のように、半導体レーザと狭帯域受光感度のフォトダイオードを用いることにより、光フィルタを施す必要がなくなり、安価な構成で光送受信装置を構成することが可能となる。

【0083】

(実施例3)

図16は、本発明の実施例3における半導体レーザ素子(レーザチップ)を示す図である。図16を参照して、この半導体レーザ素子を形成する工程について説明する。n型GaAs基板41の上には、次に示す組成および厚さの層が下側から順に積層されている。各層の末尾の括弧内の数値はその層の厚さを表わす。

【0084】

n型GaAs基板41/n型 $Al_{0.5}GaAs$ 第1クラッド層42($1.6\mu m$)/n型GaAsエッチング停止層43($100nm$)/n型 $Al_{0.5}GaAs$ 第2クラッド層44($15\mu m$)/ $Al_{0.5}GaAs$ 第1ガイド層45($20nm$)/ $In_{0.1}GaAs$ 第1井戸層46($8nm$)/ $Al_{0.1}GaAs$ 障壁層47($5nm$)/ $In_{0.1}GaAs$ 第2井戸層48($8nm$)/ $Al_{0.1}GaAs$ 第2ガイド層49($20nm$)

上記の $Al_{0.1}GaAs$ 第2ガイド層49までの部分が、波長 $920nm$ のレーザ発振を起こす活性層となる。最後に、上記活性層の上に、p型 $Al_{0.5}GaAs$ 第3クラッド層50($3\mu m$)を、次いで、p型GaAsコンタクト層51($2\mu m$)を積層する。

【0085】

次に導波路を形成するため、通常のプロセスにてp型GaAsコンタクト層51上にフォトリソを形成する。このとき、導波路方向が $\langle 110 \rangle$ 方向となるようにしておく。ついで、硫酸系エッチャントを用いてGaAsコンタクト層51をエッチングする。続いて、フッ酸系エッチャントを用いて第3クラッド層50、活性層49, 48, 47, 46, 45、および第2クラッド層44までエッチングする。このエッチングは、エッチング停止層43で自動的に停止する。この際、硫酸系エッチャントは面方位依存性がなく、ほぼ垂直なエッチング面になるが、フッ酸系エッチャントでは面方位依存性があるため、導波路方向に垂直な面では $\langle 111 \rangle_A$ 面が露出し、導波路方向となす角度は 54.7° 程度となる。

【0086】

一方、導波路側面は、エッチング条件により、準メサ構造または逆メサ構造のいずれにもなりうる。また、図示したように、ほぼ垂直な面ができることもある。この導波路側面にSiN膜52を埋め込み、電極用コンタクト層51の頭出しを行なう。上面には図示しない金属の電極を蒸着し、正電極とする。下面には図示しない透明電極材料を形成し負電極とする。最後に、一方は導波路がとぎれている箇所で劈開し、面54を形成する。その後、面54の側に真空蒸着法を用いて TiO_2 、 SiO_2 等で高反射膜を形成する。

【0087】

次に、この半導体レーザの機能について説明する。正電極から負電極側へと電流を流すと活性層中で光が励起されて導波路内を伝搬する。導波路の屈折率は約3.4であり、SiN膜の屈折率が約1.6程度であるから、導波路からSiN膜中へ光は屈折せずすべて反射されて基板41の側へ放射される。一方の面54は、高反射膜を蒸着しているため、このレーザ素子では、面53の側からは光の帰還がなく、面54の側から大きな光の帰還がかかりレーザ発振するようになる。活性層は、レーザ発振波長が $920nm$ になるように設計されている。

【0088】

図17に、n型GaAsの吸収係数のエネルギー(波長)依存性を示す。本例では、ドーパ量 $2 \sim 4 \times 10^{18} cm^{-3}$ のn型GaAs基板を用いている。波長 $920nm$ に相当するエネルギー $1.35eV$ では、吸収係数は $10 cm^{-1}$ 以下となる。これは、厚さ $100\mu m$ のGaAs基板の場合、式(1)によれば、透過率が約90%であることを示している。実

10

20

30

40

50

際には、吸収係数 30 cm^{-1} 程度であれば、厚さ $100\text{ }\mu\text{m}$ の GaAs 基板で透過率 70% 以上が確保できるので、光のエネルギー約 1.39 eV 、すなわち波長 890 nm 程度以上なら本レーザチップの発明の効果を楽しむことができる。

【0089】

次に、この半導体レーザ素子を光送受信装置に搭載した際の機能について説明する。図 18 は、空間光伝送モジュールのデータ送信部（発光部）のみ図示してある。本例での半導体レーザ素子 1 は、正電極（図示せず）を下に回路基板 6 に実装されている。実装には、回路基板 6 上に図示しない銀ペーストを適量塗布し、半導体レーザ素子 1 を張り付け、80 で数分間硬化させる。半導体レーザ素子の負電極（図示せず）は、回路基板 6 の電極（図示せず）とワイヤ 7a で接続されている。半導体レーザ素子の上部は、光を拡散させる拡散材 11 の混入した透明樹脂 3 でモールドされ、同一樹脂によりモールドレンズ 4 が形成されている。

10

【0090】

上述したように、導波路からの反射光は樹脂 3 の中を伝搬し、その進行方向中心は上方から少し角度のずれた方向となる。上述のように、一般に、送受信一体型モジュールは対向させて使用することが多いので、モールドレンズ 4 より出射する光ビームは上方に進行することが望ましい。本例のモールドレンズは、上方から入射した光が半導体レーザ素子 1 の反射面で焦点を結ぶように設計しておく。そのため、逆に焦点付近から斜め方向に出射された光ビームも空間上方へ放射される。このとき、拡散材が含まれているため、空間へ放射されるビームは、実際には上方へ向かうある広がりをもったビームとなる。その広がり角度は、拡散材の濃度で決定され、縦横ともに同じ広がり角を持つようになる。このような光の出射および入射は、光送受信モジュールの発光部としては好ましい。また、受信部としては実施例 1 で説明した受光素子を用いた。本実施例の半導体レーザ素子と、実施例 2 の InP の受光素子を用いた場合、実施例 2 で説明したように、黒色カーボン等の光フィルタ用モールド樹脂は不要となる。このため、本例では、意匠性を向上させるために、モールド樹脂として拡散材入りの乳白色の樹脂を用いた。

20

【0091】

次に、本実施例の効果について説明する。本実施例の半導体レーザ素子を用いることにより、特別なヒートシンクを用いることなく、上方に出射されるレーザ光を上面から取り出すことができる。また、GaAs 基板は、金属に比べて熱伝導率が低いため、主たる発熱部であるレーザ発光部と回路基板 6 までの距離は近いことが望ましい。本例では、波長を 890 nm 以上に設定することにより、GaAs 基板での吸収を極力抑えることができる。このため、レーザ発光部を回路基板 6 に対して下側に向けてダイボンドする、いわゆるジャンクションダウン型の素子実装が可能になった。

30

【0092】

加えて、図 19 に示すように、本例の半導体レーザ素子 1 は SiN 埋め込み膜の厚さが $20\text{ }\mu\text{m}$ 相当あり、これが pn ジャンクションの側面を覆っているため、ダイボンド時の銀ペースト 10 の這い上がりがあった場合でも、それが $20\text{ }\mu\text{m}$ 以下であれば電流リークを防ぐことができる。また、光フィルタが不要となり、そのためモールド樹脂の選択が可能となった。さらには、SiN 膜が端面保護の機能を果たしており、簡単な方法で信頼性の高いレーザチップを実現することができる。

40

【0093】

（実施例 4）

本発明の実施例 4 について、図 20 を用いて説明する。図 20 は、本発明の実施例 3 における空間光伝送モジュール 62 を搭載したミニディスクプレーヤ 60 およびリモコン 61 を示す斜視図である。このミニディスクプレーヤ 60 は全表面が銀色のアルミニウムで仕上げられている。実施例 3 のモールド樹脂は乳白色であり、銀色のケースとのカラーバランスが良く、システム全体の商品価値を向上させている。

【0094】

本実施例では、意匠性を向上させるため商品のカラーにマッチした光送受信モジュールを

50

提供することが示されている。さらに、本発明の空間光伝送システムを用いることにより、はじめてモールド樹脂を透明にすることができるようになった。

【0095】

上記において、本発明の実施の形態について説明を行なったが、上記に開示された本発明の実施の形態は、あくまで例示であって、本発明の範囲は、これら発明の実施の形態に限定されない。本発明の範囲は、特許請求の範囲の記載によって示され、さらに特許請求の範囲の記載と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれる。

【0096】

【発明の効果】

本発明の空間光伝送システムを用い、受光素子を構成する半導体材料の吸収特性に合わせた波長のレーザ光を出射させるLEDを用いることにより、背景光の雑音を大幅にカットして高いSN比を得ることができる。このため、空間光伝送モジュールを黒色カーボンで覆って雑音をカットする必要がなくなり、メタリック樹脂や透明なカラー樹脂を用いても高いSN比を得ることができる。この結果、本空間光伝送システムが搭載される電子機器の意匠性を高め商品価値を向上させることができる。また、上記LEDの搭載に際し、ゼリー状の樹脂をプリコート材として用いることにより、LEDの発光特性を安定して良好にして信頼性を向上させることができる。さらに、回路基板上にLEDを搭載するに際し、出射面を回路基板面に略平行にすることにより、望ましい放射パターンを確保することができる。また、上記LEDの搭載にマウント材を用いることにより、使用中の温度上昇等を防止することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施例1における空間光伝送モジュールを示す断面図である。

【図2】 図1の空間光伝送モジュールのなかの半導体レーザモジュールを示す斜視図である。

【図3】 図1の空間光伝送モジュールのなかの受光素子を示す斜視図である。

【図4】 受光素子を構成する半導体材料の吸収係数の波長依存性を示す図である。

【図5】 本発明の実施例1における受光素子を構成するシリコン中の生存光子数を示す図である。

【図6】 光源をLEDとした場合の受光素子の構造とSN比との関係を示す図である。(a)は中心波長850nm、(b)は中心波長900nm、(c)は中心波長950nm、(d)は中心波長1000nm、の場合を示す。

【図7】 光源をLEDとした場合の受光素子の構造とSN比との関係を示す図である。(a)は波長850nm、(b)は波長900nm、(c)は波長950nm、(d)は波長1000nm、の場合を示す。

【図8】 本発明の実施例1のシリコン受光素子における(中心)波長と最適化SN比との関係を示す。

【図9】 本発明の実施例2のInP受光素子における生存光子数を示す図である。

【図10】 光源をLEDとし、受光素子をInP系PDとした場合のp層とi層との合計厚さとSN比との関係を示す図である。(a)はピーク波長900nm、(b)はピーク波長920nm、(c)はピーク波長940nm、(d)はピーク波長960nm、の場合を示す。

【図11】 光源を半導体レーザ素子LDとし、受光素子をInP系PDとした場合のp層とi層との合計厚さとSN比との関係を示す図である。(a)はピーク波長900nm、(b)はピーク波長920nm、(c)はピーク波長940nm、(d)はピーク波長960nm、の場合を示す。

【図12】 本発明の実施例2において受光素子を最適構造化したInP系PDを用いた場合のピーク波長とSN比との関係を示す。

【図13】 光源をLEDとし、受光素子をGe系PDとした場合のp層とi層との合計厚さとSN比との関係を示す図である。(a)はピーク波長1520nm、(b)はピーク波長1540nm、(c)はピーク波長1560nm、(d)はピーク波長1580nm

10

20

30

40

50

m、の場合を示す。

【図14】 光源を半導体レーザ素子LDとし、受光素子をGe系PDとした場合のp層とi層との合計厚さとSN比との関係を示す図である。(a)はピーク波長1520nm、(b)はピーク波長1540nm、(c)はピーク波長1560nm、(d)はピーク波長1580nm、の場合を示す。

【図15】 本発明の実施例2において受光素子を最適構造化したGe系PDを用いた場合のピーク波長とSN比との関係を示す。

【図16】 本発明の実施例3の半導体レーザ素子の斜視図である。

【図17】 図16の半導体レーザ素子における吸収係数とエネルギー(波長)と不純物濃度との関係を示す図である。

10

【図18】 本発明の実施例3の半導体レーザ素子を組み込んだ空間光伝送モジュールの発光部を示す図である。

【図19】 図18の部分拡大図である。

【図20】 本発明の実施例4における電子機器(ミニディスクプレーヤ)の斜視図である。

【図21】 従来の空間光伝送モジュールの断面図である。

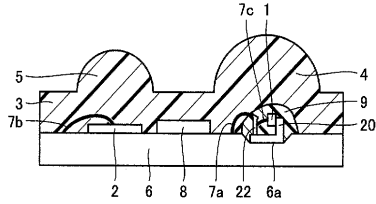
【図22】 従来の空間光伝送モジュールの光源に用いられるLEDの発光スペクトルを示す図である。

【符号の説明】

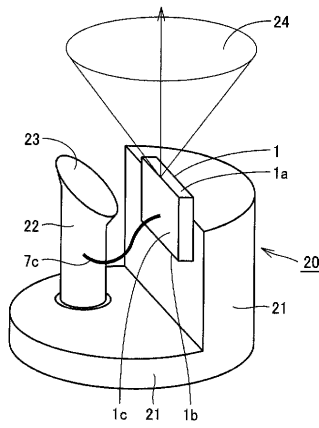
1 半導体レーザ素子、1a 半導体レーザ素子上面、1b 半導体レーザ素子下面、1c 半導体レーザ素子表面、2 受光素子、3 モールド樹脂、4 モールドレンズ(発光部)、5 モールドレンズ(受光部)、6 回路基板、6a 回路基板に設けた凹部、7 ワイヤ、8 IC回路、9 保護樹脂、10 銀ペースト、11 光拡散材、20 レーザマウント、21 ヒートシンク、21b 基部、22 電極、23 平坦部(電極)、24 レーザビーム、31 シリコン基板、32 真性シリコン層、33 p型シリコン層、41 GaAs基板、42, 44 n型クラッド層、43 エッチング停止層、45, 49 光ガイド層、46, 48 量子井戸層、47 障壁層、50 p型クラッド層、51 コンタクト層、52 SiN、53, 54 半導体レーザ素子の面、60 ミニディスクプレーヤ(電子機器)、61 リモコン、62 空間光伝送モジュール。

20

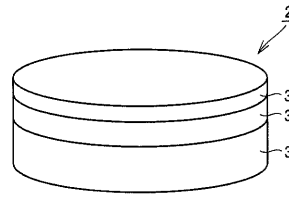
【図 1】



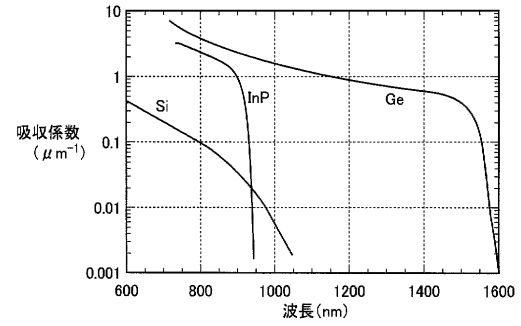
【図 2】



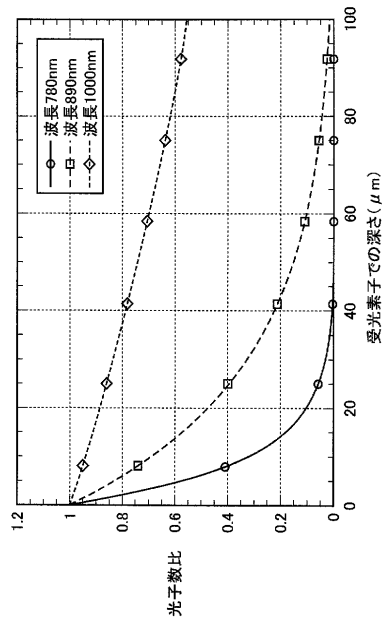
【図 3】



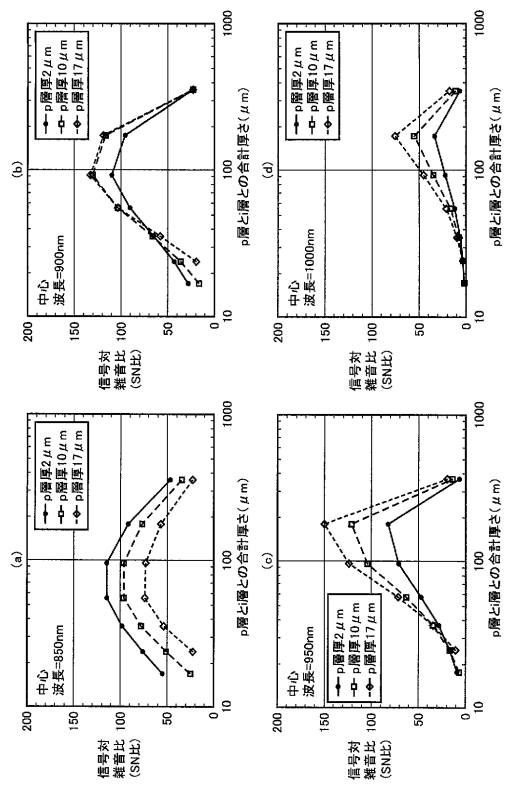
【図 4】



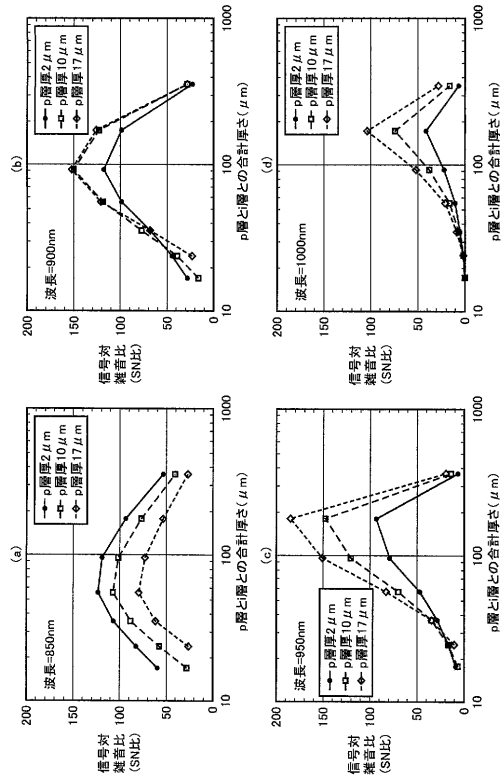
【図 5】



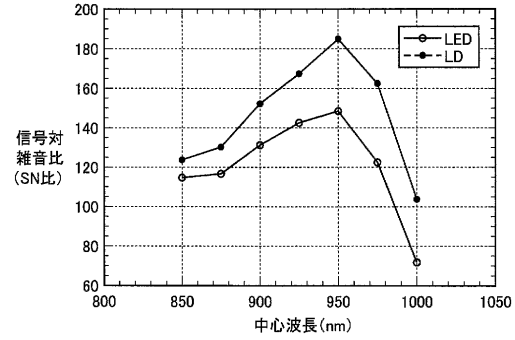
【図 6】



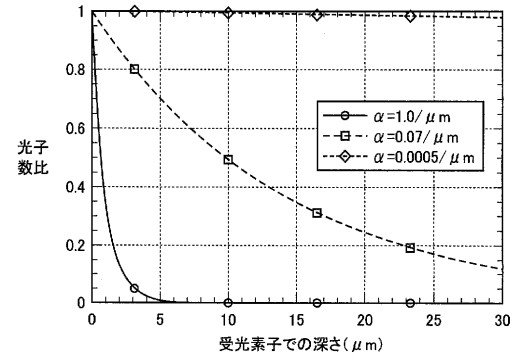
【図 7】



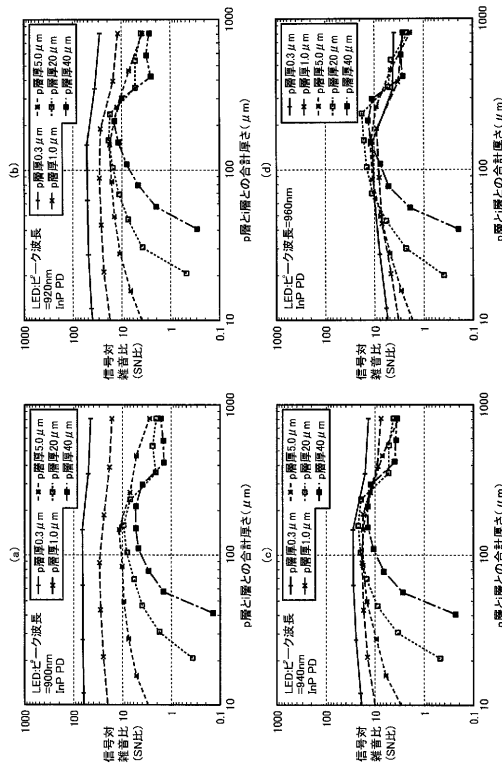
【図 8】



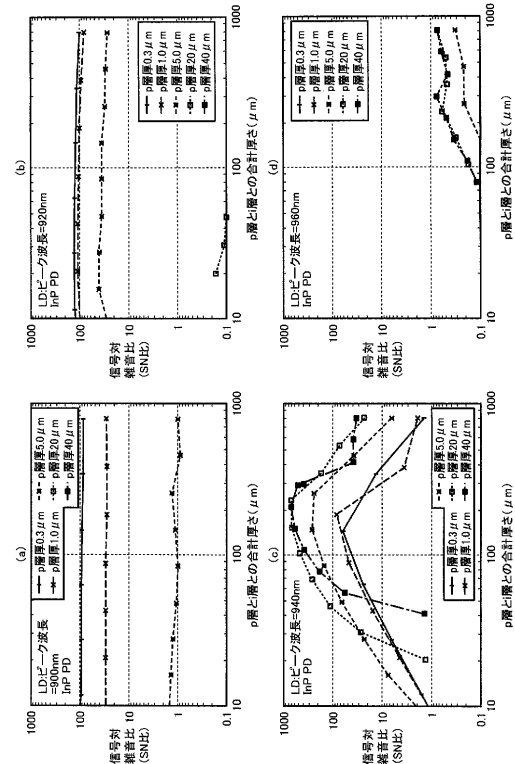
【図 9】



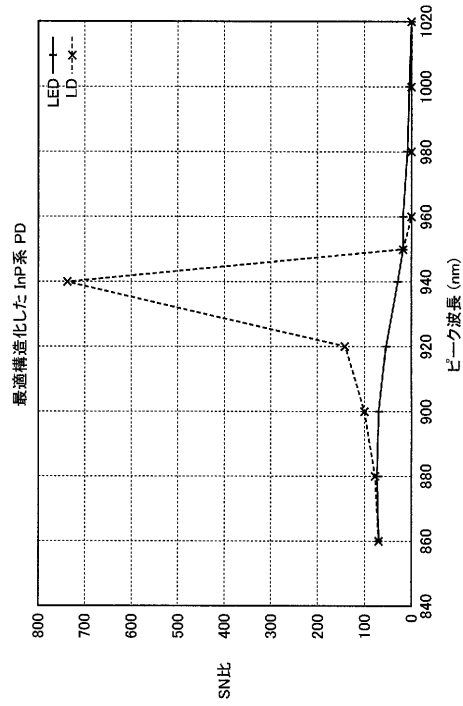
【図 10】



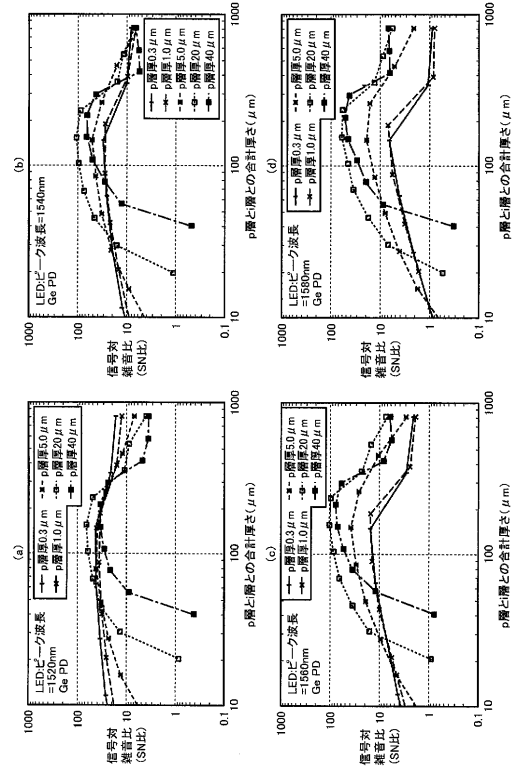
【図 11】



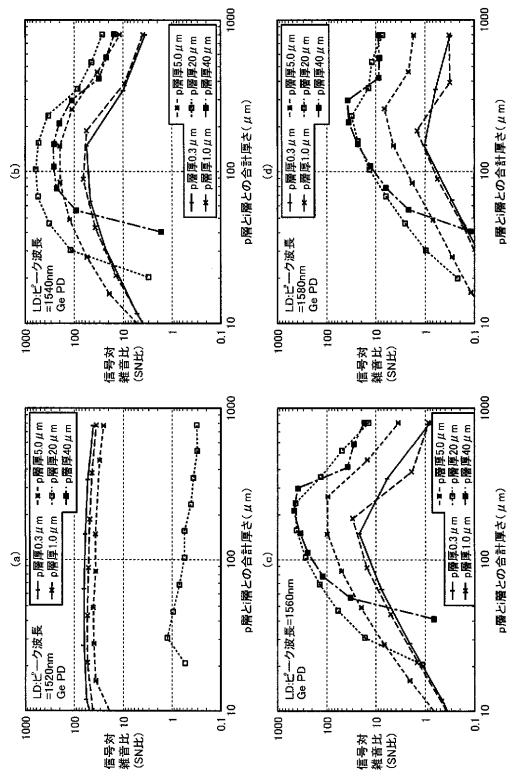
【図 1 2】



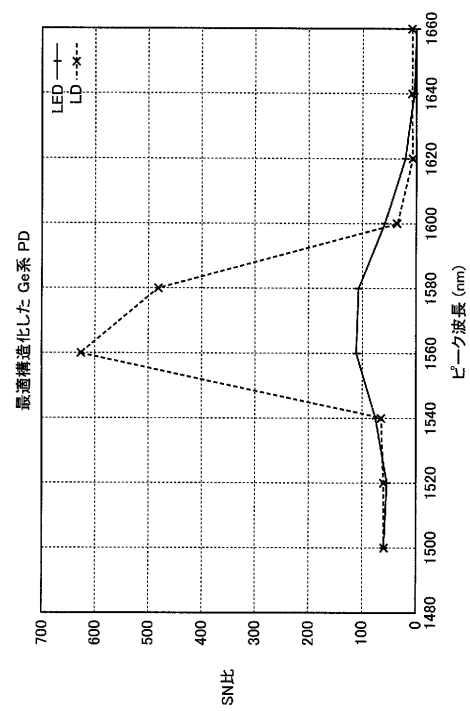
【図 1 3】



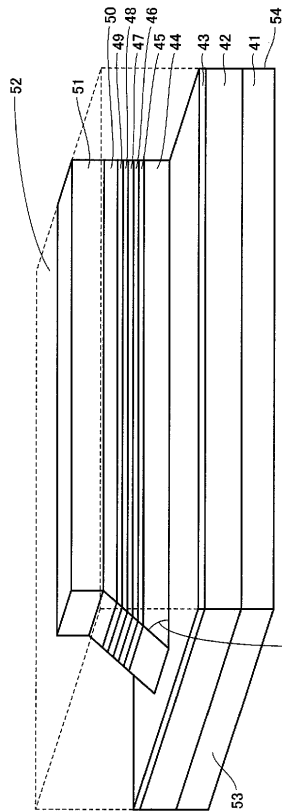
【図 1 4】



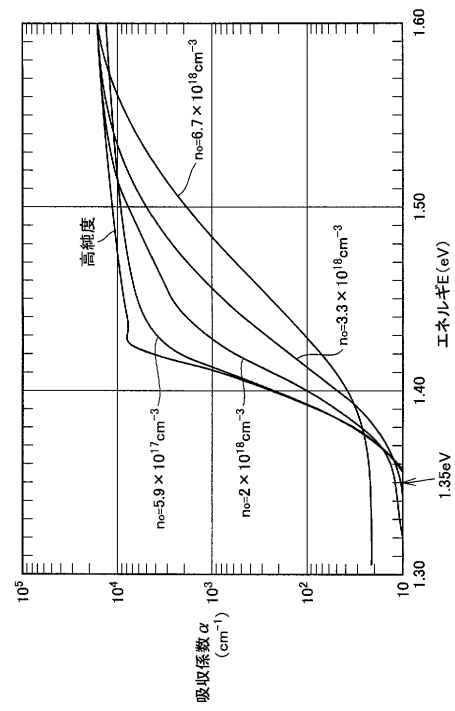
【図 1 5】



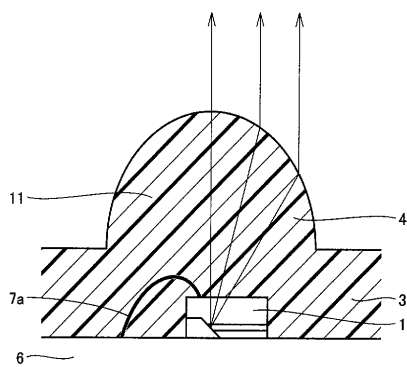
【図 16】



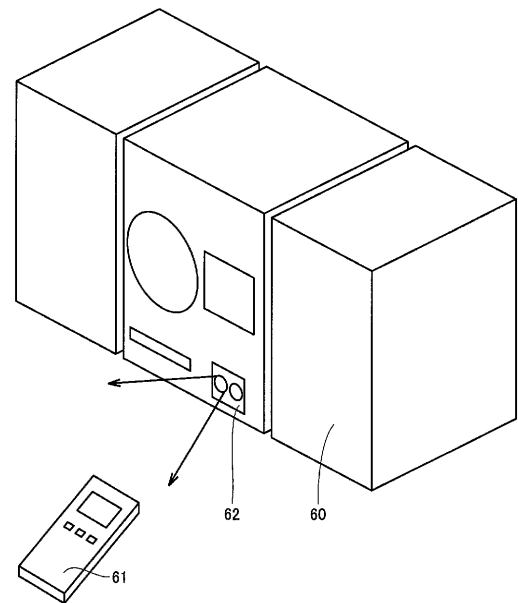
【図 17】



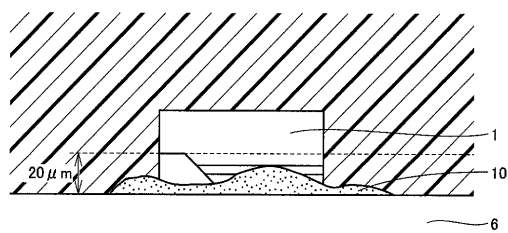
【図 18】



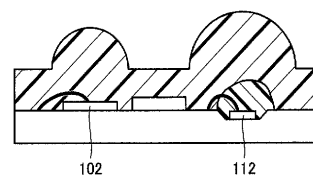
【図 20】



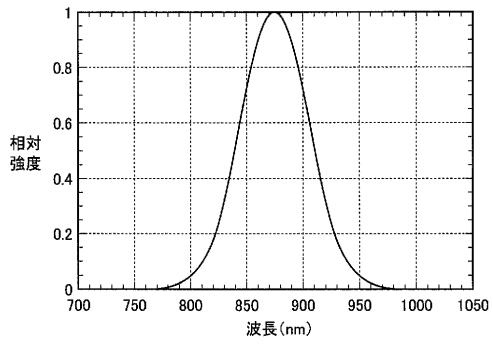
【図 19】



【図 21】



【図 22】



フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H01S 5/00-5/50

H01L 31/0232

H04B 10/02

H04B 10/28