

(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2010-15041

(P2010-15041A)

(43) 公開日 平成22年1月21日(2010.1.21)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G O 2 F 1/017 (2006.01)	G O 2 F 1/017 5 O 3	2 H O 7 9
H O 1 S 5/0683 (2006.01)	H O 1 S 5/0683	5 F 1 7 3
H O 1 S 5/0687 (2006.01)	H O 1 S 5/0687	

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2008-175930 (P2008-175930)	(71) 出願人	000004226
(22) 出願日	平成20年7月4日 (2008.7.4)		日本電信電話株式会社
			東京都千代田区大手町二丁目3番1号
		(74) 代理人	100077481
			弁理士 谷 義一
		(74) 代理人	100088915
			弁理士 阿部 和夫
		(72) 発明者	石川 光映
			東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
			本電信電話株式会社内
		(72) 発明者	柴田 泰夫
			東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
			本電信電話株式会社内

最終頁に続く

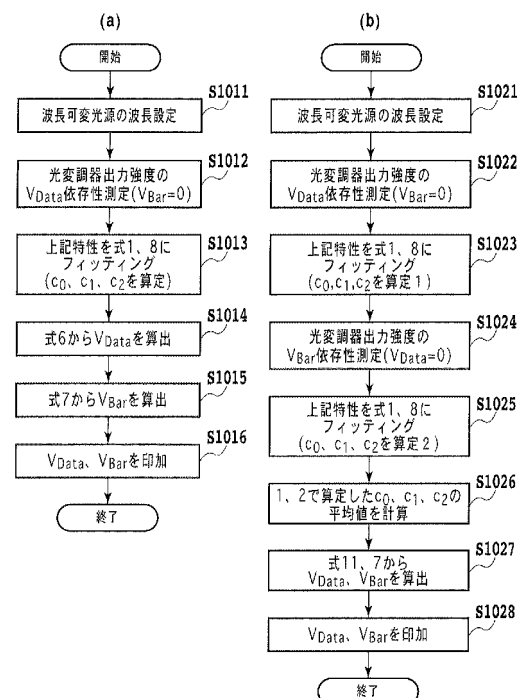
(54) 【発明の名称】 半導体光変調器制御装置及びその制御方法

(57) 【要約】

【課題】 変調振幅電圧を一定とすることで、回路、調整のコストを低減し、波形品質も一定に保つことを可能とする半導体光変調器及びその制御方法を提供すること。

【解決手段】 制御演算装置21は、温度制御とレーザ電流制御により、半導体波長可変レーザ12が所望の波長の光を出力するよう制御を行う。 V_{Data} をスイープさせ、半導体光変調器14を通して出力される光パワーをパワーモニタPD16、もしくは、光パワーメータ24にて測定し、出力光パワーの V_{Data} 依存性を測定する。 $c_0 + c_1 \times V_{Data} + c_2 \times V_{Data}^2$ に対してカーブフィッティングを行い、得られた1次と2次の係数 c_1 、 c_2 、所望とする変調振幅電圧 V_m 、及び式6から設定すべき V_{Data} が求められる。これらの値を用いて、式7から V_{Bar} を求める。これらの操作を半導体波長可変レーザ12が出力する全波長に対して行い半導体光変調器14に求めたDCバイアス電圧 V_{Data} 、 V_{Bar} を印加することで、全波長領域で一定 V_m での変調が実現される。

【選択図】 図10



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

電圧変化による屈折率変化を用い、波長可変光源の出力光の変調を行う半導体光変調器において、

前記半導体光変調器に、DC バイアス電圧と変調振幅電圧 V_m を有する高周波信号であって、前記高周波信号の振幅の全幅が V_m である高周波信号を印加するステップと、

V_m が一定となるように DC バイアス電圧を制御するステップとを有することを特徴とする半導体光変調器の制御方法。

【請求項 2】

前記 DC バイアス電圧を制御するステップは、

10

前記 DC バイアス電圧を逐次変化させて前記半導体光変調器の DC バイアス電圧に対する出力光強度の関係を表す出力光強度特性を測定するステップと、

前記出力光強度特性の位相情報を DC バイアス電圧 V_{Data} の 2 次の係数までを用いた式 $c_0 + c_1 \times V_{Data} + c_2 \times V_{Data}^2$ に基づいて解析するステップとを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の半導体光変調器の制御方法。

【請求項 3】

前記出力光強度特性を測定するステップは、前記波長可変光源の少なくとも 2 波長に対して前記 DC バイアス電圧を逐次変化させて前記半導体光変調器の DC バイアス電圧に対する出力光強度の関係を表す出力強度特性を測定するステップを含み、

20

前記解析するステップは、前記出力光強度特性を DC バイアス電圧 V_{Data} の 2 次の係数までを用いた式 $c_0 + c_1 \times V_{Data} + c_2 \times V_{Data}^2$ を位相項として持つ正弦波関数にカーブフィッティングを行い、係数 c_0 、 c_1 及び c_2 を求めるステップを含み、

前記 DC バイアス電圧を制御するステップは、所望の固定の変調振幅電圧 V_m 及び、変調方式で決まる変調振幅全幅での位相変化 α に対して、 $(\alpha / V_m - c_1) / 2 c_2$ となる DC バイアス電圧を設定するステップを含むことを特徴とする請求項 2 に記載の半導体光変調器の制御方法。

【請求項 4】

前記出力光強度特性を測定するステップは、前記半導体光変調器が差動の入力端子を備え、前記波長可変光源の少なくとも 2 波長に対して、差動の入力 $Data$ 及び $Data$ Bar 端子それぞれの DC バイアス電圧 V_{Data} 及び V_{Bar} に対する前記半導体光変調器の DC バイアス電圧に対する出力光強度の関係を表す出力光強度特性を測定するステップを含み、

30

前記解析するステップは、前記出力光強度特性を DC バイアス電圧の 2 次までの係数を用いた式 $c_0 + c_1 \times V_{Data} + c_2 \times V_{Data}^2 - (c_1 \times V_{Bar} + c_2 \times V_{Bar}^2)$ にカーブフィッティングを行い、係数 c_0 、 c_1 及び c_2 を求めるステップを含み、

前記 DC バイアス電圧を制御するステップは、 $Data$ 端子に加える所望の固定の変調振幅電圧 V_m 、 $Data$ Bar 端子に加える変調振幅電圧を所望の定数 r 倍の V_m とするとき、変調方式で決まる変調振幅全幅での位相変化 α に対して、 $\alpha / V_m = (1 + r) \times c_1 + 2 c_2 \times (V_{Data} + r \times V_{Bar})$ を満足する DC バイアス電圧 V_{Data} 、 V_{Bar} を設定するステップを含むことを特徴とする請求項 2 に記載の半導体光変調器の制御方法。

40

【請求項 5】

前記解析するステップは、前記波長可変光源の一部波長において、係数 c_0 、 c_1 及び c_2 を、近接する波長の消光特性の測定及びカーブフィッティングにより得られた係数 c_0 、 c_1 及び c_2 の補間から求めるステップを含むことを特徴とする請求項 3 又は 4 に記載の半導体光変調器の制御方法。

【請求項 6】

複数の波長光を出力する波長可変光源と、

50

前記波長可変光源の出力光を入力光として光変調を行う半導体光変調器と、
 前記半導体光変調器にDCバイアス電圧を印加するDC電圧源と、
 前記半導体光変調器に前記DCバイアス電圧と変調振幅電圧 V_m を有する高周波信号であって、前記高周波信号の振幅の全幅が V_m である高周波信号を印加する高周波信号源と、

前記半導体光変調器の出力光の少なくとも一部を受光し、光強度を測定するパワーモニタと、

V_m が一定となるように前記DC電圧源のDCバイアス電圧を制御する制御演算装置とを備えたことを特徴とする半導体光変調器制御装置。

【請求項7】

10

前記制御演算装置は、前記DC電圧源が前記DCバイアス電圧を逐次変化させ、前記パワーモニタが前記半導体光変調器のDCバイアス電圧に対する出力光強度の関係を表す出力光強度特性を測定するように制御し、前記出力光強度特性の位相情報をDCバイアス電圧 V_{Data} の2次の係数までを用いた式 $c_0 + c_1 \times V_{Data} + c_2 \times V_{Data}^2$ に基づいて解析することを特徴とする請求項6に記載の半導体光変調器制御装置。

【請求項8】

前記制御演算装置は、前記波長可変光源の少なくとも2波長に対して前記DCバイアス電圧を逐次変化させて前記半導体光変調器のDCバイアス電圧に対する出力光強度の関係を表す出力強度特性を測定し、前記出力光強度特性をDCバイアス電圧 V_{Data} の2次の係数までを用いた式 $c_0 + c_1 \times V_{Data} + c_2 \times V_{Data}^2$ を位相項として持つ正弦波関数にカーブフィッティングを行い、係数 c_0 、 c_1 及び c_2 を求め、所望の固定の変調振幅電圧 V_m 及び、変調方式で決まる変調振幅全幅での位相変化 α に対して、 $(\alpha / V_m - c_1) / 2c_2$ となるDCバイアス電圧を前記DC電圧源に設定することを特徴とする請求項7に記載の半導体光変調器制御装置。

20

【請求項9】

前記波長可変光源は、複数の波長光を出力する差動の入力Data及びData Bar端子を有し、

前記制御演算装置は、前記波長可変光源の少なくとも2波長に対して、前記差動の入力Data及びData Bar端子それぞれのDCバイアス電圧 V_{Data} 及び V_{Bar} に対する前記半導体光変調器のDCバイアス電圧に対する出力光強度の関係を表す出力光強度特性を測定し、前記出力光強度特性をDCバイアス電圧の2次までの係数を用いた式 $c_0 + c_1 \times V_{Data} + c_2 \times V_{Data}^2 - (c_1 \times V_{Bar} + c_2 \times V_{Bar}^2)$ にカーブフィッティングを行い、係数 c_0 、 c_1 及び c_2 を求め、Data端子に加える所望の固定の変調振幅電圧 V_m 、Data Bar端子に加える変調振幅電圧を所望の定数 r 倍の V_m とするとき、変調方式で決まる変調振幅全幅での位相変化 α に対して、 $\alpha / V_m = (1 + r) \times c_1 + 2c_2 \times (V_{Data} + r \times V_{Bar})$ を満足するDCバイアス電圧 V_{Data} 、 V_{Bar} を前記DC電圧源に設定することを特徴とする請求項7に記載の半導体光変調器制御装置。

30

【請求項10】

前記制御演算装置は、前記波長可変光源の一部波長において、係数 c_0 、 c_1 及び c_2 を、近接する波長の消光特性の測定及びカーブフィッティングにより得られた係数 c_0 、 c_1 及び c_2 の補間から求めることを特徴とする請求項8又は9に記載の半導体光変調器制御装置。

40

【請求項11】

前記半導体光変調器の位相変調領域の層構造が、 $n-i-n$ 型半導体、及び、 $n-p-i-n$ 型半導体のいずれかの接合により形成されていることを特徴とする請求項6乃至10のいずれかに記載の半導体光変調器制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

50

本発明は、半導体光変調器制御装置及びその制御方法に関し、より詳細には、光ファイバ通信に使用する超高速の半導体光変調器制御装置及びその制御方法に関する。

【背景技術】

【0002】

長距離波長多重光通信システムにおいて使用される光信号は、ファイバ分散効果の影響を抑えるため、波長チャープが小さいことが要求される。このような光信号は、通常、レーザダイオード光源と外部変調器を組み合わせた構成で発生される。この種の典型的な外部変調器は、 LiNbO_3 (LN) 導波路で製作されたLN変調器である。LN変調器の動作原理は、光導波路と電気導波路を結合させて、その電気導波路に電気信号を入力することによって電気光学効果に基づく屈折率変化を誘起し、光導波路を伝播する光信号に位相変化を与えることによるものである。このようなLN変調器には、単純な光位相変調器の他に、マッハ・ツェンダ干渉計を構成した光強度変調器、あるいは多数の導波路を結合させてより高機能の光強度／位相変調器として動作するデバイスなどがある（非特許文献2参照）。

10

【0003】

また、LN変調器と同様の動作原理を用いた半導体光変調器も存在する。例えば、半絶縁性のGaAsにショットキー電極を配置し、光電子導波路としたGaAs光変調器や、ヘテロpn接合を用いて、光の閉じ込めと共に導波路のコア部分に効果的に電圧が印加されるようにしたInP／InGaAsP光変調器などがある。

20

【0004】

【特許文献1】特開2005-099387号公報

【非特許文献1】齋藤 富士郎 外、「超高速デバイス」、共立出版、1998年、第6章、p. 124-128

【非特許文献2】都築 健 外、「n-i-n構造マッハ・ツェンダ光変調器の開発」、電子情報通信学会論文誌、2005年、Vol. J88-C、No. 2、pp. 83-90

【非特許文献3】T. Kurosaki et al., "200-km 10-Gbit/s OPTICAL DUOBINARY TRANSMISSION USING AN n-i-n InP MACH-ZEHNDER MODULATOR," IPRM 2007, Web1-3, pp. 361-364

30

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、半導体光変調器は小型・高効率である利点を持つ反面、入射光の波長や変調器素子の温度によって変調を行うのに必要となる電圧が変化するという問題を有している。これは、半導体光変調器における位相変調に、ポッケルス効果だけでなく、量子閉じ込めシュタルク効果(Quantum Confined Stark Effect: QCSE)を利用しているためである。

【0006】

図1に、無電界時、電界印加時の光吸収係数と波長の関係を表すQCSEを説明するための模式図を示す。図1では、入射光について、無電界時、電界印加時の光吸収係数の波長依存性を示している。入射光は、十分な透過率が得られる程度、すなわち吸収端波長よりも長波長側に配置されている。電界を印加すると、量子井戸層の光吸収の吸収端波長は長波長側にシフトする。このため、同一波長で見たときの光吸収係数が、無電界時よりも電界印加時の方が大きくなる。この電界により光吸収係数が変化する現象をQCSEと呼ぶ。光吸収係数は光の複素屈折率の虚部に相当し、複素屈折率の実部に相当する屈折率とはクラマース・クローニツヒの関係により結び付けられる。そのため、QCSEによる光吸収変化は、同時に屈折率変化を引き起こし、電界印加による位相変調が実現される。

40

【0007】

前述のとおり、QCSE屈折率変化は光吸収係数変化に起因しており、入射光波長と吸

50

収端波長との波長間隔に大きく依存する。図 2 に示すように、一般に、長波長の光に比べて短波長の光は、電界による光吸収係数の変化が大きいことから屈折率の変化も大きく、入射光波長依存性を生み出す。

【0008】

また、変調器の温度が高くなるにつれて、半導体のバンドギャップが低エネルギー化し、吸収端波長が長波長側にシフトする。入射光波長が吸収短波長に近づくことで、電界印加時の光吸収係数変化が増大し、屈折率変化も大きくなる。

【0009】

以上のように、QCSEによる屈折率変化、すなわち位相変化は、入射光波長及び素子温度依存性を持つこととなる。

【0010】

図 3 に、従来の電圧駆動型の半導体光変調器素子の模式図を示す。半導体基板 1 上に、光導波路 2、変調信号入力電極 3、変調用電極 4 を作製している。この従来例において半導体光変調器は、マッハ・ツェンダ型干渉計を構成した光強度変調器となっている。光導波路 2 に導入された光は、途中で 2 分岐される。2 分岐された光導波路上に作製された変調用電極 4 は、光導波路 2 下にあるグランド層との間に変調信号に応じた電界を発生させ、電気－光学効果により位相変調を行う。分岐して位相変調された光は再び 1 つの導波路に合波され、干渉効果により位相変調から強度変調に変換される。

【0011】

図 4 に、図 3 I I I で示した位相変調領域の断面図を示す。半導体基板 1 上に、n 型半導体 6、真性半導体 7、量子井戸 8、真性半導体 7、p 型半導体 9 の順に積層し、その上に上部電極すなわち変調用電極 4 を形成している。真性半導体 7 及び量子井戸 8 の層は、ドーピングを行っていない真性領域（i 層）であり、p-i-n 構造を成す。

【0012】

この構造は、p 層の電気抵抗が高い、光損失が大きい、また、i 層厚に対する制約も大きく電気インピーダンス整合が困難であるという問題を有している。そのため、長い位相変調領域を設けることが出来ない。短い位相変調領域で必要な位相変化を得るために、吸収端波長を入射光に近づけて、QCSEを活用する設計となっている。その結果、変調器が大きな波長依存性、温度依存性を持つこととなった。

【0013】

これら大きな波長依存性、温度依存性をもつ変調器を用いて所望の光変調波形（アイ波形）を得るために、波長チャンネル毎に DC バイアス及び変調振幅電圧を調整する必要がある。その一例として図 5（a）に、DC バイアス電圧と波長の関係を示す。この例では、簡潔とするため、半導体光変調器の温度は一定で動作させているが、図 5（b）に示す変調振幅電圧と波長の関係からも、DC バイアス電圧だけでなく、変調振幅電圧も変化させる必要があることが分かる。

【0014】

このように、従来の半導体光変調器を使用する光トランシーバでは調整用回路が必要になり、検査・調整工程においては調整パラメータ増加に伴う調整工数増加の要因ともなりうる。また、特に、変調振幅電圧の調整は、高周波信号波形の劣化を招く要因となり、品質劣化の原因ともなりうる。

【0015】

本発明は、このような課題に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、変調振幅電圧を一定とすることで、回路、調整のコストを低減し、波形品質も一定に保つことを可能とする半導体光変調器及びその制御方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0016】

このような目的を達成するために、請求項 1 に記載の発明は、半導体光変調器の制御方法であって、電圧変化による屈折率変化を用い、波長可変光源の出力光の変調を行う半導体光変調器において、前記半導体光変調器に、DC バイアス電圧と変調振幅電圧 V_m を有

10

20

30

40

50

する高周波信号であって、前記高周波信号の振幅の全幅が V_m である高周波信号を印加するステップと、 V_m が一定となるように DC バイアス電圧を制御するステップとを有することを特徴とする。

【0017】

請求項 2 に記載の発明は、請求項 1 に記載の半導体光変調器の制御方法において、前記 DC バイアス電圧を制御するステップは、前記 DC バイアス電圧を逐次変化させて前記半導体光変調器の DC バイアス電圧に対する出力光強度の関係を表す出力光強度特性を測定するステップと、前記出力光強度特性の位相情報を DC バイアス電圧 V_{Data} の 2 次の係数までを用いた式 $c_0 + c_1 \times V_{Data} + c_2 \times V_{Data}^2$ に基づいて解析するステップとを含むことを特徴とする。

10

【0018】

請求項 3 に記載の発明は、請求項 2 に記載の半導体光変調器の制御方法において、前記出力光強度特性を測定するステップは、前記波長可変光源の少なくとも 2 波長に対して前記 DC バイアス電圧を逐次変化させて前記半導体光変調器の DC バイアス電圧に対する出力光強度の関係を表す出力強度特性を測定するステップを含み、前記解析するステップは、前記出力光強度特性を DC バイアス電圧 V_{Data} の 2 次の係数までを用いた式 $c_0 + c_1 \times V_{Data} + c_2 \times V_{Data}^2$ を位相項として持つ正弦波関数にカーブフィッティングを行い、係数 c_0 、 c_1 及び c_2 を求めるステップを含み、前記 DC バイアス電圧を制御するステップは、所望の固定の変調振幅電圧 V_m 及び、変調方式で決まる変調振幅全幅での位相変化 α に対して、 $(\alpha / V_m - c_1) / 2 c_2$ となる DC バイアス電圧を設定するステップを含むことを特徴とする。

20

【0019】

請求項 4 に記載の発明は、請求項 2 に記載の半導体光変調器の制御方法において、前記出力光強度特性を測定するステップは、前記半導体光変調器が差動の入力端子を備え、前記波長可変光源の少なくとも 2 波長に対して、差動の入力 $Data$ 及び $Data\ Bar$ 端子それぞれの DC バイアス電圧 V_{Data} 及び V_{Bar} に対する前記半導体光変調器の DC バイアス電圧に対する出力光強度の関係を表す出力光強度特性を測定するステップを含み、前記解析するステップは、前記出力光強度特性を DC バイアス電圧の 2 次までの係数を用いた式 $c_0 + c_1 \times V_{Data} + c_2 \times V_{Data}^2 - (c_1 \times V_{Bar} + c_2 \times V_{Bar}^2)$ にカーブフィッティングを行い、係数 c_0 、 c_1 及び c_2 を求めるステップを含み、前記 DC バイアス電圧を制御するステップは、 $Data$ 端子に加える所望の固定の変調振幅電圧 V_m 、 $Data\ Bar$ 端子に加える変調振幅電圧を所望の定数 r 倍の V_m とするとき、変調方式で決まる変調振幅全幅での位相変化 α に対して、 $\alpha / V_m = (1 + r) \times c_1 + 2 c_2 \times (V_{Data} + r \times V_{Bar})$ を満足する DC バイアス電圧 V_{Data} 、 V_{Bar} を設定するステップを含むことを特徴とする。

30

【0020】

請求項 5 に記載の発明は、請求項 3 又は 4 に記載の半導体光変調器の制御方法において、前記解析するステップは、前記波長可変光源の一部波長において、係数 c_0 、 c_1 及び c_2 を、近接する波長の消光特性の測定及びカーブフィッティングにより得られた係数 c_0 、 c_1 及び c_2 の補間から求めるステップを含むことを特徴とする。

40

【0021】

請求項 6 に記載の発明は、半導体光変調器制御装置であって、複数の波長光を出力する波長可変光源と、前記波長可変光源の出力光を入力光として光変調を行う半導体光変調器と、前記半導体光変調器に DC バイアス電圧を印加する DC 電圧源と、前記半導体光変調器に前記 DC バイアス電圧と変調振幅電圧 V_m を有する高周波信号であって、前記高周波信号の振幅の全幅が V_m である高周波信号を印加する高周波信号源と、前記半導体光変調器の出力光の少なくとも一部を受光し、光強度を測定するパワーモニタと、 V_m が一定となるように前記 DC 電圧源の DC バイアス電圧を制御する制御演算装置とを備えたことを特徴とする。

【0022】

50

請求項 7 に記載の発明は、請求項 6 に記載の半導体光変調器制御装置において、前記制御演算装置は、前記 DC 電圧源が前記 DC バイアス電圧を逐次変化させ、前記パワーモニタが前記半導体光変調器の DC バイアス電圧に対する出力光強度の関係を表す出力光強度特性を測定するように制御し、前記出力光強度特性の位相情報を DC バイアス電圧 V_{Data} の 2 次の係数までを用いた式 $c_0 + c_1 \times V_{Data} + c_2 \times V_{Data}^2$ に基づいて解析することを特徴とする。

【0023】

請求項 8 に記載の発明は、請求項 7 に記載の半導体光変調器制御装置において、前記制御演算装置は、前記波長可変光源の少なくとも 2 波長に対して前記 DC バイアス電圧を逐次変化させて前記半導体光変調器の DC バイアス電圧に対する出力光強度の関係を表す出力強度特性を測定し、前記出力光強度特性を DC バイアス電圧 V_{Data} の 2 次の係数までを用いた式 $c_0 + c_1 \times V_{Data} + c_2 \times V_{Data}^2$ を位相項として持つ正弦波関数にカーブフィッティングを行い、係数 c_0 、 c_1 及び c_2 を求め、所望の固定の変調振幅電圧 V_m 及び、変調方式で決まる変調振幅全幅での位相変化 α に対して、 $(\alpha / V_m - c_1) / 2c_2$ となる DC バイアス電圧を前記 DC 電圧源に設定することを特徴とする。

【0024】

請求項 9 に記載の発明は、請求項 7 に記載の半導体光変調器制御装置において、前記波長可変光源は、複数の波長光を出力する差動の入力 $Data$ 及び $Data\ Bar$ 端子を有し、前記制御演算装置は、前記波長可変光源の少なくとも 2 波長に対して、前記差動の入力 $Data$ 及び $Data\ Bar$ 端子それぞれの DC バイアス電圧 V_{Data} 及び V_{Bar} に対する前記半導体光変調器の DC バイアス電圧に対する出力光強度の関係を表す出力光強度特性を測定し、前記出力光強度特性を DC バイアス電圧の 2 次までの係数を用いた式 $c_0 + c_1 \times V_{Data} + c_2 \times V_{Data}^2 - (c_1 \times V_{Bar} + c_2 \times V_{Bar}^2)$ にカーブフィッティングを行い、係数 c_0 、 c_1 及び c_2 を求め、 $Data$ 端子に加える所望の固定の変調振幅電圧 V_m 、 $Data\ Bar$ 端子に加える変調振幅電圧を所望の定数 r 倍の V_m とするとき、変調方式で決まる変調振幅全幅での位相変化 α に対して、 $\alpha / V_m = (1 + r) \times c_1 + 2c_2 \times (V_{Data} + r \times V_{Bar})$ を満足する DC バイアス電圧 V_{Data} 、 V_{Bar} を前記 DC 電圧源に設定することを特徴とする。

【0025】

請求項 10 に記載の発明は、請求項 8 又は 9 に記載の半導体光変調器制御装置において、前記制御演算装置は、前記波長可変光源の一部波長において、係数 c_0 、 c_1 及び c_2 を、近接する波長の消光特性の測定及びカーブフィッティングにより得られた係数 c_0 、 c_1 及び c_2 の補間から求めることを特徴とする。

【0026】

請求項 11 に記載の発明は、請求項 6 乃至 10 のいずれかに記載の半導体光変調器制御装置において、前記半導体光変調器の位相変調領域の層構造が、 $n-i-n$ 型半導体、及び、 $n-p-i-n$ 型半導体のいずれかの接合により形成されていることを特徴とする。

【発明の効果】

【0027】

本発明によれば、回路、調整のコストを低減し、波長可変光源が出力する波長領域の全域において固定した変調振幅で変調を行う光半導体変調装置及びその制御方法が可能になる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0028】

以下、図面を参照しながら本発明の実施形態について詳細に説明する。

【0029】

図 6 に、本発明の実施形態 1 に係る半導体光変調器制御装置の構成を示す。変調器内蔵波長可変光源 10 は、ペルチェ素子 11 上に、半導体波長可変レーザ 12、半導体光変調器 14、パワーモニタ PD 16、及びこれらを光学的に結合するレンズ 13、15 を搭載する。ペルチェ素子 11 は温度制御器 17 により、半導体波長可変レーザ 12 はレーザ電

10

20

30

40

50

流源 18 により、半導体光変調器 14 の DC バイアス電圧は変調器 DC 電圧源 19 によりそれぞれ制御される。これら温度制御器 17、レーザ電流源 18、変調器 DC 電圧源 19 の装置は、制御演算装置 21 で目標値設定の高次な制御を受ける。また、パワーモニタ PD 16 のモニタ電流値は PD 用電源 20 により読み出され、その結果は制御演算装置 21 に収録される。半導体光変調器 14 に加えられる高周波信号は、変調器用高周波信号源 22 で発生される。本実施形態 1 では、変調器内蔵波長可変光源 10 からの出力光の一部を光分波器 23 で分岐して光パワーメータ 24 で光強度を測定し、制御演算装置 21 に送ることも可能なシステムとなっている。

【0030】

図 7 に、本実施形態 1 において用いた半導体光変調器 14 の構成を示す。2 つの変調用電極 4 を持ち、それぞれに独立して信号を伝えるために 2 対の変調信号入出力電極 3 を備えている。また、高周波信号源 22 からの変調信号（振幅電圧 V_m ）と変調器 DC 電圧源 19 からの DC バイアス（ V_{Data} 、 V_{Bar} ）はコンデンサとコイルから成るバイアススティを用いて、変調信号入出力電極 3 に加えている。これにより、変調信号入出力電極 3 に印加される電圧の時間平均値（DC バイアス電圧）が変調器 DC 電圧源 19 の出力電圧に一致する。

【0031】

図 8 に、DC バイアス電圧 V_{Data} 、 V_{Bar} と変調振幅電圧 V_m の関係を示す。このように、DC バイアス電圧 V_{Data} 、 V_{Bar} を印加して、この DC バイアス電圧 V_{Data} 、 V_{Bar} が振幅の中心となるように変調振幅電圧 V_m で変調する。このとき、変調器の消光特性は次式で与えられる。

【0032】

【数 1】

$$P_{meas}(V_{Data}, V_{Bar}) = P_{ave} + P_a \sin[\phi(V_{Data}, V_{Bar})] \quad \dots (1)$$

【0033】

【数 2】

$$\phi(V_{Data}, V_{Bar}) = c_0 + [c_1 \cdot V_{Data} + c_2 \cdot V_{Data}^2] - [c_1 \cdot V_{Bar} + c_2 \cdot V_{Bar}^2] \quad \dots (2)$$

【0034】

ここで、 P_{meas} は測定される消光特性、 P_{ave} 、 P_a はそれぞれ平均パワー、パワー振幅に対応する係数であり、式 2 は、正弦波関数の位相項（ c_0 、 c_1 、 c_2 は位相の電圧に対する係数）である。

【0035】

（実施形態 1）

ここで、本発明の実施形態 1 に係る半導体光変調器制御装置における半導体光変調器の単一駆動時の制御方法について説明する。 $Data$ 側の端子を用いて単一駆動する場合の瞬時の高周波信号電圧値を V_s とすると、その位相項は、

【0036】

【数 3】

$$\phi(V_{Data}, V_{Bar}, V_s) = c_0 + [c_1 \cdot (V_{Data} + V_s) + c_2 \cdot (V_{Data} + V_s)^2] - [c_1 \cdot V_{Bar} + c_2 \cdot V_{Bar}^2] \quad \dots (3)$$

【0037】

と表される。バイアス点における位相の電圧変化率は、

【0038】

10

20

30

40

【数 4】

$$\frac{d\phi(V_{Data}, V_s)}{dV_s} = c_1 + 2c_2 \cdot V_{Data} \quad \dots \quad (4)$$

【0039】

ここで、NRZ (Non-return to Zero) 変調形式で100%変調を行う場合、必要な位相変化は π であるため、変調振幅電圧 V_m に対して下記の関係を満たす必要がある。

【0040】

10

【数 5】

$$\frac{d\phi(V_{Data}, V_s)}{dV_s} \cdot V_m = \pi \quad \dots \quad (5)$$

【0041】

このことからDCバイアス電圧を次式の通り設定すればよいことになる。

【0042】

【数 6】

$$V_{Data} = \left(\frac{\pi}{V_m} - c_1 \right) / 2c_2 \quad \dots \quad (6)$$

20

【0043】

また、NRZ変調を行うためには、DCバイアス点における位相が0もしくは π である必要があるため、 n を整数として次式を満足する必要がある。(nは通常0とする。算出されるDCバイアス電圧値や伝送特性を考慮し、 ± 1 、 $\pm 2 \dots$ を使用する場合もある。)

【0044】

【数 7】

$$c_0 + \left[c_1 \cdot V_{Data} + c_2 \cdot V_{Data}^2 \right] - \left[c_1 \cdot V_{Bar} + c_2 \cdot V_{Bar}^2 \right] = n\pi \quad \dots \quad (7)$$

30

【0045】

尚、以上の説明では、正弦波関数としてサイン関数を用いたが、コサイン関数や、複素の指数関数を用いて表記した場合にも c_0 、 P_a 値が異なるものの同様の関係式が得られる。

【0046】

以下、単一駆動の場合の具体的な制御手順を図10(a)に示しながら説明する。まず、制御演算装置21は、温度制御器17を介した温度制御とレーザ電流源18を介したレーザ電流制御により、半導体波長可変レーザ12が所望の波長の光を出力するよう制御を行う(S1011)。

40

【0047】

次に、変調器DC電圧源19を用いてDCバイアス電圧 V_{Data} をスイープ(小刻みなステップで電圧を変化)させ、半導体光変調器14を通して出力される光パワーをパワーモニタPD16、もしくは、光パワーメータ24にて測定し、出力光パワーのDCバイアス電圧 V_{Data} 依存性を測定する(S1012)。この時、 V_{Bar} は0Vに固定している。その結果得られた消光特性の例を図9に示す。消光カーブの極大と極小を与える電圧の差が半波長電圧 V_π である。

【0048】

以下は、制御演算装置21での処理となる。この消光特性を式1及び式2に $V_{Bar} =$

50

0を代入して得られる次式に対してカーブフィッティングを行う。

【0049】

【数8】

$$\phi(V_{Data}) = c_0 + c_1 \cdot V_{Data} + c_2 \cdot V_{Data}^2 \quad \dots \quad (8)$$

【0050】

フィッティングにより得られた1次と2次の係数 c_1 、 c_2 、所望とする変調振幅電圧 V_m 、及び式6から設定すべきDCバイアス電圧 V_{Data} が求められる(S1013、S1014)。

10

【0051】

次に、これらの値を用いて、式7から V_{Bar} を求める(S1015)。これらS1011～S1015の操作を半導体波長可変レーザ12が出力する全波長に対して行い半導体光変調器14に求めたDCバイアス電圧 V_{Data} 、 V_{Bar} を印加することで、全波長領域で一定変調振幅電圧 V_m での変調が実現される(S1016)。

【0052】

参考として、変調振幅電圧 V_m は、半波長電圧 V_π の定数倍として使用する(定数は変調方式により決められ、単一駆動のNRZ変調(変調度100%)の場合は定数 $\alpha = \pi$)。従って、上記の操作は、全波長領域において半波長電圧を一定とすることと等価となる。

20

【0053】

(実施形態2)

次に、本発明の実施形態2に係る半導体光変調器制御装置における半導体光変調器の差動動作時の制御方法について説明する。図7の半導体光変調器が持つ2つの位相変調領域に印加するDCバイアス電圧値を $Data$ 、 $Data_{Bar}$ 端子それぞれに対して V_{Data} 、 V_{Bar} とし、瞬時の高周波信号電圧値をそれぞれ V_s 、及び定数 r 倍の V_s とすると、式1の位相項は次式で与えられる。

【0054】

【数9】

$$\phi(V_{Data}, V_{Bar}, V_s) = c_0 + [c_1 \cdot (V_{Data} + V_s) + c_2 \cdot (V_{Data} + V_s)^2] - [c_1 \cdot (V_{Bar} - rV_s) + c_2 \cdot (V_{Bar} - rV_s)^2] \quad \dots \quad (9)$$

30

【0055】

バイアス点における、位相の電圧変化率は、

【0056】

【数10】

$$\frac{d\phi(V_{Data}, V_{Bar})}{dV_s} = (1+r)c_1 + 2c_2 \cdot (V_{Data} + rV_{Bar}) \quad \dots \quad (10)$$

40

【0057】

となり、NRZ変調で100%変調を行う場合は式5を満たす必要があるため、DCバイアス電圧 V_{Data} 、 V_{Bar} は次式も満たす必要がある。

【0058】

【数11】

$$(1+r)c_1 + 2c_2 \cdot (V_{Data} + rV_{Bar}) = \frac{\pi}{V_m} \quad \dots \quad (11)$$

50

【0059】

また、バイアス点では位相が0か π となる必要があるため、式7も満たす必要がある。

【0060】

また、光デュオバイナリ変調を行う際には、変調振幅電圧 V_m での位相変化を 2π 、バイアス点での位相が $-\pi/2$ となるよう条件を与えることで、同様に V_{Data} 、 V_{Bar} の値を求めることができる（非特許文献3参照）。

【0061】

尚、本明細書では、NRZ変調形式、光デュオバイナリ変調形式に関して説明したが、本発明はさまざまな変調フォーマットに対応が可能であって、RZ変調形式についても適用することができる。

10

【0062】

以下で差動動作の場合における、具体的な制御手順を図10（b）に示しながら説明する。まず、制御演算装置21は、温度制御器17を介した温度制御と、レーザ電流源18を介したレーザ電流制御により、半導体波長可変レーザ12が所望の波長の光を出力するよう制御を行う（S1021）。

【0063】

次に、DC電圧源19を用いて V_{Bar} を0Vとし、電圧 V_{Data} をスイープさせた時に変調器を通して出力される光パワーをパワーモニタPD16、もしくは、光パワーメータにてData端子の消光特性を測定する（S1022）。次に、DC電圧源19を用いて V_{Data} を0Vとし、電圧 V_{Bar} をスイープさせた時に変調器を通して出力される光パワーをパワーモニタPD16、もしくは、光パワーメータにてData Bar端子の消光特性を測定する（S1024）。制御演算装置21を用いて、Data端子、及び、Data Bar端子、それぞれの消光特性に対して、式1、2のフィッティングを行い、係数 c_0 、 c_1 、 c_2 を求める（S1023、S1025）。このようにして求めた2組の $c_0 \sim c_2$ の平均値及び、所望の変調振幅電圧値 V_m を式11、7に代入して方程式を解くことでDCバイアス電圧 V_{Data} 、 V_{Bar} を算出する（S1026、A1027）。

20

【0064】

これらS1021～S1027の操作を半導体波長可変レーザ12が出力する全波長に対して行うことで、全波長領域で一定変調振幅電圧 V_m での変調が実現される。

30

【0065】

尚、この場合、 V_{Data} に関する消光特性時に V_{Bar} を0Vとしたが、0V以外に固定することも可能である。また、差動対の位相変調領域は同一特性と考えられるため、どちらか一方に対してフィッティングを行い、その結果得られた係数 c_0 、 c_1 、 c_2 を用いてDCバイアス電圧 V_{Data} 、 V_{Bar} の算出を行うことも可能である。

【0066】

次に、本発明の半導体光変調器制御装置の半導体波長可変レーザ12として、同一基板上に波長の異なる複数の分布帰還型（DFB：Distributed Feed Back）レーザとそれらの出力光を合波する合波器とを備えた波長可変レーザアレイ（TLA：Tunable Laser Array）を用いた場合の結果を示す。TLAでは、波長調整の粗調整は電流注入を行うDFBレーザの選択で行い、微調整はレーザ温度で調整を行う。図12（a）に、DFBレーザの設計波長を3.2nm間隔で配置したTLAを光周波数間隔50GHz（波長間隔約0.4nm）で駆動させた時の各波長に対するレーザ温度を示す。縦方向に連続した点の並びが同一DFBレーザでの光出力を示し、11本の並びが11個のレーザを切り替えて光らせたことを示している。図6に示したとおり、半導体波長可変レーザ12と半導体光変調器14は同一のペルチェ素子で温度制御されるため、変調器もレーザと同じ温度環境で動作することになる。

40

【0067】

以上、説明してきた手順で求めた、 $V_m = 1.5 \text{ Vpp}$ 、 $r = 1$ での差動動作時のDCバイアス電圧 V_{Data} 、 V_{Bar} を図12（b）に示す。ここに示した条件でDCバイ

50

アス電圧 V_{Data} 、 V_{Bar} を駆動することで、半導体光変調器の温度、入射波長が異なる条件に対しても均一な変調特性を得ることが出来る。

【0068】

図13(a)、(b)に、図12(a)の条件で駆動させた時の各波長に対するフィッティングパラメータ c_1 、 c_2 を示す。図13(a)に示すポッケルス効果を代表する c_1 は、各波長における温度変化に対してほぼ一定であり、温度・波長依存性は小さい。一方、図13(b)に示すQCEを代表する c_2 は、各波長における温度変化に対して変化が大きく、温度・波長依存性は大きい。

【0069】

全ての波長に対して消光特性を測定し、 c_0 、 c_1 、 c_2 を計算することなく、一部の波長に対して実測、フィッティングを行い、その結果に対して補間を行うことで c_0 、 c_1 、 c_2 を求めることも可能である。図13のデータを直線近似でフィッティングした結果が図14に「直線補間」として示した線であり、十分良い近似になっていることが分かる。これら、補間により求められた c_0 、 c_1 、 c_2 を用いて V_{Data} 、 V_{Bar} を上述の方法で算出することで所望の変調特性を得ることが出来る。

【0070】

(実施形態3)

上述のように、従来の半導体光変調器の波長・温度依存性が大きい理由として、半導体光変調器の積層構造が位相変調領域を長くとれない p-i-n 構造であることが挙げられる。そこで、この半導体光変調器の積層構造を波長・温度依存性の少ないものにするこ

【0071】

本発明の実施形態3に係る半導体光変調器14は、図7XIで示す位相変調領域の断面として、n-i-n型半導体の積層構造(図11(a))、もしくは、n-p-i-n型半導体の積層構造(図11(b))を使用しているところに特徴がある。n-i-n型半導体では、下から、半導体基板1、n型半導体層6、真性半導体層7、量子井戸層8、真性半導体層7、n型半導体層6の順にエピタキシャル成長により半導体層を積層し、その上部に変調用電極4を作製している。また、n-p-i-n型では、n-i-n型の上部真性半導体層7と上部n型半導体層6の間に薄いp型半導体層9を設けることでキャリアストップ層としている。これらの構造の採用により、従来のp-i-n構造に比べて、光、電気の損失を低減し、またインピーダンス整合が容易であることから、長い位相変調領域が可能となっている(特許文献1参照)。長い位相変調領域を設けられることにより、ポッケルス効果による位相変調を主とした、波長・温度依存性の少ない変調特性が得られ、DCバイアスを用いた変調振幅一定制御がより容易となる。もちろん、これらの利点は得られないものの、実施形態1、2では、従来例として示した図3、4で示す構造の変調器を使用することも可能である。

【0072】

以上では、Cバンド(1530~1565nm)をカバーする広域波長可変半導体レーザとの組み合わせ例を示したが、DFBレーザを温度制御により波長可変させる狭域の波長可変レーザと組み合わせた場合にも、同様にして半導体光変調器の制御を行うことが可能である。

【図面の簡単な説明】

【0073】

【図1】無電界時、電界印加時の光吸収係数と波長の関係を表すQCEを説明するための模式図である。

【図2】無電界時、電界印加時の光吸収係数の変化量の波長依存性を示す図である。

【図3】従来の電圧駆動型の半導体光変調器素子の模式図である。

【図4】図3A-A'で示した位相変調領域の断面図である。

【図5】DCバイアス電圧と波長の関係を示す図である。

【図6】本発明の実施形態1に係る半導体光変調器制御装置の構成を示す図である。

【図 7】本実施形態 1 において用いた半導体光変調器 1 4 の構成を示す図である。

【図 8】D C バイアス電圧と変調振幅電圧の関係を示す図である。

【図 9】半導体光変調器の消光特性を表す出力光パワーと D C バイアス電圧の関係を示す図である。

【図 1 0】(a) は、本発明における単一駆動の場合の制御手順を示すフローチャートであり、(b) は、本発明における差動動作の場合の制御手順を示すフローチャートである。

【図 1 1】(a) は、半導体光変調器の $n-i-n$ 型半導体の積層構造を示す図であり、(b) は、半導体光変調器の $n-p-i-n$ 型半導体の積層構造を示す図である。

【図 1 2】(a) は、各波長に対する D F B レーザと T L A を用いた場合のレーザ温度を示す図であり、(b) は、各波長に対する差動動作時の D C バイアス電圧 $V_{D a t a}$ 、 $V_{B a r}$ を示す図である。

【図 1 3】(a) は、各波長に対するフィッティングパラメータ c_1 を示す図であり、(b) は、各波長に対するフィッティングパラメータ c_2 を示す図である。

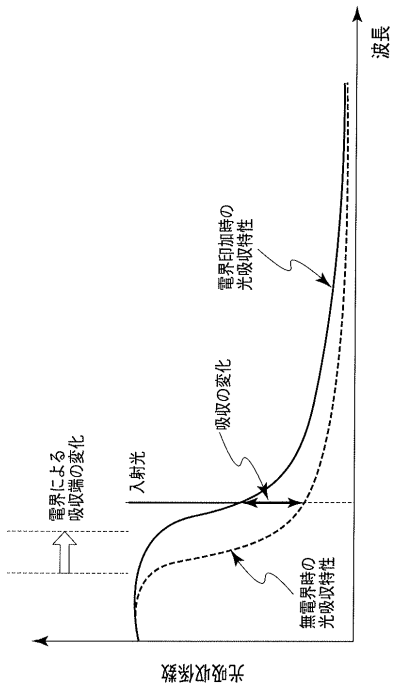
【図 1 4】(a) は、フィッティングパラメータ c_1 の直線近似を示す図であり、(b) は、フィッティングパラメータ c_2 と波長の関係の直線近似を示す図である。

【符号の説明】

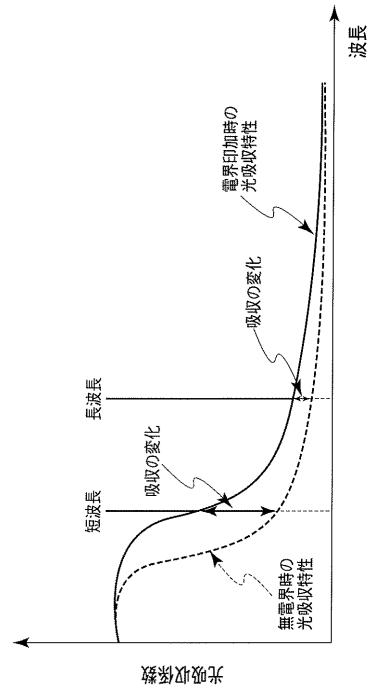
【0 0 7 4】

- | | | |
|-----|-------------|----|
| 1 | 半導体基板 | |
| 2 | 光導波路 | 20 |
| 3 | 変調信号入(出)力電極 | |
| 4 | 変調用電極 | |
| 5 | グランド電極 | |
| 6 | n 型半導体層 | |
| 7 | 真性半導体層 | |
| 8 | 量子井戸層 | |
| 9 | p 型半導体層 | |
| 1 0 | 変調器内蔵波長可変光源 | |
| 1 1 | ペルチェ素子 | |
| 1 2 | 半導体波長可変レーザ | 30 |
| 1 3 | レンズ | |
| 1 4 | 半導体光変調器 | |
| 1 5 | レンズ | |
| 1 6 | パワーモニタ P D | |
| 1 7 | 温度制御器 | |
| 1 8 | レーザ電流源 | |
| 1 9 | 変調器 D C 電圧源 | |
| 2 0 | P D 用電源 | |
| 2 1 | 制御演算装置 | |
| 2 2 | 変調器高周波信号源 | 40 |
| 2 3 | 光分波器 | |
| 2 4 | 光パワーメータ | |

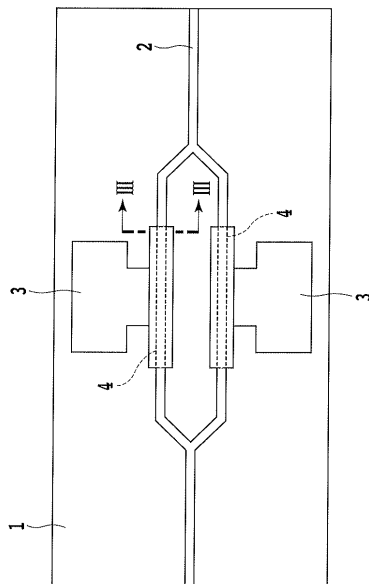
【図 1】



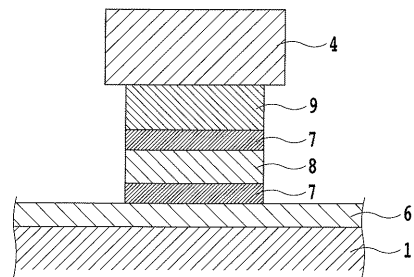
【図 2】



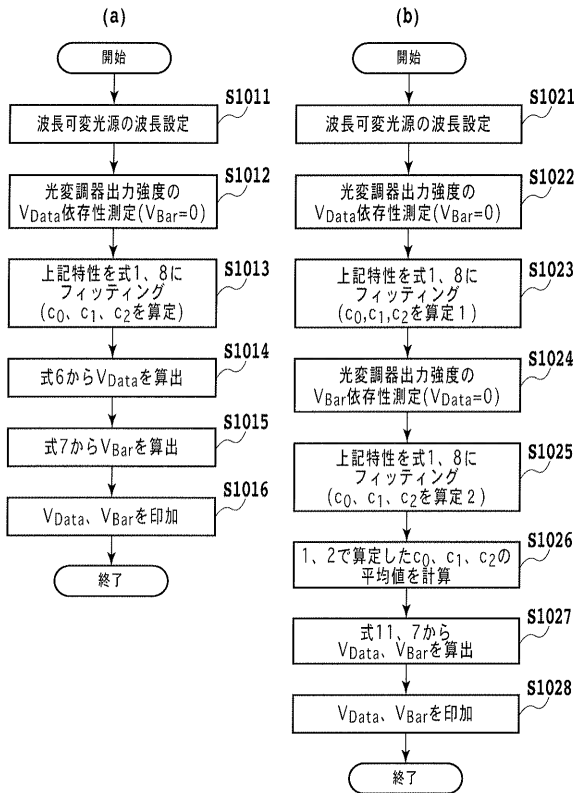
【図 3】



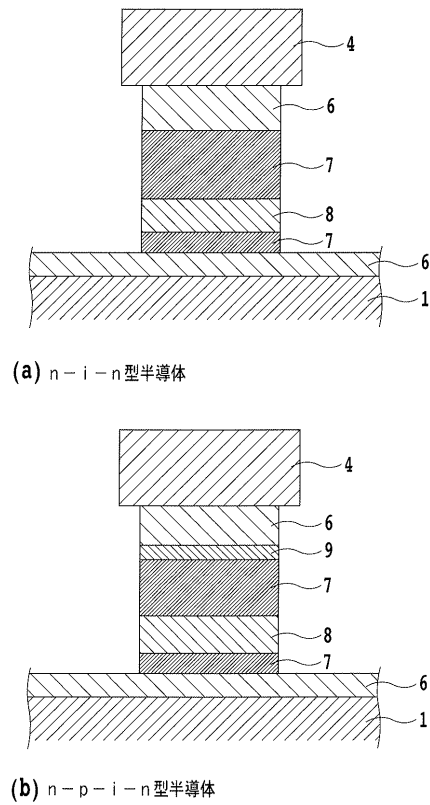
【図 4】



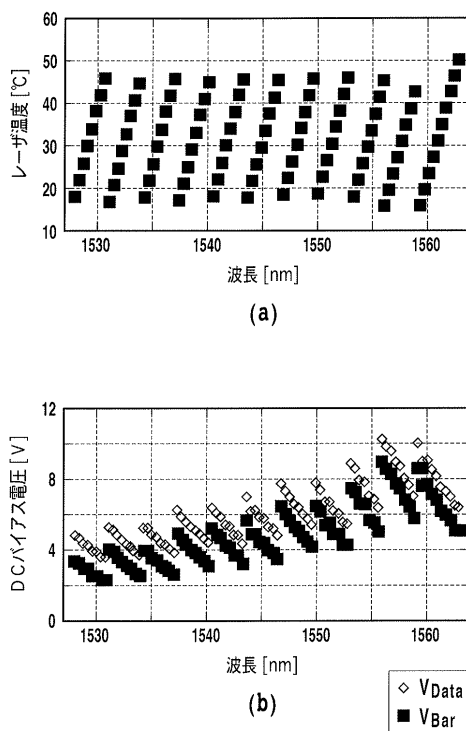
【図 10】



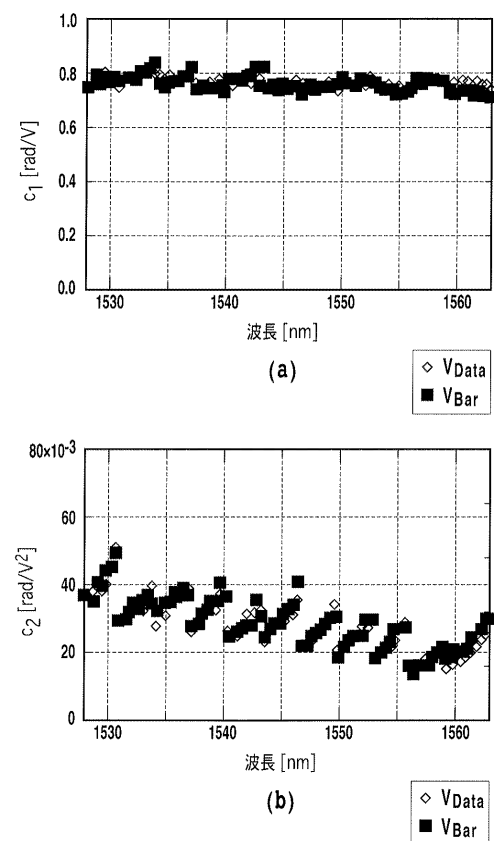
【図 11】



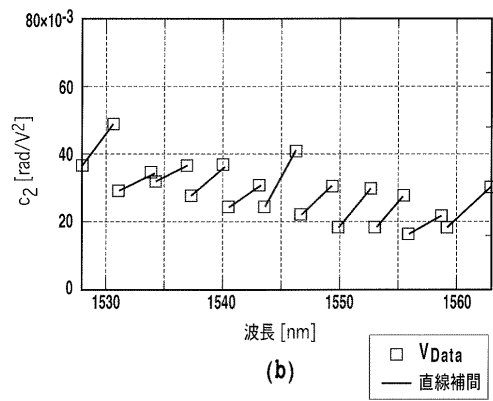
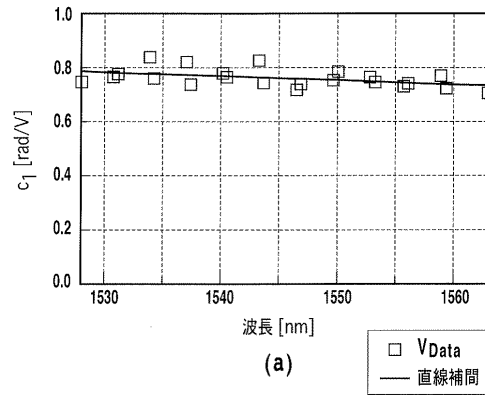
【図 12】



【図 13】



【図 1 4】



フロントページの続き

(72)発明者 菊池 順裕

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

Fターム(参考) 2H079 AA02 AA12 BA01 CA04 DA16 EA05 EA07 EB04 HA11 KA18

KA19

5F173 SA26 SC01 SE01 SF03 SF13 SF17 SF33 SF43 SF46 SF62