

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4414491号
(P4414491)

(45) 発行日 平成22年2月10日 (2010. 2. 10)

(24) 登録日 平成21年11月27日 (2009. 11. 27)

(51) Int. Cl.

F I

HO 1 S 5/40 (2006. 01)
 HO 3 F 3/08 (2006. 01)
 HO 4 B 10/00 (2006. 01)
 HO 4 B 10/22 (2006. 01)

HO 1 S 5/40
 HO 3 F 3/08
 HO 4 B 9/00 A

請求項の数 6 (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平11-505358
 (86) (22) 出願日 平成10年6月17日 (1998. 6. 17)
 (65) 公表番号 特表2002-507324 (P2002-507324A)
 (43) 公表日 平成14年3月5日 (2002. 3. 5)
 (86) 国際出願番号 PCT/GB1998/001775
 (87) 国際公開番号 WO1999/000881
 (87) 国際公開日 平成11年1月7日 (1999. 1. 7)
 審査請求日 平成17年6月15日 (2005. 6. 15)
 審判番号 不服2007-2632 (P2007-2632/J1)
 審判請求日 平成19年1月22日 (2007. 1. 22)
 (31) 優先権主張番号 9713365.6
 (32) 優先日 平成9年6月25日 (1997. 6. 25)
 (33) 優先権主張国 英国 (GB)

(73) 特許権者 501297550
 キネティック リミテッド
 イギリス ロンドン エスタブリッシュ 1 イ
 ー 6 ピーディー バッキンガム ゲート
 8 5
 (74) 代理人 100059959
 弁理士 中村 稔
 (74) 代理人 100067013
 弁理士 大塚 文昭
 (74) 代理人 100082005
 弁理士 熊倉 禎男
 (74) 代理人 100065189
 弁理士 宍戸 嘉一
 (74) 代理人 100084009
 弁理士 小川 信夫

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 発光装置とトランジスタ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

入力インピーダンスと装置量子効率を有し、2つ又はそれ以上の出力放射ビームを入力電子電流から生成し、出力電気信号を生成するための光学結合トランジスタ (1 8) であって、

前記入力電子電流を少なくとも2つの出力放射ビームに変換する少なくとも2つの発光手段 (2 a 、 2 b) であって、前記発光手段の各々がそれぞれの光出力チャンネルを有し、インピーダンスと個々の量子効率とを有する発光手段 (2 a 、 2 b) を備え、

前記発光手段 (2 a 、 2 b) は、発光装置 (1) の前記入力インピーダンスが前記発光手段 (2 a 、 2 b) の前記インピーダンスの総計に実質的に等しいように、かつ、前記発光装置 (1) の量子効率が前記発光手段の前記量子効率の総計に実質的に等しいように電氣的に直列に接続されており、

前記発光手段 (2 a 、 2 b) は、付加回路またはインピーダンス整合素子なしで前記発光装置の入力インピーダンスが実質的にマイクロ波回路のインピーダンスに等しくなるように電氣的に接続されており、

さらに、

前記発光装置 (1) から出力放射ビーム (2 9) を検出し、前記出力放射ビーム (2 9) を電氣的な出力電流 (I c) に変換する少なくとも一つ的光検出器 (2 3) を備え、

前記発光装置 (1) と前記少なくとも一つ的光検出器 (2 3) は、前記少なくとも一

つのフォト検出器(23)から前記発光装置(1)への電氣的なフィードバックが存在しないように配置されており、

前記光学結合トランジスタは交流と直流の電流利得を生じさせることができることを特徴とする光学結合トランジスタ(18)。

【請求項2】

少なくとも1つの前記発光手段(2a、2b)は、電氣的に並列に接続されている少なくとも2つの発光素子を備えていることを特徴とする請求項1に記載の光学結合トランジスタ(18)。

【請求項3】

前記各発光手段(2a、2b)は、上限変調周波数を有し、前記発光装置(1)の入力インピーダンスは前記各発光手段(2a、2b)の実質的に直流から上限変調周波数の周波数帯域にわたり、実質的に50Ωに等しい請求項1に記載の光学結合トランジスタ(18)。

【請求項4】

前記発光手段(2a、2b)はp-n接合(4、5、6)である請求項1に記載の光学結合トランジスタ(18)。

【請求項5】

前記一つまたはそれ以上のフォト検出器がフォトダイオード装置(23)である請求項1に記載の光学結合トランジスタ(18)。

【請求項6】

少なくとも2つのフォト検出器を備え、前記フォト検出器が直列、並列または直列/並列接続のいずれかで接続されている請求項1に記載の光学結合トランジスタ(18)。

【発明の詳細な説明】

技術分野

本発明は、広帯域変調周波数にわたり高い量子効率で作動可能なレーザー装置に関する。特に、これは複雑なインピーダンス整合を必要とすることなく、固定されたインピーダンス(50Ω)マイクロ波回路で達成される。本発明は、複雑なインピーダンス整合を必要とすることなく、広帯域周波数にわたり電流利得を伝達可能なトランジスタ型装置に関する。本発明は光ファイバー通信および伝送分野と、その広帯域特性と電流利得を発生する能力とによってRF応用で利点を有する。

発明の背景

一般のベース・バイポーラトランジスタの作用は従来技術で公知であり、例えば、W.Shockley, Bell Syst. Technology, J.28, 435, 1949を参照。このトランジスタの素晴らしい特徴点は、薄い(ベース)半導体層を横切る少数キャリア拡散による低インピーダンス入力(ベース/エミッタ)から高インピーダンス出力(ベース/コレクタ)へ電流が流れることである。従って逆バイアスのコレクタ出力は電流を比較的高いインピーダンス負荷抵抗に伝達できる。

装置の「ベース」層を横切って伝達する前に少数キャリアを光子に変換した後に、出力時点で光子を電流に戻すことで電流の伝達を達成する、光束トランジスタBOLT(R.Rediker et al., Proc. IEEE 51, 218 1963)を使用することが提案されている。しかし、このような装置では光学伝達が効率的に得られず、常に電流損失があるので電流利得を得られない。従来のマイクロ波技術では、電流利得を得るために多数の独立トランジスタを並列に接続して高周波のマイクロ波出力を高めている。このような小型の装置は高速で作動するが、並列配置の抵抗が小さい。マイクロ波生成器、送信器、受信器およびケーブル機器の大部分が50Ωのインピーダンスであるマイクロ波回路では、各装置の低いインピーダンスを広い周波数帯域に亘って50Ωハードウェアに一致させることが困難である。従来の電子トランジスタは3つの電極を備えているので、これらは並列結合のみが可能である。このことは熱処理の実現性を制限するものである。

電子トランジスタに関連する他の問題点は、生成された変位電流がトランジスタの動作速度を制限することである。さらに、入力回路と出力回路とが結合されているので、出力回

10

20

30

40

50

路から入力回路へのフィードバックの問題も現れる。

本発明のトランジスタは電子および光学トランジスタ装置で知られた問題点を解決するものである。さらに、その特性とデザインを、光ファイバー通信や、位相アレイレーダなどの電子装置での無線周波数、マイクロ波、ミリ波およびデジタル信号の光学伝達への応用に適合させるものである。光ファイバー網の分野では、従来型の半導体レーザーが一般に使用される。直接変調、広帯域、高速光ファイバー網を達成するための最新の技術が主としてデジタル通信システムのために改良されてきた。一般に、このような光ファイバー網は、入力信号に対するレーザーの応答性により定められた上限周波数約 10 GHz で作動する。しかし、従来の広帯域光ファイバー網は信号経路に電子または光増幅器のどちらかを含まないと信号利得を伝達できない。さらに、マイクロ波回路のような固定されたインピーダンス状態での使用に際して、信号損失を最小限にするために低いインピーダンスレーザーに一致させるための比較的狭帯域のインピーダンス変換を必要とする。

本発明は、従来のレーザーに関連した狭帯域の制限を解消するものであり、インピーダンス変換を必要としないものである。直流から一般的に 30 GHz までの変調周波数の広帯域に亘って電流利得を提供するために、レーザーはトランジスタ装置で使用することもできる。この説明では、周波数基準としてはレーザーの光放射周波数よりもむしろ平均変調周波数を選択するべきである。したがって、このような装置は従来のトランジスタが 50 Ω マイクロ波回路で使用された際に直面するインピーダンス変換の問題を解消する。このレーザーは発光ダイオードと結合して従来のレーザーでは伝達できない、交流と直流の両信号利得を提供することができる。

発明の目的および要約

本発明の一つの態様によれば、入力電子電流から 2 又はそれ以上の出力放射ビームを生成するために、入力インピーダンスと装置量子効率を有する発光装置であって、
入力電子電流を出力放射ビームに変換する少なくとも 2 つの発光手段であって、前記発光手段のそれぞれは、それぞれの光導波路を有し、インピーダンスと装置量子効率を有している、そのような発光手段を備え、

前記発光手段は、

(i) 前記発光装置の前記入力インピーダンスが前記発光手段の前記インピーダンスの総計に実質的に等しいように、かつ、前記装置の前記量子効率が前記発光手段の個々の量子効率の総計に実質的に等しいように、電氣的に直列に接続されており、

(i i) 前記発光手段が共通の光導波路を共有しないように光学的に配置されていることを特徴とする発光装置が提供される。

発光手段は、並列接合または並列接合のいずれかで電氣的に接続されてもよい。

本発明の好適な実施の態様によれば、発光手段は、付加回路またはインピーダンス整合素子なしで発光装置の入力インピーダンスが実質的に 50 に等しくなるように電氣的に接続されてもよい。

各発光手段は、上限変調周波数を有し、発光装置の入力インピーダンスは各発光手段の実質的に直流から上限変調周波数の周波数帯域にわたり、実質的に 50 に等しい。

発光手段は p-n 接合であってもよく、例えば p-n 接合は少なくともレーザーダイオードまたは発光ダイオードであってもよく、代表的にはレーザーダイオード装置は AlGaAs, AlGaInP, AlGaInAs または AlGaInAsP レーザーダイオード装置のいずれか一つであってよい。p-n 接合の各々の一端はミラー・コーティングで被覆された面を有してもよい。

本発明の一つの態様によれば、電氣的信号を生成する光学的に結合されたトランジスタであって、

少なくとも 2 つの出力放射ビームを発するためのここで説明された発光装置と、発光装置からの出力放射ビームを検出し、出力放射ビームを電氣的な出力電流に変換する少なくとも一つのフォト検出器とを備え、

前記発光装置と前記少なくとも 1 つのフォト検出器は、前記少なくとも 1 つのフォト検出器から前記発光装置へ電氣的なフィードバックが存在しないように配置されていることを特徴とする光学結合トランジスタが提供される。

光学結合トランジスタの一実施例においては、一つまたはそれ以上のフォト検出器がフォトダイオード装置であってもよい。

例えば光学結合トランジスタは少なくとも2つのフォト検出器を備えてもよく、フォト検出器が直列、並列または直列/並列接続のいずれかで接続されている。

出力放射ビームを一つまたはそれ以上のフォト検出器へ伝送する一つまたはそれ以上の光ファイバーを備えてもよい。

本発明の別の実施の態様によれば、入力端面と出力端面とを有する一つまたはそれ以上の光ファイバを備え、さらにここで説明された発光装置を備える光ファイバー網であって、発光装置からの出力放射ビームが一つまたはそれ以上の光ファイバに入力されるよう、発光装置が一つまたはそれ以上の光ファイバの入力端面に配置されている光ファイバー網である。

10

本発明の別の実施の態様によれば、入力信号を出力チャンネルに分配する方法であって、
(i) 少なくとも2つの発光手段を備え、ここで説明された発光装置からの2つまたはそれ以上の出力放射ビームを出力し、(ii) 前記2つまたはそれ以上の出力放射ビームを前記出力チャンネルに入力するステップを含んでいる方法が提供される。

本発明の別の実施の態様によれば、入力信号を複数の出力チャンネルに分配する方法であって、(i) 少なくとも2つの発光手段を備え、ここで説明された発光装置からの2つまたはそれ以上の出力放射ビームを出力し、(ii) 各々の前記2つまたはそれ以上の出力放射ビームを前記出力チャンネルの別の1つに入力するステップを含む方法が提供される。

20

本発明の別の実施の態様によれば、光学入力信号を受信し、一つまたはそれ以上の光学出力信号を生成する光学中継器であって、光学入力信号を受信し光学入力信号を電気信号に変換するフォト検出器と、前記電気信号を受信し一つまたはそれ以上の光学信号を出力するここで説明された発光装置とを備えた光学中継器である。

本発明の好適な実施の態様によれば、フォト検出器から出力された電気信号を増幅する増幅手段を備えてもよい。

【図面の簡単な説明】

本発明は、以下の図面を参照して実施例でのみ説明される。

図1は、本発明のレーザー装置のエピタキシャル構造を示す。

図2は、図1で示された装置の代表的な寸法を示す。

図3は、図1で示されたレーザー装置の3次元図を示す。

30

図4は、本発明で利用できるAlGaAsレーザーダイオードに関する電気回路を示す。

図5は、従来のベース接地の電子トランジスタの図を示す。

図6(a), (b)は、図1に示されたレーザー装置を含む、光学的に結合されたトランジスタ(OC T)の回路図を示す。

図7は、ten-elementレーザー装置の光学的に結合されたトランジスタの電流伝達結果を示す。

図8は、ten-elementレーザー装置の光学的に結合されたトランジスタの周波数特性を示す。

図9は、図1で示された発光装置を含む光学中継器の図を示す。

40

発明の実施の形態

図1を参照して、発明の一つの実施例において、レーザー装置1はアレイ中に多数の離散型のp-i-nレーザーダイオード素子2a, 2bを含むことができる。図では2つのレーザーダイオードのみが示されているが、実際には、非常に多数のレーザーダイオードを装置中に含むことができる。例えば、各個々のレーザーダイオード2a, 2bは、適度にドーピングされた上部被覆層4上に高度にドーピングされた低抵抗のp型GaAsの上層3を含むAlGaAs p-i-nレーザーダイオードである。これはドーピングされておらず下部被覆層6上に形成されたウエーブガイド層5上に形成されており、ここで、ウエーブガイド層5は、上部または下部被覆層4, 6のどちらかに比べて低いバンドギャップ(band gap)を有している。ウエーブガイド層5には光学利得を与える2つの10nmのGaAs量子壁(図示せず)が埋め込まれている。上部と下部被覆層4, 6の接合は、光子とキャリアとをドーピングされていない

50

ウエーブガイド層 5 に閉じ込める 2 つのヘテロ接合バリア層を形成する。

代表的に、層 3 は p 型 GaAs (代表的厚さ $0.1 \mu\text{m}$ 、代表的なドーパ濃度は $5 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$) であってよく、上部被覆層 4 は AlGaAs (40 %) (代表的厚さ $1.5 \mu\text{m}$ 、代表的なドーパ濃度は $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$) であってよく、下部被覆層 6 は n 型 AlGaAs (40 %) (代表的厚さ $1.5 \mu\text{m}$ 、代表的なドーパ濃度は $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$) であってよい。ウエーブガイド層 5 は代表的にドーパされていない AlGaAs (20 %) (代表的厚さ $0.23 \mu\text{m}$) であってよい。

各レーザー素子 2 a , 2 b の被覆層 6 は、レーザーダイオード 2 a , 2 b との低抵抗の GaAs コンタクトを形成する高度にドーパされた n 型層 7 上に置かれている。代表的に被覆層 7 は 0.5 から $1.0 \mu\text{m}$ の厚さで、 $2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ のドーパ濃度を有する GaAs 層であってよい。このパーセンテージ表示は層中の Al のパーセンテージを参照するものである。各レーザーダイオード 2 a , 2 b はメサ (mesa) を覆う、例えばポリイミドのような絶縁層と、これを覆う板状導電層 9 とを有している。p 型層 3 は接合点 10 で板状導電層 9 に接触しており、n 型層 7 は接合点 11 で板状導電層 9 に接触している。レーザーアレイ 1 は、当業者には公知の集積フォトリソ技術を用いて構成できる。

レーザー素子 2 a , 2 b を必要以上の RF ノイズなしに作動させるために、光学ウエーブガイドの作動は単一モードでなければならない。図 2 に単一モード光学ウエーブガイド作用を有したレーザーの代表的な寸法が示されている。この実施例では、いわゆる「リッジ」ウエーブガイド (すなわち層 3 で、4 の上部領域) が $3.5 \mu\text{m}$ の幅を有し、さらにレーザーを発する際に単一モードのみを支持する。リッジはメサ (層 5 , 6 で、4 の下部領域) 上に支持されており、代表的には $25 \mu\text{m}$ の幅を有している。リッジは支持された光学モードが、同様に高いモードを別の方法で支持するメサのエッジに影響を受けないような幅を持つ必要がある。代表的に、層 7 はその片側でメサの幅を超えて約 $50 \mu\text{m}$ 延びている。単一モードレーザーは高周波作動の必要があるが、モードノイズがあるので低周波では装置にマルチモードレーザーまたは発光ダイオードを使用してもよい。

個々のレーザーへの低抵抗 GaAs コンタクトを形成する高度にドーパされた n 型層 7 は、各レーザー素子 2 a , 2 b の一方側へ完全に移動されている。これは、半絶縁 GaAs 基質層 7 により各レーザーを隣のものから電気的に絶縁された状態にする。レーザーダイオード 2 a , 2 b は金属層 9 により直列に接続されている。

図 1 に戻り、第 1 レーザ 2 a に連続的に上層 3 から注入された電流 I_e は、p-i-n 接合部 (各々層 2 , 5 , 6) を通過し、そのとき固有の領域 5 内の量子壁が発光する。その後、電流は第 1 レーザから基板層 7 を通って出てゆき、板状導電層 9 を通って直列の次の素子のメサに流れ込む。前述のように、電流は上層 3 から次のレーザー素子に注入され p-i-n 接合部を通過する。図 3 は、分散型レーザー (2 つのレーザー 2 a , 2 b が図示されている) アレイの一部分を 3 次的に示し、レーザー素子 2 a , 2 b は直列に接続されている。また図には p 型コンタクトの接合点 10 と n 型コンタクトの接合点 11 とが示されている。各レーザーはアレイの最初と最後のものを除いてコンタクト層 9 を隣接のレーザーと共有しており、共有されていないコンタクト層はアレイ全体の入力と出力コンタクトである。

図 1 に示されるレーザー装置 1 は、装置の集積バージョンの説明図であり、このものは高速で作動することが可能である。実施には、素子はどれも p-n 接合の発光装置であってよい。発光ダイオード (LED) にも適合する。この明細書では、用語「p-n 接合」は p-i-n を含めて全ての p 型と n 型の構成要素を有する半導体装置構造を含むものである。レーザーの例としては AlGaAs, AlGaInAs, AlGaInP および AlGaInAsP 装置を使用することができる。

図 1 で示されたレーザー装置 1 は単一チップ内に構成できる集積装置である。図 1 に示された集積装置 1 の重要な特徴は、各レーザーダイオード 2 a , 2 b が絶縁基板上にあり、唯一レーザーダイオード 2 a と 2 b とを直列に接続する板状金属層 9 により電気的に接合されている点である。しかし、本発明は集積装置に限定するように意図したものではなく、回路中で直列に接続された分散した直列の構成要素を取ることもできる。しかし、集積

10

20

30

40

50

装置は回路のものよりも高速作動する利点を有する。

レーザー装置 1 の一つの機能的な利点は、アレイの外部増分量子効率 η_{LD} が単一レーザーのものよりも高いことである。レーザーの外部増分量子効率 η_{LD} は従来から光子/電子で測定され、レーザー効率の主要な基準であった。この説明では、用語「量子効率」は外部増分量子効率を意味する。レーザー装置 1 の総量子効率は各素子の効率の総計である。このことは、装置が 100% よりも大きな量子効率で作動することを可能にする。このことは、この効率が全体の電流または信号伝達効率を定める、トランジスタの作動または光ファイバー信号の伝達にとっての重要な利点を有するものである。

レーザー装置 1 のさらなる利点は、追加回路またはマッチング素子を必要とすることなく、インピーダンスを容易にマイクロ波回路の 50 Ω 固定インピーダンスに一致できることである。しかし、発光装置 1 にレーザー閾値電流以上にバイアスをかけることを可能にするバイアス・ネットワークを必要とする。適切なバイアス・ネットワークの詳細は当業者には公知でありこの明細書では説明しない。インピーダンス特性は単一のレーザーダイオードの入力インピーダンスを検討することで理解できる。例えば、図 4 は順方向バイアス、片側、p-n 階段接合の等価回路を示す。この示された回路は、およそ一般的な AlGaAs レーザーダイオードと等価であり、ここで、 R_s は寄生直列抵抗を示し、 r_e は動的接合抵抗を示し、 C_j は空乏容量を示し、 C_d は拡散容量を示す。P-n 接合の作動は、当業者には公知であり、前述の用語と、定義された量の起原は当業者が理解できる。

AlGaAs レーザーダイオードは、図 4 で示された等価回路を有し、約 $1 \times 10^4 \text{ A cm}^{-2}$ の電流密度を接合面積 10^{-3} cm^2 に流すと、 R_s の大きさは一般的に 5 Ω である。動的接合抵抗 r_e は次式で与えられる。

$$\frac{kT}{qI} = \frac{25\text{mV}}{I}$$

ここで、 I は電流、 q は電荷である。したがって、100 mA の電流は 0.25 Ω の動的接合抵抗 r_e を与える。空乏容量 C_j (順方向バイアス $1 \times 10^4 \text{ A cm}^{-2}$ で) は一般的に約 5 pF である。拡散容量 C_d は 10 GHz の周波数で約 5×10^{-3} のインピーダンスを有する。

したがって、図 4 で示された電流は、約 20 GHz 以下の全ての周波数であたかも単に 5 Ω であるかのように振る舞う。抵抗 R_s は寄生抵抗であり、動的接合抵抗 r_e の少なくとも 10 倍である。それゆえに、レーザー装置 1 に図 1 で示された 10 個のレーザー要素が含まれる場合、これは 50 Ω の入力インピーダンスを与える。さらに装置 1 は単一の素子のものに比べて 10 倍大きい量子効率を有しており、50 Ω インピーダンスを維持する限り、寄生直列抵抗 R_s をさらに減少 (すなわち約 5 Ω 以下に) できれば、より多くのエミッタを含むことにより一層大きな量子効率を得ることができる。

別の方法として、単純な直列接続で 50 Ω インピーダンスを得るために、レーザーは直列と並列に組み合わせることができる。例えば、レーザーが 10 Ω の直列抵抗を有している場合、単純な直列結合は 5 つのレーザーからなる。別の方法として、2 つのレーザーを 5 Ω のインピーダンスとなるよう並列に接続し、各並列結合のものを最終的なインピーダンスが 50 Ω となるよう直列に結合することができる。

本発明の他の態様によれば、従来のトランジスタ装置のような少数キャリアよりはむしろ光子の光学伝達に基づいて作動するトランジスタ型装置を実現するために、この装置は従来の逆バイアスでの半導体 p-i-n 発光ダイオードなどのフォト検出器と組み合わせることができる。

図 5 を参照して、従来のベース接地電子トランジスタは、一般にエミッタ 12 (n 型領域)、ベース 13 (p 型領域) およびコレクタ (n 型領域) とを含む n-p-n 接合を備えることができる。入力エミッタ 1 は印加電圧 15 により逆バイアスをかけられ、コレクタ 3 の出力は印加電圧 16 により逆バイアスをかけられる。電子は p 型ベース層 13 を移動し、ここでは再結合とわずかなベース電流 I_b を引き起こすことで電子のわずかな一部分が失われる。ベース電流は $I_b = I_e - I_c$ により与えられ、図に示されるように I_e と I_c と

10

20

30

40

50

はそれぞれベース／エミッタ入力回路とベース／コレクタ出力回路を流れる電流である。ベース／コレクタ「出力」回路は、比較的高いインピーダンスを有することができる負荷抵抗 $17 (R_L)$ も含む。ベース／エミッタ「入力」回路は低（直流と交流）インピーダンスであるので、逆バイアスをかけられたコレクタの出力は比較的高いインピーダンスの負荷抵抗 R_L に電流を伝達でき、従ってトランジスタは電力利得を伝達できる。

しかし、マイクロ波発生器、送信器、受信器およびケーブル機器のような 50Ω インピーダンスの回路でのトランジスタによる伝達される電力利得は電流利得を必要とする。さらに、図 5 で示されたバイポーラトランジスタは小さいベース電流のためコレクタ電流が常にエミッタ電流より小さいので、如何なる電流利得も伝達できない。

図 6 (a) を参照して、トランジスタ 18 に関連する本発明の第 2 の態様では電流利得を伝達可能であり、図 1 に示されたレーザーダイオードを含んでいる。トランジスタはフォト検出器または、直列、並列または直列／並列配置で接続されたフォト検出器のアレイを含んでいる。当然このトランジスタは光学的に結合されたトランジスタ装置または OCT 装置として後で言及される。OCT 装置は集積チップ・モノリシック・フットニク技術で構成できる。

OCT 装置 18 は入力回路 19 (「ベース／エミッタ」回路) と出力回路 20 (「ベース／コレクタ」回路) とを含んでおり、これらはベース接地接続 30 を有してもよい。入力回路 19 は図 1 で示されたレーザー装置 1 を含んでいる。図中のレーザー装置 1 は p-n 接合 21 を含んでいる。先に説明したように、レーザー装置 1 は p-n 型構造 (先に定義したような) を有する如何なる数の半導体装置を含んでもよく、チップ上に集積された、または回路中で接続された装置を含むことも可能である。例えば、接合部 21 は電氣的な電流を光子に効率的に変換できるレーザーまたは発光ダイオード (LED) であってもよい。さらに、3 つの接合部 21 が示されているが、実際には、装置は 50Ω 全インピーダンスを与える直列、並列または直列／並列のより多数の接合部 21 を含んでもよい。

入力回路 19 は、p-n 接合部 21 に順方向バイアスをかける電源 22 も含んでいる。出力回路 20 は電源 24 により逆バイアスをかけられた p-n 接合部 23 を含んでいるので、これは入射光を電氣的な電流に変換するフォトダイオードとして作動する。例えば、コレクタ 23 はシリコン・フォトダイオード検出器でもよい。出力回路 20 は比較的大きくてよい (例えば 50Ω) 出力負荷抵抗 (R_L) を有している。

3 つの直列 p-n 接合部 21 の拡大図が図 6 (b) に示されている。この実施の形態では、各接合部 21 は n 型領域 26 と p 型領域 27 とを含み、一つの接合部の p 型領域 27 は隣の p-n 接合の n 型領域 26 と接続しており、各接合部は直列、並列または直列／並列に接続される。

エミッタ電流 I_e 、すなわち入力回路 19 を流れる電流、は p-n 接合部 21 を通して流れ、各々は電氣的な入力電流を光子 29 に変換する。光子 29 は出力回路 20 に伝達され、光子を等価の電氣的な電流 I_c に戻すフォトダイオード 23 (または複数のフォトダイオード) で集められる。本実施の形態では唯一のフォトダイオード検出器 23 が示されているが、実際には多数のフォトダイオード検出器が直列、並列または直列／並列に接続される。例えば、レーザー装置 1 の各 p-n 接合部に一つのフォトダイオード検出器を持つことが好ましいであろう。単一の大型フォトダイオード検出器を有する OCT よりも複数のフォトダイオード検出器を有する OCT は高速で作動することができるであろう。

光学な変換と伝達とが機能する場合、OCT は効率的であり、装置は電流利得を伝達することができる。増分電流伝達効率 η_{CT} は次式で定義される。

$$\eta_{CT} = \eta_{LD} \cdot \eta_{OP} \cdot \eta_{PD}$$

ここで、 η_{LD} は発光装置 21 の増分量子効率 (光子 / 電子) であり、 η_{OP} は発光装置 21 と逆バイアス p-i-p フォトダイオード 23 との間の光学伝達効率であり、 η_{PD} は変換効率 (電子 / 光子) である。例えば、各 p-n 接合部 21 が約 50 % の量子効率 (η_{LD}) を有し、光学伝達効率とフォトダイオード効率が共に 100 % の場合、3 接合 OCT 装置はフォトダイオード 23 からの $3 \eta_{CT} \Delta I_e$ の増分出力電流 ΔI_c 、つまり $\Delta I_c = 1.5 \Delta I_e$ を発生する。ここで I_e はレーザーの電流である。従って、OCT 装置からの電流出力は入力

10

20

30

40

50

電流のそれより大きい。n 個の p-n 接合部をもつアレイの総伝達効率は次のようになる。

$$\eta_{CT} = \eta \cdot (\eta_{LD} \cdot \eta_{OP} \cdot \eta_{PD})$$

10 個の直列レーザー素子を持つアレイを含む OCT 装置から得られる電流伝達の結果は、レーザーバイアス電流を関数とし (i) 交流フォトダイオード電流利得 (ii) 直流フォトダイオード電流利得との間の関係を示す図 7 に示されている。この結果を得るために、10 個の素子のレーザーアレイは 50 Ω ソースから供給されたもので、フォトダイオードは 50 Ω の負荷抵抗 R_L を有していた。

アレイの閾値電流は各々のレーザー素子 (~ 21 mA) のものと同じであった。図 7 を参照して、閾値以上の約 14 mA の入力電流増分 ΔI_E のためには、増分出力 ΔI_C は約 28 mA であり、2 の係数の (増分) 電流利得を与える。増分利得はこの装置に関連のある直

10

流、RF (動作) および光ファイバー網性能の主要なパラメータである。
10 個の直列レーザー素子を持つアレイを含む OCT 装置の周波数応答性は、25 kHz から 5 MHz の周波数帯域での (i) 交流フォトダイオード電流利得 (ii) 交流レーザー電流利得とを示す図 8 に示されている。利得は約 3 MHz で減少することがわかる。これは OCT 装置で使用されるシリコン・フォトダイオードの上限応答速度と一致する。しかし、この利得減少は測定の人為的な影響であり、OCT の上限応答速度は高速フォトダイオード装置を使用すれば高まるであろう。

OCT 装置の主な利点は、その電流利得 (同様に電力利得) を伝達する能力である。さらに、このことは固定インピーダンス回路の広い周波数帯域に亘って得ることができる。インピーダンス整合は直流からレーザーの作動上限まで得られるものである。

20

この装置の別の利点は、入力回路 8 と出力回路 9 との間の伝達は、電気的よりはむしろ光学的なものであり、変位電流が発生しない。さらに、入力回路 19 と出力回路 20 は非結合化 (decoupled) されており、これは従来の電子トランジスタの問題である、出力回路 20 から入力回路 19 へのフィードバックを無効にするものである。

入力回路と出力回路 19 , 20 を非結合化としたさらなる利点は、3 電極の従来式トランジスタ (図 1) と異なり、トランジスタが物理的に 2 つに分離され電気的に独立の 2 電極回路になることである。各々の 2 電極回路はさらなる設計の自由度を有する。従って、光学領域から得られる結合され分割される電流とともに、直列または並列構造を利用して入力回路 19 と出力回路 20 のインピーダンスを変更するために回路 19 , 20 はきわめて容易に分割できるので、電気的な不利益がない。トランジスタを 2 つの 2 電極回路に分割

30

できる能力は電力出力、熱処理も改良できるものである。
被覆されていない装置において、光学結合効率 (η_{OP}) は、図 6 (a) のフォトダイオードがレーザー装置 1 の一端からの光だけを回収するので 50 % 以下である。図 6 (a) に示される OCT 装置の他の実施の形態として、高反射の被覆 (ミラー・コーティング) を各 p-n 接合素子 21 の一端に行うことができ、すべての放射出力は素子の他端から放射される。これはフォトダイオードが受ける光を最大化する。別の方法として、各フォトダイオードがレーザー装置 1 の各端に配置された、2 つのフォトダイオードを OCT に含むことができる。フォトダイオードからの電流出力は並列に結合されて、単一のフォトダイオードで得られる電流の 2 倍の電流を与えることができる。

OCT 装置 18 の他の実施の形態として、p-n 接合部はキャビティの縦壁で直列に接続することができ、それらの光学出力と並列接合のコレクタフォトダイオードの上面で成長したレーザーは透明な「ベース」コンタクト層を介して伝達される。

40

単一の OCT よりもさらに大きな電流利得を得るために、多数の OCT を直列、並列または直列 / 並列 (すなわち縦列) で接続してもよい。

入力回路と出力回路 19 , 20 は非結合なので OCT 装置は光ファイバー網への応用に有効である。例えば、入力回路 19 と出力回路 20 との間の光学伝達は約 100 km 以上の遠距離でも達成できる。つまり、減少された挿入損失やおそらく利得を有する広帯域特性を備えた単一の光ファイバー網は、光ファイバー網の両端にトランジスタの入力出力回路 19 , 20 を設けることで実現できる。

これはファイバーへの信号挿入損失が減少される光ファイバー網の分野での特有の利点で

50

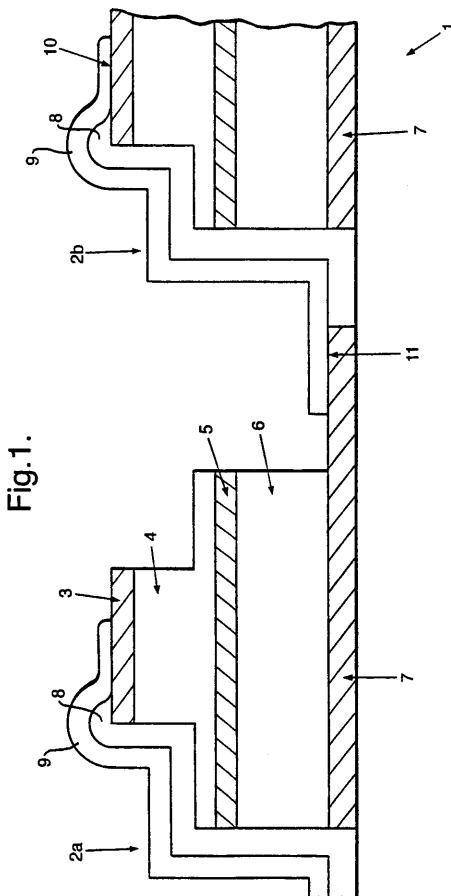
ある。さらに、レーザー装置の個々の素子は干渉性をもってロックされるので、単一の光ファイバーへ入力するための単一の能動ウエーブガイド出力へのコヒーレント加算が得られる。これは光ファイバーのリボンを使用するしかないものより好都合である。

レーザー装置は多数の光ファイバーチャンネルへのRF信号の分割に使用できる。従来、各チャンネル間で光学信号が分割され、その後、元の信号パワーを復元するために各分割信号が増幅（光学またはRF増幅）されていた。別の方法として、増幅されたRF信号を分割し各分割信号を、各々光源を有した各チャンネルに伝送することが行われていた。しかし、各レーザー素子はレーザー装置1により十分なパワーを与えられるので、増幅を必要とせずにアレイの各素子に接続された別々の光ファイバーへ伝送できる。これは信号分割の如何なる不利益をも回避するものである。

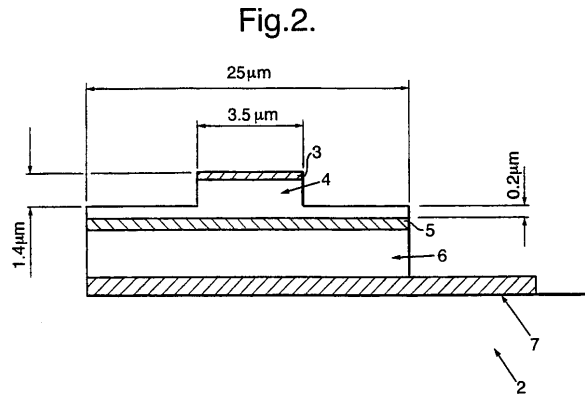
10

前述のOCTは電気的な入力信号を光学信号に変換した後に、電気的な信号を出力する装置である。OCTの別の構成は、光学的な入力信号が電気信号に変換された後に、1つまたはそれ以上の光学出力信号に戻される光学中継器である。光学中継器に可能な構成が図9に示されている。実際にはレーザー入力回路が、光学的変換過程の低能率に対して増幅器とバイアスネットワークとを含むことが好ましい。

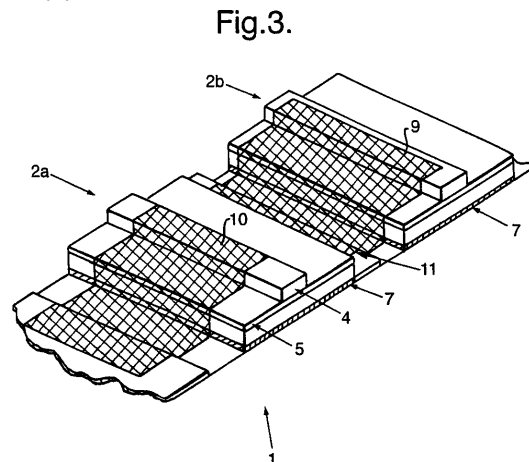
【図1】



【図2】

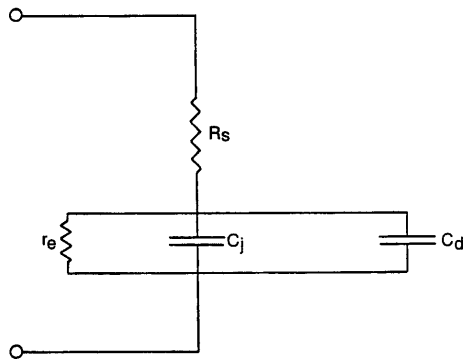


【図3】



【図4】

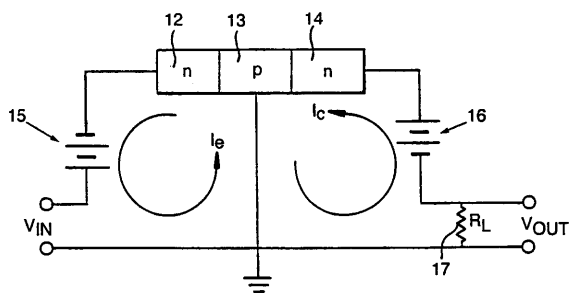
Fig.4.



【図5】

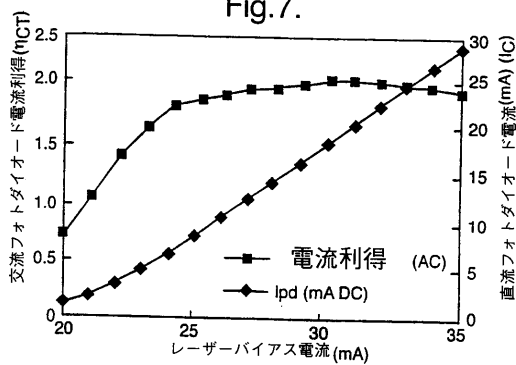
Fig.5.

PRIOR ART



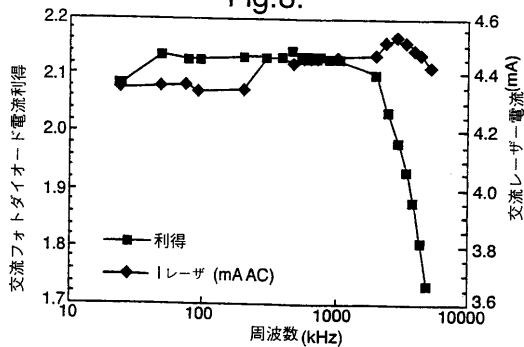
【図7】

Fig.7.



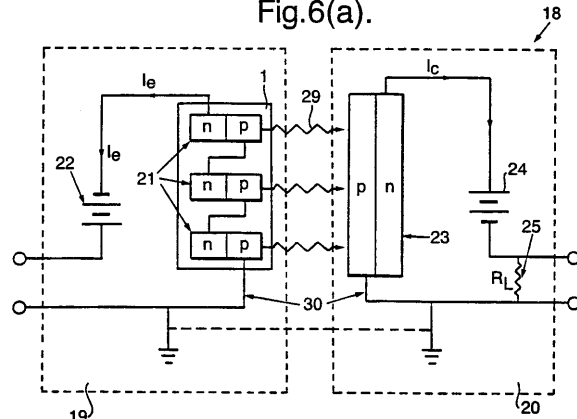
【図8】

Fig.8.



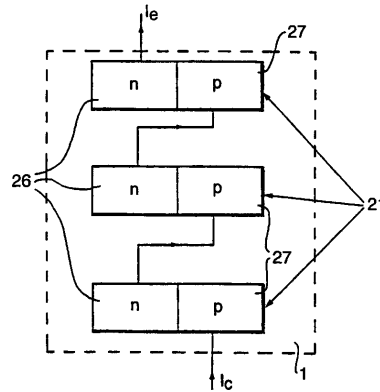
【図6(a)】

Fig.6(a).



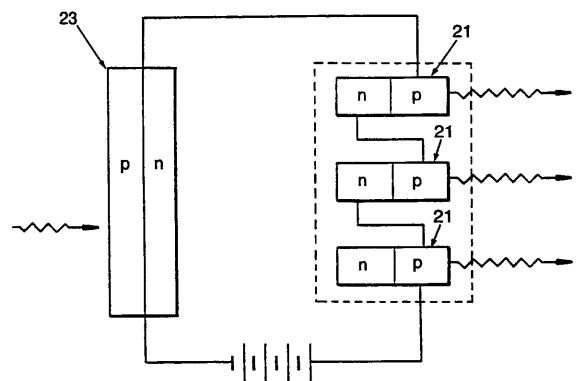
【図6(b)】

Fig.6(b).



【図9】

Fig.9.



フロントページの続き

(74)代理人 100086771

弁理士 西島 孝喜

(74)代理人 100084663

弁理士 箱田 篤

(72)発明者 アレンソン マイケル バリー

イギリス国 ウースターシャー ダブリューアール14 3ピース モルヴァーン セント ア
ンドリユース ロード(番地なし)ディーイーアールエイ モルヴァーン

(72)発明者 アーイング スティーブン ジェラルド

イギリス国 ウースターシャー ダブリューアール14 3ピース モルヴァーン セント ア
ンドリユース ロード(番地なし)ディーイーアールエイ モルヴァーン

(72)発明者 ウイト ディヴィッド ロバート

イギリス国 ウースターシャー ダブリューアール14 3ピース モルヴァーン セント ア
ンドリユース ロード(番地なし)ディーイーアールエイ モルヴァーン

合議体

審判長 稲積 義登

審判官 吉野 公夫

審判官 三橋 健二

(56)参考文献 特開平03-253083(JP,A)

特開平09-167878(JP,A)

特開平06-151949(JP,A)

特開平08-340306(JP,A)

特開昭58-096436(JP,A)

特開昭61-018230(JP,A)

特開平08-097780(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 31/00

H01L 31/12

H01L 33/00

H01S 5/00- 5/50

H04B 9/00