

(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2007-271925

(P2007-271925A)

(43) 公開日 平成19年10月18日(2007. 10. 18)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
G02F 1/377 (2006.01)	G02F 1/377	2K002
H01S 5/026 (2006.01)	H01S 5/026 610	5F089
H01S 5/50 (2006.01)	H01S 5/50 610	5F173
H01L 31/12 (2006.01)	H01L 31/12 H	

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2006-97399 (P2006-97399)
 (22) 出願日 平成18年3月31日 (2006. 3. 31)

(71) 出願人 000005223
 富士通株式会社
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
 1号
 (74) 代理人 100105337
 弁理士 眞鍋 潔
 (74) 代理人 100072833
 弁理士 柏谷 昭司
 (74) 代理人 100075890
 弁理士 渡邊 弘一
 (74) 代理人 100110238
 弁理士 伊藤 壽郎
 (72) 発明者 大坪 孝二
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
 1号 富士通株式会社内

最終頁に続く

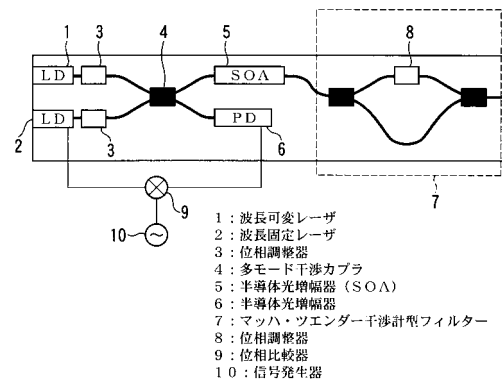
(54) 【発明の名称】 光集積素子

(57) 【要約】

【課題】 光集積素子に関し、CW光を入力として、低消費電力、且つ、低雑音でパルス幅が狭い光パルス列を生成することが可能な小型の光集積素子を実現しようとする。

【解決手段】 波長可変レーザ1及び波長固定レーザ2からなる光源と、2つの半導体レーザ1及び2からの光を非線形効果に依る四光波混合を行って周波数コムを生成する半導体光増幅器5と、2つの半導体レーザ1及び2からの光が入力される半導体光検出器6とが集積化されてなることが基本になっている。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

少なくとも 1 つが波長可変レーザである 2 つの半導体レーザからなる光源と、
2 つの半導体レーザからの光を非線形効果に依る四光波混合を行って周波数コムを生成する半導体光増幅器と、

2 つの半導体レーザからの光が入力される半導体光検出器とが集積化されてなることを特徴とする光集積素子。

【請求項 2】

半導体光増幅器の ASE を除去するためのフィルタが集積化されてなることを特徴とする請求項 1 記載の光集積素子。

10

【請求項 3】

半導体光検出器と半導体レーザとが位相同期ループで結ばれてなることを特徴とする請求項 1 或いは請求項 2 記載の光集積素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、全光信号処理に依る光通信システム、マイクロ波／ミリ波通信、光プローブに依る高速現象の測定などに用いる光短パルス列を発生させるのに好適な光集積素子に関する。

【背景技術】

20

【0002】

従来、光パルス列を発生する方法としては、(1) 変調に依る方法、(2) モードロックに依る方法、(3) 周波数ビートに依る方法に大別される (例えば、非特許文献 1 を参照)。

【0003】

図 10 は光パルス列の発生方法を説明する為の説明図であり、(A) は上記 (1) 変調に依る方法に、(B) は上記 (2) モードロックに依る方法に、(C) は上記 (3) 周波数ビートに依る方法にそれぞれ対応している。

【0004】

図 10 の (A) に於いて、90 はパルス列を作る為の信号源、91 はレーザダイオードに電流を注入する為の電流源、92 はレーザダイオード、93 は CW (continuous wave) レーザ光をオンオフする変調器である。図 10 の (A) に於ける上側図では、信号源 90 で発生した電気信号をレーザダイオード 92 に注入して電気信号を光信号に変換することで光パルス列を作成している。また、図 10 の (A) に於ける下側図では、直流電流を注入されたレーザダイオード 92 で発生した CW 光を信号源 90 で駆動される変調器 93 に依ってオンオフすることでパルス列を作成している。

30

【0005】

図 10 の (B) に於ける上側図で、94 は変調信号源、95 は直流電流源、96 はモードロックレーザであり、モードロックレーザ 96 中に在る 97 は変調器部、98 は利得発生部である。モードロックレーザ 96 の利得発生部 98 に電流を注入してレーザ光を発生させ、変調器部 97 をレーザの共振器構造で決まる共振周波数の整数倍で駆動してモードロックすることでパルス列を作成する。また、図 10 の (B) に於ける下側図で、99 はバイアス電源、100 は直流電流源、101 はモードロックレーザであり、モードロックレーザ 101 中に在る 102 は過飽和吸収部、103 は利得発生部である。モードロックレーザ 101 の利得発生部 103 に電流を注入してレーザ光を発生させ、過飽和吸収部 102 には逆バイアスを印加してモードロック動作をさせる。

40

【0006】

図 10 の (C) に於いて、104 は直流電流源、105 と 106 はそれぞれ発振波長を異にするレーザダイオード、107 は光結合器である。CW 駆動したレーザダイオード 105 及び 106 の周波数ビートをとる為、各々から出力したレーザ光を光結合器 107 で

50

結合する。

【0007】

図10に見られる(1)変調に依る方法に依れば、CW信号を直接、或いは、外部変調器を用いて光をオンオフすることで光パルス列を生成させる方法である。

【0008】

図10に見られる(2)モードロックに依る方法に依れば、レーザ光の複数のモードの位相を或時間で一致させることに依って光パルス列を生成させる方法であり、半導体レーザに過飽和吸収領域を加えることで、コンパクトな素子で高速の光短パルス列を発生させることが可能である。

【0009】

図10に見られる(3)周波数ビートに依る方法に依れば、周波数の異なる複数の光源を同じ周波数間隔で並べ、そのビートを採って光パルス列を発生させる方法である。

【0010】

上記(2)と(3)の方法は、1つのレーザ光源に於ける複数のモード、或いは、複数の異なる波の単一モード光源から光パルス列を発生させる方法であり、このような光が作る電場 $E(t)$ は下記の式であらわされる。

【数1】

式1

$$E(t) = \sum_n E_n \exp[(\omega_0 + n\Delta\omega)t + \phi(t)]$$

10

20

式1に於いて、 E_n は振幅、 ω_0 は角周波数、 $\Delta\omega$ は2つのレーザ光の周波数差、 t は時間、 $\phi_n(t)$ は時間 t に於ける位相、 n は正負の整数をそれぞれ示している。

【0011】

出力されるパルス列 $I(t)$ は下記の式で表される。

【数2】

式2

$$I(t) = E(t) E^*(t)$$

30

式2に於いて、 $E^*(t)$ は $E(t)$ の複素共役を示している。

【0012】

図11並びに図12は振幅 E_n が異なる2波～5波の光を混合した場合に得られるパルス列 $I(t)$ の計算結果を表す線図である。尚、パルス列の周期は1THzとしてある。

【0013】

図11の(A)では縦軸には光強度を、横軸には角周波数 ω をそれぞれ採ってあり、周波数コムを表している。図11の(B)、図12の(A)、(B)、(C)に於いて、横軸には時間を、縦軸には規格化された光強度をそれぞれ採ってあり、図11の(B)は2波混合の場合、図12の(A)は3波混合の場合、図12の(B)は4波混合の場合、図12の(C)は5波混合の場合をそれぞれ表している。

40

【0014】

図からすると、合成する光波の数が増加するほど光パルスに於けるパルス幅は狭くなることが看取される。

【0015】

さて、光パルス列を発生させるに際し、前記説明した「(1)変調に依る方法」を採っ

50

た場合、光パルス列と同じ周波数の信号発生源が必要となってシステムは複雑になる。また、「(2) モードロックに依る方法」を採った場合、位相整合条件が厳しく、また光パルス列の波長領域や繰り返し周波数を自由に変えることは難しい。更に、「(3) 周波数ビートに依る方法」を採った場合、パルス幅をより狭くした光パルス列を生成させるには複数の光源が必要であり、そして、光源が増えるほど各々の光源の波長間隔や位相の調整が煩雑になり、システムの複雑化、消費電力及び雑音の増大に結び付いてしまう。尚、光ファイバの非線形効果を用いて2つの光源を用いて周波数コムを形成して短パルス列を生成する方法も知られているが、小型化の面からすると不利である。

【0016】

従来、前記「(3) 周波数ビートに依る方法」の分野に入る光パルス列の生成方法として、四光波混合 (four wave mixing: FWM) 効果と呼ばれる効果を利用することが知られている。即ち、非線形媒質 (例えば半導体光増幅器) 中に制御光 (角周波数 ω_p) と信号光 (角周波数 ω_s) を入射させた場合に位相共役光 (角周波数 $2\omega_p - \omega_s$) が発生する効果を利用する方法である。

【0017】

この四光波混合効果を用いた場合、制御光、信号光、位相共役光は同じ周波数間隔で並んでいるので、独立した光源を用いる場合に比較して、狭い幅のパルスを容易に実現することができる。そして、四光波混合効果を利用して生成される周波数コムの周波数間隔は制御光と信号光の周波数差で決まるので、各々独立した光で周波数コムを生成させる場合よりも周波数差の制御が容易、即ち、パルス列の周期制御が容易である。

【0018】

そこで、現在、四光波混合効果を利用することについて、様々な研究開発が行なわれ、その結果である発明も知られていて、例えば、第1の光パルス列と第2の光パルス列とを非線形光学媒質 (例えば半導体光増幅器) に入射して四光波混合を行い、新たな位相を有する光パルス列に変換する発明が知られている (例えば、特許文献1を参照。)。

【0019】

また、四光波混合を行う非線形媒質に半導体レーザ増幅器を用いることに依って光パルス列を形成し、出力光の一部をO/E変換して元の光源にフィードバックする発明が知られている (例えば、特許文献2を参照。)。

【0020】

更に、四光波混合素子として半導体光増幅器を用い、位相共役光を発生させて光パルス列を生成させる発明が知られている (例えば、特許文献3を参照。)。

【0021】

前記四光波混合効果を利用する各発明に於いては、光パルス列を形成する為、非線形光学媒質に光パルスを入力しなければならない為、所要の光パルス列を実現する為、別途、光パルス列を生成する装置を必要としている。そして、前記説明した各発明に於いては、四光波混合効果をパルス列の波長や位相の変換手段として用いているのみであるから、そのもてる力を充分有効に活用しているとは到底思われない。因に、本発明者の知見に依れば、四光波混合効果を利用すれば、光パルス列を直接生成させることが可能である。

【特許文献1】特許第3089420号明細書

【特許文献2】特許第3412776号明細書

【特許文献3】特開2001-27769号公報

【非特許文献1】IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques vol. 47, 1206 (1999)

【非特許文献2】H. Ishii et al. "A Tunable Distributed Amplification DFB Laser Diode (TDA-DFB-LD)", IEEE Photon. Technol. Lett., VOL. 10, NO. 1, pp 30-32 (1998)

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0022】

本発明では、CW光を入力として、低消費電力、且つ、低雑音でパルス幅が狭い光パルス列を生成することが可能な小型の光集積素子を実現しようとする。

【課題を解決するための手段】

【0023】

本発明に依る光集積素子に於いては、少なくとも1つが波長可変レーザである2つの半導体レーザからなる光源と、2つの半導体レーザからの光を非線形効果に依る四光波混合を行って周波数コムを生成する半導体光増幅器と、2つの半導体レーザからの光が入力される半導体光検出器とが集積化されてなることを基本とする。

【発明の効果】

10

【0024】

前記手段を採ることに依り、低消費電力で雑音が少なく、そして、CW光を入力して幅が狭い光パルスを直接生成することが可能であり、しかも、従来の技術に依るものと比較して、構成が簡単で小型の素子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】

【0025】

図1は本発明による光集積素子を表す要部ブロック図であり、図に於いて、1は波長可変レーザ、2は波長固定レーザ、3は位相調整器、4は多モード干渉(multi-mode interference: MMI)カプラ、5は3次の非線形感受率が高い半導体光増幅器(semiconductor optical amplifier: SOA)、6は半導体光検出器(photo-detector: PD)、7はマッハ・ツェンダー干渉計型フィルタ、8はフィルタ7内の一方の導波路内に介挿されたヒーター電極で構成されている位相調整器、9は位相比較器、10は信号発生器をそれぞれ示している。

20

【0026】

この光集積素子に於いては、波長可変レーザ1及び波長固定レーザ2に電流を供給して発振させ、発生した2つのレーザ光は、それぞれ位相調整器3を介して多モード干渉カプラ4に入射され、多モード干渉カプラ4からの周波数間隔 $\Delta\omega$ である2つのレーザ光は各々各々分岐されてSOA5と光検出器6に入射される。

【0027】

30

SOA5からは、波長可変レーザ1の光と波長固定レーザ2の光の他に四光波混合効果に依る位相共役光が発生して、それ等の光で周波数コムが形成される。

【0028】

元のレーザ光と位相共役光とは同じ周波数間隔で並んでいるので、そのビートによってパルス列が発生する。それと同時に2つの半導体レーザ1及び2で発生したレーザ光のビート信号(周波数 $\Delta\omega$)を検出し、信号発生器10から出力される周波数 ω_0 の信号との差を取った周波数 $|\omega_0 - \Delta\omega|$ の信号を半導体レーザの1つにフィードバックして位相同期回路(phase locked loop: PLL)を形成する。

【0029】

位相調整器3には電流が注入され、四光波混合効果に依る位相共役光が最大になるように位相調整を行う。

40

【0030】

光検出器6では波長可変レーザ1の光と波長固定レーザ2の光を受光し、それ等の周波数差に対応する正弦波の電気信号が出力される。で、信号発生器10で発生される正弦波信号と光検出器6からの正弦波信号とから位相比較器9に入力し、そこで周波数差を採った信号を波長固定レーザ2に入力することに依り、波長可変レーザ1の光と波長固定レーザ2の光に於ける周波数差の安定化、即ち、パルスの周期を安定化している。

【0031】

四光波混合効果に依って発生した光は元の信号の位相共役光であるため、1つ1つ独立した光のビートを取る方法に比較して位相調整が容易である。また、光パルスの繰り返し

50

周波数は、元の光、即ち、半導体レーザ 1 及び 2 のいずれか 1 つの波長を変えることによって簡単に变化させることができる。更に、一緒に集積されている光検出器 6 で 2 つのレーザ光のビート信号を検出し、PLL を組んで半導体レーザ 2 にフィードバックをかけることによって光パルス列の安定化とノイズ低減を実現できる。

【0032】

本発明に依る光集積素子に於いては、前記したように、2 つの半導体レーザ、半導体光増幅器、半導体光検出器をモノリシック集積化してあり、これに加え、マッハ・ツェンダ—干渉計型型フィルタを組み込むことで、SOA 5 に現れる不要な ASE (amplified spontaneous emission) をカットすることができる。

【0033】

本発明では、2 つの光源を用い、光源の数以上の光で構成される周波数コムを生成することによって光パルス列を発生させている為、従来例に比較し、より簡単且つ小型な構成を用い、また、低い消費電力で狭いパルス幅の光パルス列を作ることができる。

【実施例 1】

【0034】

図 2 乃至図 9 は図 1 について説明した光集積素子に含まれる各デバイスを InP 基板上に作製した場合について詳細に説明する為の図であり、以下、各図について説明する。尚、各図に於いて、図 1 に於いて用いた記号と同じ記号で指示した部分は同一或いは同効の部分を表すものとする。

【0035】

図 2 は波長可変レーザ及び波長固定レーザを表す要部横断側面図であり、11 は n 側電極、12 は n-InP 基板、13 は p-InP 層、14 は n-InP 層、15 は p-InP 層、16 は電極コンタクト層、17 は p 側電極、18 は SCH (separate confinement heterostructure) 層を含む活性層、19 は回折格子を含むガイド層、20 は SiO₂ からなる絶縁層をそれぞれ示している。

【0036】

上記波長可変レーザは TDA (tunable distributed amplification) -DFB (distributed feedback) レーザ (例えば、非特許文献 2 を参照。) であって、図 2 に回折格子を含むガイド層 19 として表された部分に於いて、 $\lambda/4$ 位相シフト入り回折格子が形成された部分に無ドーピング InGaAsP ガイド層、1.55 μm 帯歪み MQW (multi quantum well) 層 + SCH 層 (活性層導波路)、バルク InGaAsP 層、p-InP クラッド層、p-InGaAs コンタクト層が積層された構造になっている。

【0037】

上記波長固定レーザは、n-InP 基板 12 上に $\lambda/4$ 位相シフト入り回折格子が形成された部分に無ドーピング InGaAsP ガイド層、1.55 μm 帯歪み MQW 層 + SCH 層 (活性層導波路)、p-InP クラッド層、p-InGaAs コンタクト層が積層された構造を取っている。

【0038】

図 2 に見られる構造では、p 側電極 17 及び n 側電極 11 間に矢印のように電流を流すと活性層 18 の部分で発光する。

【0039】

図 3 は波長固定レーザの要部縦断側面図、図 4 及び図 5 は波長可変レーザの要部縦断側面図及び要部上面図をそれぞれ示している。

【0040】

図 3 に於いて、21 は活性層、22 はコンタクト層、23 は $\lambda/4$ シフト、24 はガイド層、25 は p-InP 層、26 は n-InP 層、27 は回折格子をそれぞれ示し、レーザ光は活性層 21 で発生する。

【0041】

図 4 及び図 5 に於いて、28 はコンタクト層、29 はチューニング層、30 は SCH 層

10

20

30

40

50

を含む活性層、31はp-InP層、32はn-InP層、33はレーザ光発生電極、34はコンタクト層、35は波長チューニング電極をそれぞれ示し、レーザ光は活性層30で発生し、チューニング層29に電流を注入することで活性層30で発生するレーザ光の波長を変化させることができる。

【0042】

図6は図1で説明した位相調整器の要部横断側面図であり、図に於いて、41はn側電極、42はn-InP基板、43はp-InP層、44はn-InP層、45はp-InP層、46は電極コンタクト層、47はp側電極、48はSCH層を含む導波路層、49は回折格子を含むガイド層、50はSiO₂からなる絶縁層をそれぞれ示している。

【0043】

この位相調整器に於いては、p側電極47及びn側電極41間に矢印で示したように電流を流すようになっていて、その電流を流すことで導波路層48を通過する光の位相を変化させることができる。

【0044】

図7は図1で説明した多モード干渉カプラの要部横断側面図であり、図に於いて、51はn-InP基板、52はSCH層を含む導波路層、53はp-InP層、54はp-InP層、55はn-InP層、56はn-InP層をそれぞれ示している。

【0045】

多モード干渉カプラでは、電流注入を行わないため、図6に見られる位相調整器の層構造からp-InGaAsコンタクト層を除去した構造になっていて、導波路層52の部分

10

20

【0046】

図8は図1で説明したSOA及び光検出器の要部横断側面図であり、図に於いて、61はn側電極、62はn-InP基板、63はp-InP層、64はn-InP層、65はp-InPクラッド層、66はp-InGaAs電極コンタクト層、67はp側電極、68はSCH層を含む量子ドット活性層、69は回折格子を含むガイド層、70はSiO₂からなる絶縁層、71はSCH層を含むInGaAs光吸収層をそれぞれ示している。

【0047】

四光波混合光を発生して周波数コムを生成するSOA5の長さは、四光波混合光が2波以上出力されるように長く採ると良い。

30

【0048】

半導体光検出器6に於ける層構造は、n-InP基板62上にSCH層を含むInGaAs光吸収層71、p-InPクラッド層65、p-InGaAs電極コンタクト層66で構成されている。

【0049】

SOA5に於いては、p側電極67及びn側電極61を用いて矢印方向に電流を注入すると、活性層68の部分で四光波混合光が生成され、波長可変レーザ1（図1参照）及び波長固定レーザ2（図1参照）の発生光と共に出力される。

【0050】

半導体光検出器6に於いては、p側電極67及びn側電極61の間に逆バイアス電圧を印加し、光吸収層71で光を吸収し、電気信号に変換した後、p側電極67から信号を取り出すようになっている。

40

【0051】

p側電極67から出力される信号は2つの半導体レーザの周波数差 $\Delta\omega$ に起因するビート信号であって、信号発生器10から出力される周波数 ω_0 の信号との差を取った周波数 $|\omega_0 - \Delta\omega|$ の信号が半導体レーザの1つにフィードバックされる。このようなPLL（phase locked loop）の作用で出力光パルス列に於ける雑音は低減される。

【0052】

図9は図1で説明したマッハ・ツェンダー干渉計型フィルターの要部横断側面図であり

50

、図に於いて、81はn-I n P基板、82はp-I n P層、83はn-I n P層、84はp-I n Pクラッド層、85は導波路、86はSiO₂からなる絶縁層、87はn側電極、88はp側電極、89は電極コンタクト層をそれぞれ示している。

【0053】

マッハ・ツェンダー干渉計型フィルタに於いては、p側電極88及びn側電極87を用いて矢印方向に電流を注入する。光が通過する導波路84の一方の側にはヒータ電極が挿入されて位相を調節することが可能であり、そして、マッハ・ツェンダー干渉計型フィルタに依ってASEを除去した光が短パルス光となる。

【0054】

マッハ・ツェンダー干渉計型フィルタや前記説明した種々な要素を結ぶ光導波路の層構造は、多モード干渉カプラと同様の構造になっている。 10

【図面の簡単な説明】

【0055】

【図1】光集積素子を表す要部ブロック図である。

【図2】波長可変レーザ及び波長固定レーザを表す要部横断側面図である。

【図3】波長固定レーザの要部縦断側面図である。

【図4】波長可変レーザの要部縦断側面図である。

【図5】波長可変レーザの要部上面図である。

【図6】位相調整器の要部横断側面図である。

【図7】多モード干渉カプラの要部横断側面図である。 20

【図8】半導体光増幅器及び光検出器の要部横断側面図である。

【図9】マッハ・ツェンダー干渉計型フィルタの要部横断側面図である。

【図10】光パルス列の発生方法を説明する為の説明図である。

【図11】光を混合した場合に得られるパルス列の計算結果を表す線図である。

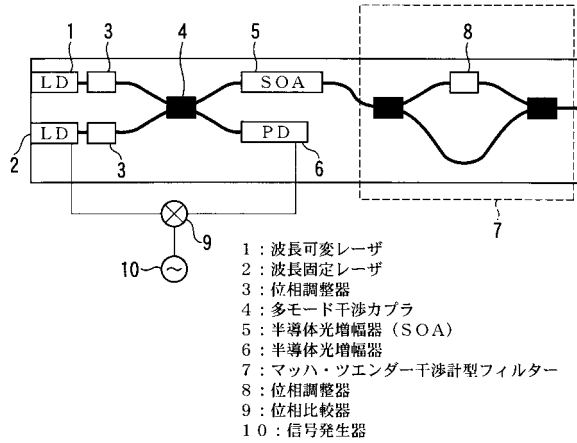
【図12】光を混合した場合に得られるパルス列の計算結果を表す線図である。

【符号の説明】

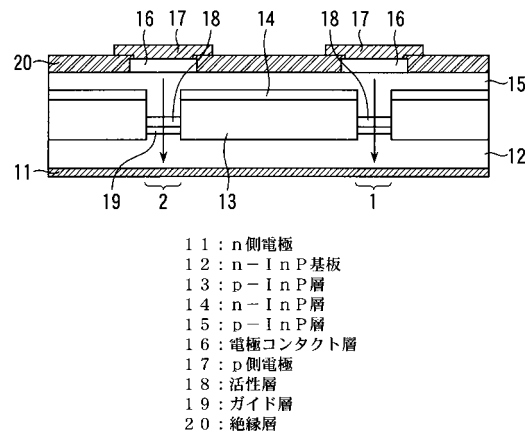
【0056】

- 1 波長可変レーザ
- 2 波長固定レーザ
- 3 位相調整器
- 4 多モード干渉カプラ
- 5 3次の非線形感受率が高い半導体光増幅器
- 6 半導体光検出器
- 7 マッハ・ツェンダー干渉計型フィルタ
- 8 位相調整器
- 9 位相比較器
- 10 信号発生器

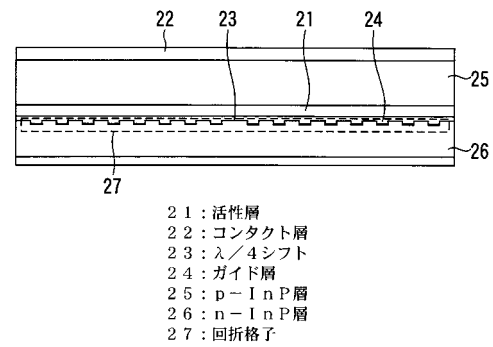
【図 1】



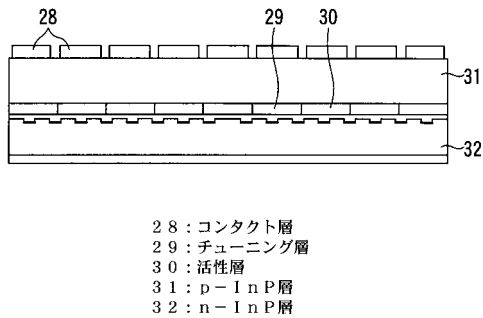
【図 2】



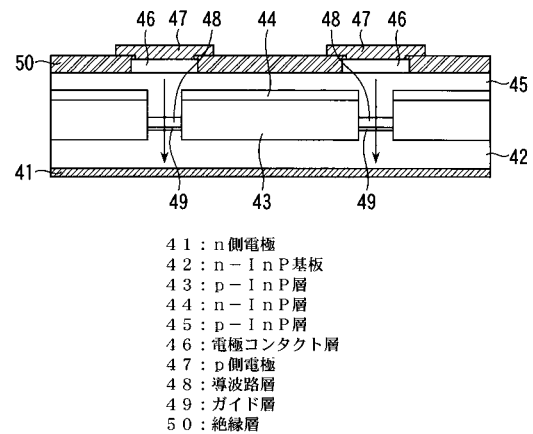
【図 3】



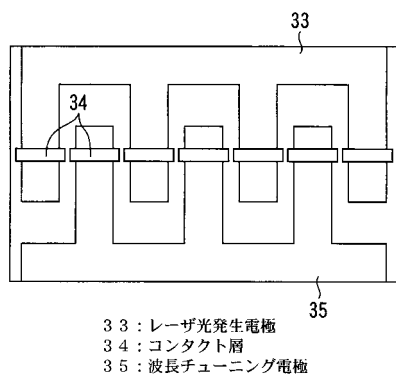
【図 4】



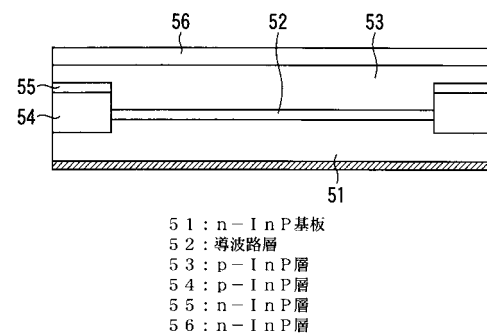
【図 6】



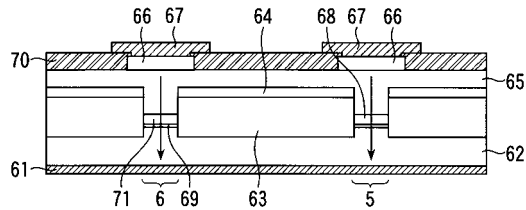
【図 5】



【図 7】

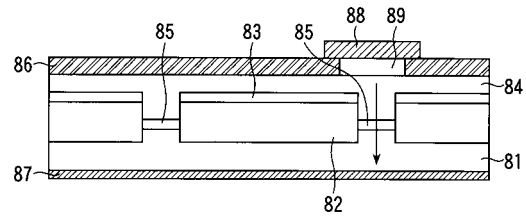


【図 8】



61: n側電極
62: n-InP基板
63: p-InP層
64: n-InP層
65: p-InPクラッド層
66: p-InGaAs電極コンタクト層
67: p側電極
68: 量子ドット活性層
69: ガイド層
70: SiO₂からなる絶縁層
71: InGaAs光吸収層

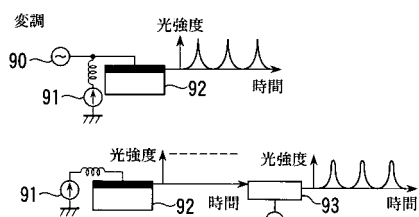
【図 9】



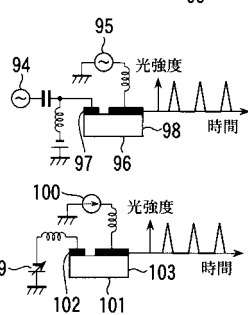
81: n-InP基板
82: p-InP層
83: n-InP層
84: p-InPクラッド層
85: 導波路
86: 絶縁層
87: n側電極
88: p側電極
89: 電極コンタクト層

【図 10】

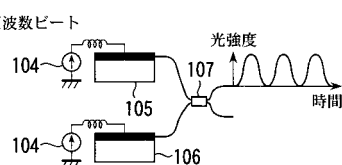
(A) 変調



(B) モードロック



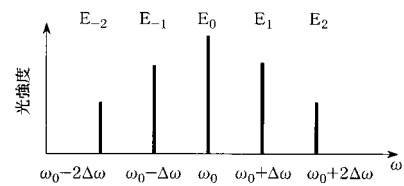
(C) 周波数ビート



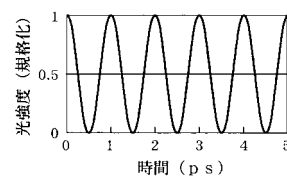
90: 信号源
91: 電流源
92: レーザダイオード
93: 変調器
94: 変調信号源
95: 直流電流源
96: モードロックレーザ
97: 変調器部
98: 利得発生部
99: バイアス電源
100: 直流電流源
101: モードロックレーザ
102: 過飽和吸収部
103: 利得発生部
104: 直流電流源
105及び106: 発振波長が異なるレーザダイオード
107: 光結合器

【図 11】

(A)



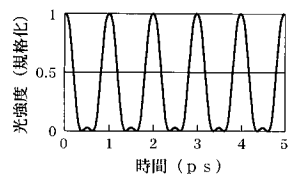
(B)



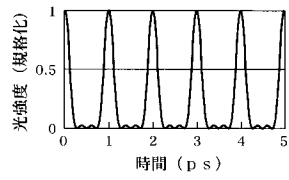
2波(E₀:E₁=1:1)

【図 12】

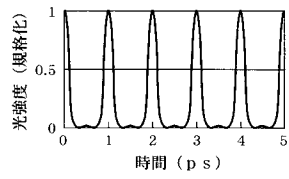
(A)

3波 ($E_{-1}:E_0:E_1=2:3:2$)

(B)

4波 ($E_{-1}:E_0:E_1:E_2=2:3:3:2$)

(C)

5波 ($E_{-2}:E_{-1}:E_0:E_1:E_2=1:2:3:2:1$)

フロントページの続き

Fターム(参考) 2K002 AB12 BA01 BA08 CA13 DA06 DA08 HA31
5F089 BA05 BB07 BB08 BC02 BC05 BC06 BC16 BC25 BC29 BC30
CA15 CA16 CA21 GA07 GA10
5F173 AB13 AB14 AB17 AD04 AD11 AD19 AD30 AH14 AK21 AR06
AR61 AR69 AR99 AS10 MA02 MA10 MC01 MC15 MC18 MF10
MF12 MF26 MF40 SA03 SA06 SA12 SA27 SC02 SC10 SE01
SE02 SF03 SF09 SF33 SF50 SF72