

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3866082号
(P3866082)

(45) 発行日 平成19年1月10日(2007. 1. 10)

(24) 登録日 平成18年10月13日(2006. 10. 13)

(51) Int. Cl. F I
GO 1 M 11/00 (2006. 01) GO 1 M 11/00 T
GO 2 F 1/035 (2006. 01) GO 2 F 1/035

請求項の数 4 (全 10 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2001-337450 (P2001-337450)</p> <p>(22) 出願日 平成13年11月2日 (2001. 11. 2)</p> <p>(65) 公開番号 特開2003-139653 (P2003-139653A)</p> <p>(43) 公開日 平成15年5月14日 (2003. 5. 14)</p> <p>審査請求日 平成16年10月25日 (2004. 10. 25)</p> <p>特許法第30条第1項適用 2001年8月29日 社団法人電子情報通信学会発行の「2001年電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会講演論文集1」に発表</p>	<p>(73) 特許権者 301022471 独立行政法人情報通信研究機構 東京都小金井市貫井北町4-2-1</p> <p>(73) 特許権者 000183266 住友大阪セメント株式会社 東京都千代田区六番町6番地28</p> <p>(74) 代理人 100098383 弁理士 杉村 純子</p> <p>(74) 代理人 100116687 弁理士 田村 爾</p> <p>(72) 発明者 及川 哲 東京都港区芝2丁目31番19号 通信・放送機構内</p>
---	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光変調器の特性測定方法及び装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

入射光を2つ以上に分岐し、分岐した光の少なくとも一方に電気信号を印加することにより位相変調を行い、その後、該分岐した光を合成することにより強度変調された光信号を発生する光変調器に対し、

該光信号のスペクトル分布を測定し、該測定されたスペクトル分布に係る測定値から該光変調器の強度変調に係る特性値である光変調器の半波長電圧値を算出することを特徴とする光変調器の特性測定方法。

【請求項2】

入射光を2つ以上に分岐し、分岐した光の少なくとも一方に電気信号を印加することにより位相変調を行い、その後、該分岐した光を合成することにより強度変調された光信号を発生する光変調器に対し、

該光信号のスペクトル分布を測定し、該測定されたスペクトル分布に係る測定値から該光変調器の強度変調に係る特性値である光変調器のチャープパラメータ値を算出することを特徴とする光変調器の特性測定方法。

【請求項3】

請求項1又は2に記載の光変調器の特性測定方法において、

該電気信号がバイアス電圧と変調信号とからなり、

該測定値は、該バイアス電圧の可変調整により、入射光と同じスペクトル成分における出射光の光強度が最大となる場合の該スペクトル成分の出射光の光強度値 P_{0b} 、入射光

10

20

と同じスペクトル成分における出射光の光強度が最小となる場合の変調周波数に係る成分の出射光の光強度値 P_{1c} 、及び該変調信号を印加しない場合の出射光の光強度値 P_{0a} であり、

該光変調器の強度変調に係る特性値の算出に際し、該光強度値 P_{0a} により該光強度値 P_{0b} と該光強度値 P_{1c} とを規格化した値を用いることを特徴とする光変調器の特性測定方法。

【請求項 4】

請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の光変調器の特性測定方法を用いたことを特徴とする光変調器の特性測定装置。

【発明の詳細な説明】

10

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光通信や光計測に用いられるマッハ・ツェンダー干渉型光変調器（以下、MZ型光変調器をいう）のような、入射光を2つ以上に分岐し、分岐された光の少なくとも一方に電気信号を印加することにより位相変調を行い、その後、該分岐された光を合成することにより強度変調された光信号を発生する光変調器の特性を測定する方法及び装置に関し、特に、高周波変調時における該光変調器の半波長電圧値やチャープパラメータ値などの特性を測定する方法及び装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

20

近年の音声、データ等の通信需要の増大により、大容量データを高速に通信することを可能とする光通信システムへの要請が高くなっている。

このような大容量・高速な通信システムには、データ生成のための高速変調動作が可能なMZ型光変調器が用いられている。

【0003】

MZ型光変調器の基本的な動作を説明する。

MZ型光変調器は、図1に示すように、LiNbO₃ などのような電気光学効果を有する基板10上に、光波を導波するための光導波路20と、前記光波にマイクロ波帯域の高速変調信号を印加するための電極（不図示）などによって構成される。MZ型光変調器の動作原理は、光導波路20の一端から入力された光が、途中で分岐されると共に信号源30から印加された電気信号の電圧の大きさに依存して屈折率が変化した基板中を通過するため相互の光に速度差を生じ、分岐した光が合流した際には、相互に位相のずれが発生し、合成された光出力は、該電気信号に応じた強度変化を示す。

30

【0004】

図2は、MZ型光変調器に印加される信号源30の入力電圧に対する光出力強度の変化を示すグラフである。図2中のa点は、MZ型光変調器を通過する光が最大限となる「On動作」状態であり、b点は通過光が最小限となる「Off動作」状態を示し、「On動作」と「Off動作」との間のスイッチング動作に要する電圧（a点とb点との間の入力電圧値の大きさ）を半波長電圧（ V_{π} ）と呼び、光変調器の特性を評価する重要なパラメータの1つである。

40

【0005】

半波長電圧を測定する方法としては、図3のように「電気入力波形」として示した波形の電圧を、図1の信号源30よりMZ型光変調器に印加し、MZ型光変調器からの出力光の光強度波形を、サンプリングオシロスコープなどで直接観察する。サンプリングオシロスコープで観察される出力光の光強度波形は、図3の「光変調器出力の観察波形」として示されている。

そして、図3のような観察波形の振幅値が最大となる状態における、光変調器への印加電圧、つまり、図3の「電気入力波形」の入力振幅値を測定することにより、MZ型光変調器の半波長電圧を測定していた。

【0006】

50

【発明が解決しようとする課題】

半波長電圧値などの光変調器の特性は、同じ光変調器であっても光変調器に印加される電気信号の周波数に応じて変化する。しかも、近年の光通信の高速・大容量化に伴い、光変調器の駆動周波数も高周波化し、10GHzやそれ以上の周波数においても正確な半波長電圧値などの特性を測定することが要求されている。

しかしながら、サンプリングオシロスコープなどのような波形を直接観察する測定器具を用いた場合、印加電圧の周波数が高くなると、受光系の周波数特性の問題により正確な波形を観察するのが困難となる。しかも、光変調器を駆動する信号発生器やアンプの出力不足、高調波による波形の歪みなどの影響により、正確な半波長電圧値などの光変調器の特性を測定することが、一層困難になっていた。

10

【0007】

本発明の課題は、上記の問題を解決し、高周波変調時における光変調器の半波長電圧値やチャープパラメータ値などの特性を、正確に測定するための方法及び装置を提供することである。

【0008】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するために、本発明に係る光変調器の特性測定方法では、入射光を2つ以上に分岐し、分岐した光の少なくとも一方に電気信号を印加することにより位相変調を行い、その後、該分岐した光を合成することにより強度変調された光信号を発生する光変調器に対し、該光信号のスペクトル分布を測定し、該測定されたスペクトル分布に係る測定値から該光変調器の強度変調に係る特性値を算出することを特徴とする。

20

請求項1に係る光変調器の特性測定方法では、該光変調器の強度変調に係る特性値は、該光変調器の半波長電圧値であり、請求項2に係る光変調器の特性測定方法では、該光変調器の強度変調に係る特性値は、該光変調器のチャープパラメータ値であることを各々特徴とする。

【0009】

請求項3に係る光変調器の特性測定方法では、請求項1又は2に記載の光変調器の特性測定方法において、該電気信号がバイアス電圧と変調信号とからなり、該測定値は、該バイアス電圧の可変調整により、入射光と同じスペクトル成分における出射光の光強度が最大となる場合の該スペクトル成分の出射光の光強度値 P_{0b} 、入射光と同じスペクトル成分における出射光の光強度が最小となる場合の変調周波数に係る成分の出射光の光強度値 P_{1c} 、及び該変調信号を印加しない場合の出射光の光強度値 P_{0a} であり、該光変調器の強度変調に係る特性値の算出に際し、該光強度値 P_{0a} により該光強度値 P_{0b} と該光強度値 P_{1c} とを規格化した値を用いることを特徴とする。

30

【0012】

請求項4に係る光変調器の特性測定装置では、請求項1乃至3のいずれかに記載の光変調器の特性測定方法を用いたことを特徴とする。

【0013】

【発明の実施の形態】

以下、本発明を好適例を用いて詳細に説明するが、本発明の範囲は、当該好適例に限定されるものではない。

40

本発明の測定の原理について説明する。

図4は、本発明に用いられる測定系の概略図である。レーザから出た光波は、偏波コントローラにより光変調器による変調に適した偏波に調整され、測定対象の光変調器に入射される。

この光変調器には、DC電源によるバイアス電圧と発振器による電気信号とが重畳されて印加される。

光変調器は、この重畳された印加電圧に対応して入射光を変調する。光変調器によって変調された出射光は、光スペクトラムアナライザに入射され、出射光の周波数成分に応じた光強度分布が測定される。

50

【 0 0 1 4 】

この測定対象となる M Z 型光変調器の光導波路の構成を、図 5 に示す。

入射光は導波路 1 に導入されると、Y 分岐 1 において 2 つに分岐され、分岐された光は各々の導波路 2 , 3 を伝搬し、Y 分岐 2 により合波され、最後に導波路 4 を経て出射される。

【 0 0 1 5 】

今、入射光として電界 $E_i \exp(j\omega_0 t)$ を有する光を入射させた場合を考える。M Z 型光変調器において変調をかけていない場合には、出射光は入射光と同じと仮定できるため、出射光の光強度値 P_{0a} は、次の式 1 で表せる。

【 式 1 】

$$P_{0a} = E_i^2 \quad \dots(1)$$

10

【 0 0 1 6 】

次に、導波路 2 , 3 で変調を行った場合を考える。変調をかけていない場合と同様に、電界 $E_i \exp(j\omega_0 t)$ を有する光を入射させ、導波路 2 , 3 で変調を加え、更に Y 分岐 2 で合波した光の電界成分 $E(t)$ は、次の式 2 で表せる。

【 式 2 】

$$\begin{aligned} E(t) &= \frac{E_i e^{j\omega_0 t}}{2} \left\{ \exp[jA_1 \sin(\omega_m t + \phi_1) + j\phi_{B1}] + \exp[jA_2 \sin(\omega_m t + \phi_2) + j\phi_{B2}] \right\} \\ &= \frac{E_i e^{j\omega_0 t}}{2} \left\{ \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(A_1) \exp[jn\omega_m t + jn\phi_1 + j\phi_{B1}] + \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(A_2) \exp[jn\omega_m t + jn\phi_2 + j\phi_{B2}] \right\} \\ &\quad \dots(2) \end{aligned}$$

20

【 0 0 1 7 】

ここで、 A_1 , A_2 は、変調の深さを表すパラメータ（変調指数）、 ω_m は変調信号の角周波数、 ϕ_1 , ϕ_2 は各導波路により異なる変調信号の位相、 ϕ_{B1} , ϕ_{B2} は導波路の初期状態による位相を表す。

式 2 は、合波した光波が様々な周波数成分を有すること示している。ここでは、このような周波数成分の内、入射光と同じ周波数成分（式 2 中で $n = 0$ の場合）と、+ 1 次の高次項（式 2 中で $n = 1$ の場合）に着目する。

入射光と同じ周波数成分（ ω_0 ）と + 1 次の高次項（ $\omega_0 + \omega_m$ ）の光強度を測定する。図 6 に光スペクトラムアナライザの測定波形を示す。

これらの各成分の光強度は、次の式 3（入射光と同じ周波数成分の光強度 P_0 ）及び式 4（+ 1 次の高次項の光強度 P_1 ）で表せる。

【 式 3 】

$$P_0 = \frac{E_i^2}{4} \left[\{J_0(A_1)\}^2 + \{J_0(A_2)\}^2 + 2J_0(A_1)J_0(A_2)\cos(\phi_{B2} - \phi_{B1}) \right] \quad \dots(3)$$

40

【 式 4 】

$$P_1 = \frac{E_i^2}{4} \left[\{J_1(A_1)\}^2 + \{J_1(A_2)\}^2 + 2J_1(A_1)J_1(A_2)\cos(\phi_2 - \phi_1 + \phi_{B2} - \phi_{B1}) \right] \quad \dots(4)$$

【 0 0 1 8 】

また、DC 電源により光変調器に印加するバイアス電圧を調整し、入射光と同じ周波数成分（ ω_0 ）の出射光の光強度が最大となるように設定した時（図 2 の a 点にバイアス電圧が設定された状態）、入射光と同じ周波数成分（ ω_0 ）の出射光の光強度値 P_{0b} は、上

50

記式 3 により、次の式 5 で表せる。

【式 5】

$$P_{0b} = \frac{E_i^2}{4} \left[\{J_0(A_1)\}^2 + \{J_0(A_2)\}^2 + 2J_0(A_1)J_0(A_2) \right] \quad \dots(5)$$

【0019】

また、バイアス電圧を調整し、入射光と同じ周波数成分 (ω_0) の出射光の光強度が最小となるように設定した時 (図 2 の b 点にバイアス電圧が設定された状態)、+1 次の高次項 ($\omega_0 + \omega_m$ 。変調周波数に係る成分) の出射光の光強度値 P_{1c} は、上記式 4 より、
10

【式 6】

$$P_{1c} = \frac{E_i^2}{4} \left[\{J_1(A_1)\}^2 + \{J_1(A_2)\}^2 - 2J_1(A_1)J_1(A_2) \right] \quad \dots(6)$$

【0020】

ここで、変調をかけていない出射光の光強度値 P_{0a} で、上述した P_{0b} 、 P_{1c} を規格化すると、次の式 7 及び 8 が得られる。

【式 7】

$$\frac{P_{0b}}{P_{0a}} = \{J_0(A_1)\}^2 + \{J_0(A_2)\}^2 + 2J_0(A_1)J_0(A_2) \quad \dots(7)$$

【式 8】

$$\frac{P_{1c}}{P_{0a}} = \{J_1(A_1)\}^2 + \{J_1(A_2)\}^2 - 2J_1(A_1)J_1(A_2) \quad \dots(8)$$

【0021】

式 7 及び式 8 を用いて、変調の深さを表すパラメータ A_1 、 A_2 を算出する。なお、式 7 及び式 8 は超越方程式になるが、 A_1 、 A_2 が小さい値を占めることから解の特定が可能となる。

そして、 A_1 、 A_2 を算出した後、光変調器の半波長電圧 V_π は、次の式 9 により算出することが可能である。ただし、 V_m は変調信号として印加した発振器からの電圧振幅を示す。

【式 9】

$$V_\pi = \frac{\pi V_m}{A_1 - A_2} \quad \dots(9)$$

【0022】

上述したように、本発明の光変調器の特性測定方法によれば、光スペクトラムアナライザを用いて得られる光変調器の出射光のスペクトル分布から、上記の光強度値 P_{0a} 、 P_{0b} 、 P_{1c} を測定し、該光強度値に基づき光変調器の半波長電圧値が算出される。このため、従来のように出射光の光強度の波形を直接観察する必要が無く、高周波においても光変調器の特性を測定することが可能となる。

また、光変調器の半波長電圧を測定する際に、従来は光変調器に印加する変調信号の電圧振幅は半波長電圧値以上の範囲まで可変調整されていたが、式 9 により任意の値である変調信号の電圧振幅値 V_m を用いて半波長電圧を算出することが可能となるため、従来のよ
50

うな半波長電圧値まで変調信号を調整する必要がなく、しかも、変調信号の電圧振幅値を可変することも不要となる。

さらに、光スペクトラムアナライザにより高次の1次項のみを測定するため、アンプなどの高周波成分による測定への影響を受けないため、より正確な半波長電圧の測定が可能となる。

【0023】

MZ型光変調器では、図5に示す導波路2及び3に印加する変調電圧の違いによる変調の差異により、合波時には光の強度だけでなく位相も変調される。この現象をチャージングと呼び、チャージングの大きさは、次の式10に表すパラメータにより与えられる。

【式10】

$$\alpha = 2I \frac{d\phi}{dI} = -\frac{A_1 + A_2}{A_1 - A_2} \dots(10)$$

10

【0024】

式10の中で、 dI は光の強度変化量、 $d\phi$ は光の位相変化量を表し、また、 A_1 、 A_2 は、上述したように出射光のスペクトル分布より測定された特定の光強度値により算出されているため、パラメータは算出可能である。

【0025】

本発明は、上述した光変調器の特性測定方法に限るものではなく、例えば、上記特性測定方法で用いた、+1次の高次項(周波数 $\omega_0 + \omega_m$ のスペクトル成分)を、-1次の高次項(周波数 $\omega_0 - \omega_m$ のスペクトル成分)に置き換えて用い、同様な効果を得ることができるものなども包含する。

20

【0026】

次に、本発明の光変調器の特性測定方法を用いた測定装置について説明する。

図7は、本発明の光変調器の特性を自動的に測定するための装置のブロック図である。周波数 ω_0 を有するレーザ光は、偏波コントローラを通過して一定方向に偏波され、MZ型光変調器に入射する。光変調器には、DC電源及び周波数 ω_m の発振器とで形成される、特定のバイアス電圧を中心に周波数 ω_m で振動する変調信号が印加される。

【0027】

変調信号は光変調器に入力されると同時に、分岐回路を経てRFパワーメータにより変調信号の電圧振幅値 V_m 、バイアス電圧値などが検出・監視される。

RFパワーメータにより測定された数値は、制御用コンピュータに入力され、後述する光変調器の特性測定を自動化するための検出信号の一つとして利用される。

30

【0028】

光変調器に印加された変調信号に対応して、入射光は変調され、光変調器から出射光として出射される。

出射光は、光スペクトラムアナライザにより周波数に対する光強度分布であるスペクトル分布が測定される。

光スペクトラムアナライザの測定値、特に、レーザ光の周波数 ω_0 、+1次の高次項(周波数 $\omega_0 + \omega_m$ 。または、-1次高次項であってもよい。)に係る光強度の測定値が、制御用コンピュータに入力される。

40

【0029】

光変調器の特性測定を自動的に測定するプロセスについて説明する。

レーザ、偏波コントローラ、光スペクトラムアナライザなど測定に必要な各種機材を動作させた状態において、まず、制御用コンピュータからの指示により、DC電源及び発振器による光変調器への変調信号の印加を停止させ、無変調状態における周波数 ω_0 における光強度 P_0 を測定し、制御用コンピュータに該測定値を取り込む。

次に、制御用コンピュータからの指示により、光変調器に変調信号を印加させ、光スペクトラムアナライザからの周波数 ω_0 における光強度を測定し、制御用コンピュータに入力

50

する。制御用コンピュータでは、周波数 ω_0 における光強度のモニタに合わせて、変調信号のバイアス電圧を規定するDC電源の出力電圧を変化させ、該変化に応じてモニタする該光強度が最大となる光強度 P_{0b} を決定する。

また、制御用コンピュータでは、周波数 ω_0 における光強度のモニタに合わせて、変調信号のバイアス電圧を規定するDC電源の出力電圧を変化させ、該変化に応じてモニタする該光強度が最小となる状態を決定し、該状態時の+1次の高次項(周波数 $\omega_0 + \omega_m$)の光強度 P_{1c} を光スペクトラムアナライザにより測定し、その測定値を取り込む。

【0030】

次に、制御用コンピュータに取り込まれた、各光強度値 P_{0a} 、 P_{0b} 、 P_{1c} に基づき、上記式7, 8の方程式を解くことにより、 A_1 、 A_2 を決定し、さらに上記式9, 10を用いて、半波長電圧 V 、チャープパラメータ(パラメータ)を演算し、決定する。なお、周波数 ω_0 や、周波数 ω_m 及び電圧振幅値 V_m などの各値については、光変調器の特性測定に際し使用するレーザや発振器などにより、予め設定されている値を制御用コンピュータに入力して用いても良いし、光スペクトラムアナライザやRFパワーメータにより測定された値を用いても良い。

また、上述した測定装置では、制御用コンピュータ上で、測定値の取り込みや各種演算も実行しているが、これらの情報処理については、制御用コンピュータとは別に設けられた記憶装置や演算装置を用いても良い。

【0031】

図4の測定装置を用いて測定した結果を、図8, 9に示す。

図8は、測定周波数10GHzの変調信号を印加した場合の光変調器の特性測定結果である。ここでは、変調信号の電圧振幅値 V_m を2~9Vの範囲で可変して、各電圧振幅値 V_m における半波長電圧値及びチャープパラメータを算出した。

図8を見ると、半波長電圧値及びチャープパラメータは、共に、電圧振幅によらずほぼ一定の値を示しており、本発明の測定方法及び装置が、光変調器の特性を適正に測定していることが理解できる。

なお、チャープパラメータについては、変調信号の電圧振幅値が半波長電圧値より大きい場合や、変調信号の電圧振幅値が小さい場合は、光変調器に係る特性の測定結果が若干変動している。これは、変調信号の電圧振幅値を、半波長電圧以上のように大きくすると、変調信号の波形に歪が発生し、光変調器からの出射光の光強度が、理論値から外れたりノイズを多く含むこととなり、正確な測定が困難となるためと考えられる。

また、変調信号の電圧振幅値が小さ過ぎると、+1次の高次項など、変調を反映した光スペクトル分布が明確に形成されず、ノイズの影響を強く受けて正確な測定が困難となることが考えられる。

【0032】

図9は、測定周波数10~40GHzの変調信号を印加した場合の光変調器の特性測定結果を示す。

図9が示すように、本発明の測定方法及び装置を利用すれば、従来のように光変調器からの出射光の変動を直接観測すること無しに、高周波数の特性まで有効に測定できることが可能となる。

【0033】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、光変調器から出射する光信号のスペクトル分布を測定することにより、光変調器の特性を測定することが可能となるため、従来のような高周波数に対応した高精度な発振器やサンプリングオシロスコープなどを必要とせず、安価でかつ精度の高い測定が可能となる。

しかも、入射光と同じスペクトル成分における出射光の光強度が最大となる場合の該スペクトル成分の出射光の光強度値 P_{0b} と、入射光と同じスペクトル成分における出射光の光強度が最小となる場合の変調周波数に係る成分の出射光の光強度値 P_{1c} とを、変調電圧を印加しない場合の出射光の光強度値 P_{0a} により規格化した値を用いることにより、

10

20

30

40

50

光変調器に係る半波長電圧値やチャープパラメータを容易に算出することができる。

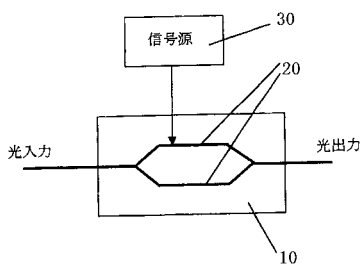
【図面の簡単な説明】

- 【図1】 MZ型光変調器の概略図。
- 【図2】 MZ型光変調器の印加電圧に対する出力光強の特性を示すグラフ。
- 【図3】 MZ型光変調器の電気入力波形に対する光出力波形との関係を示すグラフ。
- 【図4】 本発明の光変調器の特性測定方法の一例を示すブロック図。
- 【図5】 MZ型光変調器の光導波路の構成図。
- 【図6】 光変調器から出射する光信号のスペクトル分布を示すグラフ。
- 【図7】 本発明の光変調器の特性測定装置の一例を示す概略図。
- 【図8】 本発明を利用して測定した光変調器の各種特性値に対する、変調信号の入力電圧振幅の変化の影響を示すグラフ。
- 【図9】 本発明を利用して測定された、光変調器の各種特性と変調信号の周波数との関係を示すグラフ。

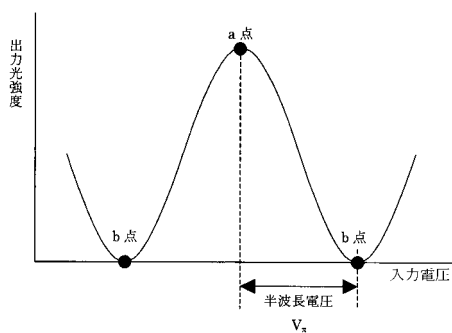
【符号の説明】

- 10 MZ型光変調器
- 20 光導波路
- 30 信号源

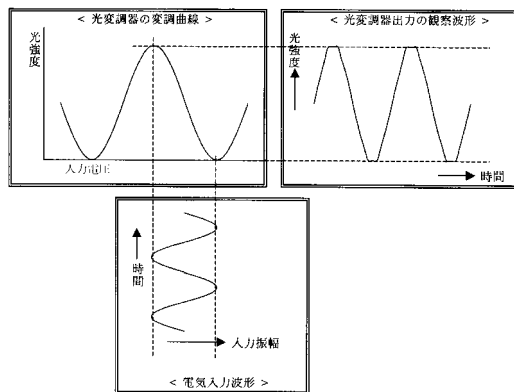
【図1】



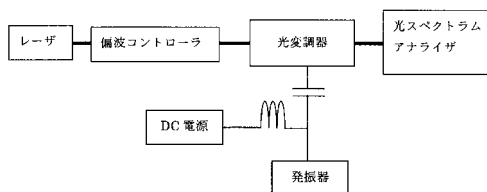
【図2】



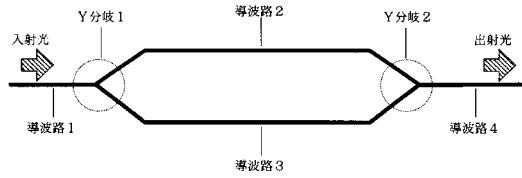
【図3】



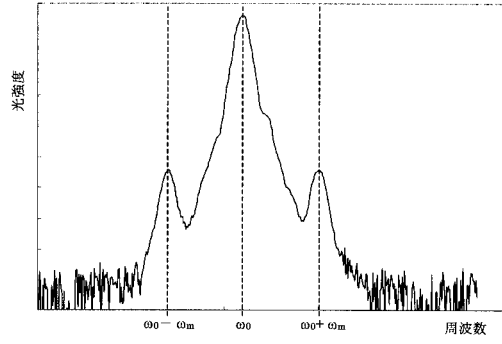
【図4】



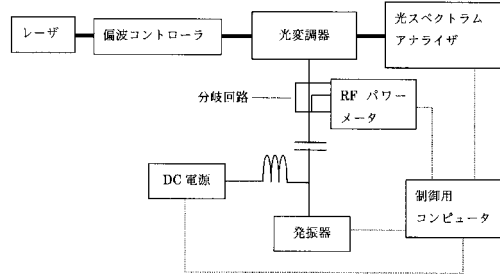
【 図 5 】



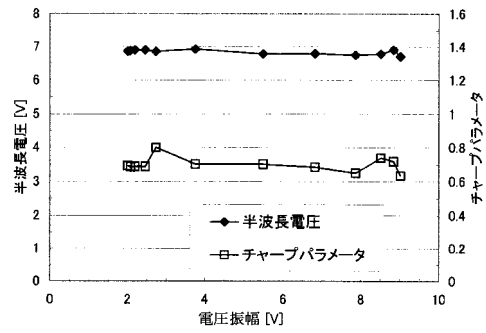
【 図 6 】



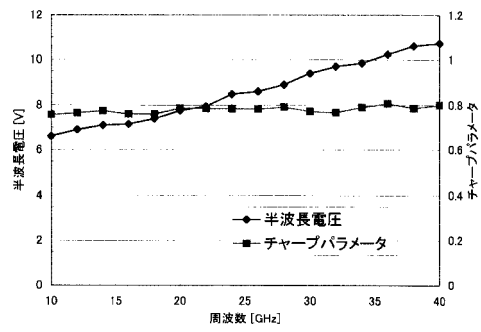
【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】



フロントページの続き

- (72)発明者 井筒 雅之
東京都小金井市貫井北町4 - 2 - 1 独立行政法人通信総合研究所内
- (72)発明者 日隈 薫
東京都港区芝2丁目3番19号 通信・放送機構内
- (72)発明者 川西 哲也
東京都小金井市貫井北町4 - 2 - 1 独立行政法人通信総合研究所内

審査官 田邊 英治

- (56)参考文献 特開平03 - 123828 (JP, A)
特開平4 - 29029 (JP, A)
特開平08 - 278224 (JP, A)
特開平04 - 290940 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01M 11/00-11/08
G02F 1/00- 1/125