(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3695708号
(P3695708)
(45)発行日　平成17年9月14日(2005.9.14)　(24)登録日　平成17年7月8日(2005.7.8)

(51)Int.Cl.[7]　F I
G02F 1/03　G02F 1/03 502

請求項の数 6 (全 9 頁)

(21)出願番号　特願2002-27455(P2002-27455)
(22)出願日　平成14年2月4日(2002.2.4)
(65)公開番号　特開2003-228033(P2003-228033A)
(43)公開日　平成15年8月15日(2003.8.15)
審査請求日　平成16年6月15日(2004.6.15)

(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
(74)代理人　100098383
弁理士　杉村　純子
(74)代理人　100116687
弁理士　田村　爾
(72)発明者　本田　秀紀
東京都千代田区六番町６番地２８　住友大阪セメント株式会社内

審査官　佐藤　宙子

最終頁に続く

(54)【発明の名称】光変調器

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
電気光学効果を有する材料からなる基板と、該基板上に形成され、入射光を分岐し合波する複数の分岐導波路を配置した光導波路部と、該光導波路部内を通過する光を変調するための信号電極と接地電極とを有する光変調器において、
該信号電極の少なくとも１本を複数に分岐すると共に、分岐した信号電極の一部に遅延制御回路を介在させ、該分岐導波路の一部に所定位相の遅延した信号電界が印加されるように構成したことを特徴とする光変調器。
【請求項２】
請求項１に記載された光変調器において、該分岐した信号電極の一部に信号損失調整部材を設け、分岐した信号電極毎の信号電界の強さを均等にしたことを特徴とする光変調器。
【請求項３】
請求項１又は２に記載された光変調器において、該分岐した信号電極により該分岐導波路に信号電界を印加した位置から該分岐導波路を合流させるまでの間に、分岐導波路を通過する光の位相を調整するバイアス回路を形成したことを特徴とする光変調器。
【請求項４】
請求項１乃至３のいずれかに記載された光変調器において、該分岐した信号電極は共振電極で構成されていることを特徴とする光変調器。
【請求項５】
請求項４に記載された光変調器において、該共振電極の信号電界が印加される該分岐導波

路を含む基板の一部に分極反転構造を形成したことを特徴とする光変調器。
【請求項６】
請求項１乃至５のいずれかに記載された光変調器において、該信号電極の信号入力端部から該信号電極が分岐するまでの間に、所定の周波数の電気信号のみ通過させるフィルタを形成したことを特徴とする光変調器。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明は、光変調器に関わり、特に、チャープ量を抑制した光パルス発生用の光変調器に関する。
【０００２】
【従来の技術】
近年、高速、大容量光ファイバ通信システムの進歩に伴い、高周波の光パルスを安定的に発生させる光パルス発生装置が求められており、例えば、外部変調器に代表されるように、ニオブ酸リチウムなどの電気光学効果を有する材料を基板に用いた高速動作可能な光パルス発生用光変調器が実用化されている。
しかも、光パルスを伝送媒体である光ファイバにより長距離に渡り伝送するためには、発生した光パルスのチャープ現象を抑制又は調整し、光ファイバの波長分散により伝送中に光波の波形崩れが発生しないように構成することが必要となる。
【０００３】
チャープ現象を制御した光変調器の例としては、図１に示すように、電気光学効果を有する基板１に、２つの分岐導波路２’を有するマッハツェンダー型光導波路２を形成し、２つの分岐導波路２’上に信号電極３，３’を各々形成すると共に、各信号電極を取り囲むように接地電極４，４’、４’’を配置した、デュアル電極型光変調器が知られている。
【０００４】
図１のデュアル電極型光変調器を駆動するためには、反転信号生成回路を有するマイクロ波発生器から発生された、位相が１８０度異なる２つのマイクロ波電気信号Ａ，Ｂを、光変調器の各信号電極３，３’に各々印加する。光導波路２には光学研磨された基板端面から光波が入射され、光導波路２に形成されたＹ分岐により２つの光波に分波され、分岐導波路２’を各々通過する。各光波は再度、別のＹ分岐により合波され、光導波路２の他端から出射される。
そして、光波は、分岐導波路２’を通過中に、各信号電極３，３’に印加された電気信号Ａ，Ｂによる基板の屈折率変化のため、光波の位相が変化し、合波した後の光波は、この位相変化に対応した光強度を有することとなる。結果として、マイクロ波電気信号の変化に対応した光パルスを発生することが可能となる。
しかも、２つの分岐導波路２’には、２つの信号電極３，３’により均等かつ逆向きの電界が印加されるため、分岐導波路２’を通過する各光は互いに逆方向に同じ大きさの位相差を生じ、合波した際には、光はチャープ量が抑制されたものとなる。
【０００５】
【発明が解決しようとする課題】
図１に示したデュアル電極型光変調器では、各信号電極３，３’に印加する電気信号Ａ，Ｂは、位相差を１８０度、電気信号の振幅強度を同じとなるように調整する必要があるため、反転信号生成回路を必要とするだけでなく、マイクロ波発生器から光変調器までのマイクロ波伝送ケーブルの長さや、同軸ケーブルから光変調器内の信号電極への入力損失までも均等になるように調整することが必要となる。
このため、デュアル電極型光変調器を含む光パルス発生システム全体として、構成部材の数が多くなる上、各部材の調整も煩雑化するなど、小型化やコスト低減が難しいという問題を生じていた。
【０００６】
本発明が解決しようとする課題は、上述した問題を解消し、チャープ量を抑制すると共に

、光パルス発生システム全体における小型化及び低コスト化を両立させた新たな光変調器を提供することである。

【０００７】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するために、請求項1に係る発明は、電気光学効果を有する材料からなる基板と、該基板上に形成され、入射光を分岐し合波する複数の分岐導波路を配置した光導波路部と、該光導波路部内を通過する光を変調するための信号電極と接地電極とを有する光変調器において、該信号電極の少なくとも１本を複数に分岐すると共に、分岐した信号電極の一部に遅延制御回路を介在させ、該分岐導波路の一部に所定位相の遅延した信号電界が印加されるように構成したことを特徴とする。

【０００８】

請求項１に係る発明により、複数の分岐導波路に各々必要な電界を印加する際に、少なくとも１本の信号電極を複数に分岐させて各分岐導波路に配置することにより、該信号電極に印加された一つの電気信号を複数の分岐導波路に分割し印加することが可能となる。このため、分岐導波路毎に光変調器の外部から入力信号を導入する必要がない。しかも、印加信号に必要な位相差は、分岐した信号電極に遅延制御回路を介在させることに発生させることが可能となるため、デュアル電極型光変調器のような反転信号生成回路も不要となる。

これらにより、各分岐導波路に適切な電界を印加することでチャープ量を制御又は抑制できるだけでなく、反転信号生成回路や信号ケーブルの一部を省略することも可能となり、光変調器を含む光パルス発生システム全体の小型化、低コスト化も併せて達成できる。

【０００９】

また、請求項２に係る発明は、請求項１に記載された光変調器において、該分岐した信号電極の一部に信号損失調整部材を設け、分岐した信号電極毎の信号電界の強さを均等にしたことを特徴とする。

【００１０】

請求項２に係る発明により、分岐した信号電極間で電気信号の強度が異なる場合でも、信号損失調整部材を設けることにより、分岐した信号電極間で電気信号の強さを均等にすることができるため、各分岐導波路に印加される信号電界の強さをより適切に保つことが可能となる。

【００１１】

また、請求項３に係る発明は、請求項１又は２に記載された光変調器において、該分岐した信号電極により該分岐導波路に信号電界を印加した位置から該分岐導波路を合流させるまでの間に、分岐導波路を通過する光の位相を調整するバイアス回路を形成したことを特徴とする。

【００１２】

請求項３に係る発明により、信号電極が形成する信号電界により位相変調を受けた各光は、合波する前に各々、バイアス回路により適正な位相に調整されるため、該変調器は任意の適当なバイアス点で動作することが可能となる。

【００１３】

また、請求項４に係る発明は、請求項１乃至３のいずれかに記載された光変調器において、該分岐した信号電極は共振電極で構成されていることを特徴とする。

【００１４】

請求項４に係る発明により、共振電極内では、所定周波数の定在波が形成されているため、通常の進行波電極と比較して、入力信号の消費電力に対する変調効果は、共振電極を利用するほうがより効率的に行うことができる。そのため、入力信号発生用電源の省力化も可能となり、光パルス発生システム全体の一層の小型化、低コスト化を図ることができる。

【００１５】

また、請求項５に係る発明は、請求項４に記載された光変調器において、該共振電極の信

号電界が印加される該分岐導波路を含む基板の一部に分極反転構造を形成したことを特徴とする。

【００１６】

請求項５に係る発明により、共振電極内では信号電界の定在波が発生しているため、通常では、共振電極をより長く変化させた場合でも、位相変調効果は定在波の半波長周期毎に周期的な変動を示すのみであるが、例えば、この定在波の半波長周期に併せて、分岐導波路を含む基板の一部に分極反転構造を形成することにより、位相変調効果を加算的に増加又は減少させることが可能となり、入力信号の消費電力を増加させずに、合波時の各光の位相差を増加することができる。つまり、必要な位相差を得る際に、本発明の構成を利用すれば、入力信号の消費電力をより省力化することが可能となる。

【００１７】

また、請求項６に係る発明は、請求項１乃至５のいずれかに記載された光変調器において、該信号電極の信号入力端部から該信号電極が分岐するまでの間に、所定の周波数の電気信号のみ通過させるフィルタを形成したことを特徴とする。

【００１８】

請求項６に係る発明により、光変調器に印加する入力信号に不要な周波数の信号が混在しても、該フィルタにより所定周波数の電気信号のみを信号電極に入力するため、ノイズの少ない光パルスを発生することが可能となる。

【００１９】

【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。

光変調器を構成する基板としては、電気光学効果を有する材料、例えば、ニオブ酸リチウム（$LiNbO_3$；以下、ＬＮという）、タンタル酸リチウム（$LiTaO_3$）、ＰＬＺＴ（ジルコン酸チタン酸鉛ランタン）、及び石英系の材料から構成され、特に、光導波路デバイスとして構成しやすく、かつ異方性が大きいという理由から、$LiNbO_3$結晶、$LiTaO_3$結晶、又は$LiNbO_3$及び$LiTaO_3$からなる固溶体結晶を用いることが好ましい。本実施例では、ニオブ酸リチウム（ＬＮ）を用いた例を中心に説明する。

また、本発明の一例では、分極反転構造を形成可能な基板であることが必要である。以下では、表面に垂直な方向に電気光学効果により最も効率的に屈折率を変更できる結晶軸の方向を有する基板（いわゆる「Ｚカット基板」）を中心に説明するが、本発明は、Ｚカット基板に限られるものではない。したがって、分岐導波路と信号電極及び接地電極などの位置関係も、基板の種類に応じて変更されることは言うまでもない。

【００２０】

光変調器を製造する方法としては、ＬＮ基板上にＴｉを熱拡散させて光導波路を形成し、次いで基板の一部又は全体に渡りバッファ層を設けずに、ＬＮ基板上に電極を直接形成する方法や、光導波路中の光の伝搬損失を低減させるために、ＬＮ基板上に誘電体SiO_2等のバッファ層を設け、さらにその上にＴｉ・Ａｕの電極パターンの形成及び金メッキ方法などにより数十μｍの高さの共振電極及び接地電極を構成して、間接的に当該電極を形成する方法がある。

また、バッファ層上にＳｉＮやＳｉ等の膜体を設けた多層構造とすることも可能である。一般に、一枚のＬＮウェハに複数の光変調器を作り込み、最後に個々の光変調器のチップに切り離すことにより、光変調器が製造される。

【００２１】

本発明の特徴は、信号電極の少なくとも１本を複数に分岐すると共に、分岐した信号電極の一部に遅延制御回路を介在させ、特定の分岐導波路には所定位相に遅延した信号電界が印加されるように構成することである。

具体的には、図２に示すように、信号電極５を２本の信号電極５－１，５－２に分岐し、分岐した信号電極５－２については、更に遅延回路５’に相当する所定長（点Ａから点Ｂまでの区間）の伝送経路を設けている。

該遅延回路５’の長さは、入力信号であるマイクロ波の波長に対して半波長に相当する距

離（波長の整数倍に半波長を加算した距離であっても良い。また、長さだけでなく、伝送経路の屈折率を調整する方法も併用できる。）に設定した場合、点Ａと点Ｂでは、入力信号の位相が半周期ずれており、２つの分岐導波路には互いに逆位相の信号電界が印加されることとなる。これは、図１に示したデュアル電極型光変調器と同じ効果を有するにも拘らず、入力信号線は１本で済むため、デュアル電極型光変調器で必要であった、反転信号生成回路や複数本のマイクロ波伝送ケーブルなどを不要とし、優れた効果を有する。

【００２２】

第２の実施例では、図３に示すように、分岐した信号電極５－１の一部にポリアイアンなどのマイクロ波吸収材料６を装荷している。

理想的には、各信号電極５－１，５－２が分岐導波路に作用する信号電界の強さが均等になるように、入力信号を各信号電極５－１，５－２に分配する必要がある。しかしながら、遅延回路５’による電気信号の伝播損失や信号電極の分岐部付近の形状などにより、理想との乖離を生じることとなる。

この不具合を調整するため、信号電界の強さを減少させたい方の信号電極にマイクロ波吸収材料６を装荷し、信号電力の調整を行っている。装荷する位置については、信号電極の分岐後から、信号電極が分岐導波路に電界を作用させる位置までの間に配置することがましい。

【００２３】

第３の実施例では、図４に示すように、信号電極５と接地電極４，４’，４’’で構成される光変調部の後段に、各分岐導波路２’を通過する光の位相を調整するためのバイアス回路を設けている。

バイアス回路は、バイアス電極７－１，７－２とバイアス調整回路８により構成される。バイアス回路で調整される位相の量については、分岐導波路を通過する光が合波する際に、光強度変調の消光比がより高くなるように、適宜、必要な分岐導波路に対し、必要な位相量だけ調整される。また、必要に応じて、光変調器からの出射光や散乱光などをモニタし、フィードバック制御によりバイアス調整回路８にて分岐導波路毎の位相調整量を決定するように構成しても良い。

【００２４】

第４の実施例では、図５に示すように、分岐した信号電極５－１，５－２の終端（点Ｃ，Ｄ）を接地電極に接続し、マイクロ波が終端を固定端とする反射を行うように構成している。このように、分岐した信号電極５－１及び５－２の全体を共振電極となるように構成することにより、該共振電極内で信号電界の定在波を発生させ、入力信号より大きな振幅を有する電界を発生させることが可能となり、通常より少ない電力で光変調器を動作させることができる。

なお、共振電極の形状は、終端（点Ｃ，Ｄ）を固定端にする必要はなく、接地電極から切り離して、自由端とすることもできる。また、信号電極の分岐点である点Ａの場所は、信号電界の定在波の腹部が位置するように設定されている。

さらに、共振電極と信号電極の入力部との間でインピーダンス整合を取るため、信号電極５の分岐点Ａまでの位置で、かつ、信号電極と接地電極との間に容量素子を挿入することも可能である。

【００２５】

第５の実施例では、図６（ａ）に示すように、分岐した信号電極５－１，５－２で共振電極を構成するだけでなく、電極長を伸ばした場合でも、図６（ｂ）に示すように、信号電界の定在波の節点位置（点Ｅ，Ｆ）を境目として、基板の分極方向を反転させた分極反転構造を形成することにより、分岐導波路を通過する光の位相変化を加算的に増加又は減少させることが可能となる。

例えば、図６（ａ）の基板領域ｘとｙとで分極構造を逆にすると、図６（ｂ）の点ＡからＥの間で位相が進む場合、次の点ＥからＣの間では信号電界の方向が逆転しているため、分極反転していない場合は位相が遅れることとなるが、分極反転している場合には、先の点ＡからＥの間の位相変化と同様に引き続き位相が進む結果となる（加算的に位相が進ん

でいる状態）。
さらに、共振電極を構成する信号電極５－１，５－２の長さを長くする場合には、図６（ｂ）に示したような信号電界の定在波が繰り返し現れる状態となるため、定在波の節点位置を境目として、適宜必要な回数だけ、分極反転構造を繰り返し設けることにより、位相変化の加算的効果をより高めることが可能となる。
【００２６】
電気光学効果を有する基板に分極反転構造を形成する方法としては、基板表面近傍のみに形成する場合には、ＬＮ基板を１０００℃以上キュリー温度近くでＴｉを拡散する方法や、キュリー温度付近で結晶内のLi_2Oを外拡散する方法など、不純物の拡散や外拡散など基板内部に発生する電界を利用する方法などがある。
また、基板表面から裏面に至る分極反転構造を形成する場合には、外部電界印加による方法が利用される。これは、ＬＮ基板表面に、フォトリソグラフィーなどにより分極反転部に対応した電極を形成し、他方ＬＮ基板裏面には一面に電極を蒸着又は塗布する。常温状態で、２０ｋＶ／ｍｍ程度のパルス電圧を、両者の電極に印加する。印加時間は、基板表面側から見た分極反転部の面積にもよるが、１～３０cm^2で、約１００μｓ～３００ｍｓ程度である。ＬＮ基板の裏面電極に代えて、液体電極を利用した治具等で代用してもよい。
なお、分極反転部を形成した後は、分極反転部の形成に利用した電極を除去し、通常通り、光導波路や共振電極及び接地電極等の作り込み行うことが可能である。
【００２７】
さらに、分極反転構造と光導波路との位置関係においては、分極反転構造の境目である分極ドメイン壁は、光導波路と交叉する点以外は、光導波路より可能な限り遠くに配置することにより、光導波路に対する分極ドメイン壁の応力歪の影響を緩和することが可能となる。また、分極ドメイン壁と光導波路が交叉する角度は、略垂直になるように構成することにより、光導波路の同一場所で分極反転している領域と分極反転していない領域が混在する領域（ここで、「混在する」とは、例えば、光導波路に対して斜めに分極ドメイン壁が形成された場合、光導波路の延伸方向に垂直な断面を取ると、光導波路の同一断面上で分極反転している部分と分極反転していない部分が共に存在することを意味する）が無いため、分極反転による効果を効率的に生じさせることが可能となる。しかも、分岐導波路内を進行する光は分極ドメイン壁に略垂直に入射するため、分極ドメイン壁による反射や散乱効果も低減し、より伝播損失の少ない光変調器が実現できる。
また、分極ドメイン壁と分岐導波路を含む光導波路とが交叉する回数は、可能な限り少ないほうが、光の伝播損失を低く抑えることが可能となる。
【００２８】
第６の実施例では、図７に示すように、電気信号を入力するポートにマイクロ波共振器回路で構成される特定周波数のマイクロ波のみ通過させるフィルタを形成する。フィルタの構成としては、マイクロストリップフィルタなど既存の回路技術を利用することができる。
これにより、余分な周波数の電気信号をカットし、ノイズの少ない光パルスを発生させることが可能となる。
【００２９】
本発明の範囲は、これらの実施例を相互に組み合わせて構成された光変調器を含むと共に、上記実施例に限らず、例えば、２本以上の分岐導波路を有する光変調器や同一基板内に複数の光変調器を集積した場合でも、信号電極の少なくとも１本を複数に分岐すると共に、分岐した信号電極の一部に遅延回路を介在させ、特定の分岐導波路には所定位相に遅延した信号電界が印加されるように構成するものであるなら、本発明の範囲に包含される。
【００３０】
【発明の効果】
以上説明したように、本発明によれば、デュアル電極型光変調器と同様にチャープ現象の発生が抑制されるだけでなく、反転信号生成回路や信号ケーブルの一部を省略することや

光変調器を駆動する駆動電力の省力化なども可能となり、光変調器を含む光パルス発生システム全体の小型化、低コスト化も併せて達成できる。

【図面の簡単な説明】

【図１】　従来のデュアル電極型光変調器の平面図。

【図２】　本発明の第１の実施例である光変調器の平面図。

【図３】　本発明の第２の実施例である光変調器の平面図。

【図４】　本発明の第３の実施例である光変調器の平面図。

【図５】　本発明の第４の実施例である光変調器の平面図。

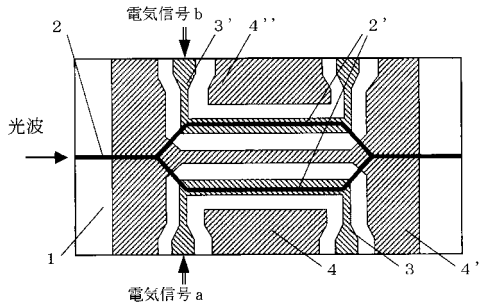
【図６】　本発明の第５の実施例である光変調器の平面図と電界分布を示す図。

【図７】　本発明の第６の実施例である光変調器の平面図。

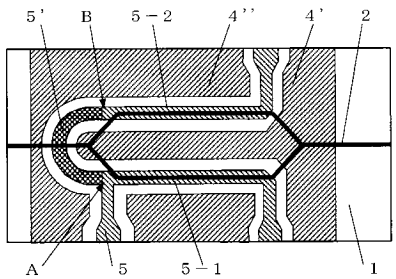
【符号の説明】

1　　基板
2　　光導波路
2’　分岐導波路
3　　信号電極
4　　接地電極
5　　信号電極
5’　遅延回路
6　　マイクロ波吸収材料
7－1，7－2　バイアス電極
8　　バイアス調整回路
9　　共振回路

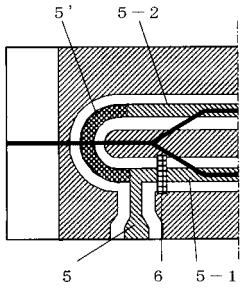
【図１】



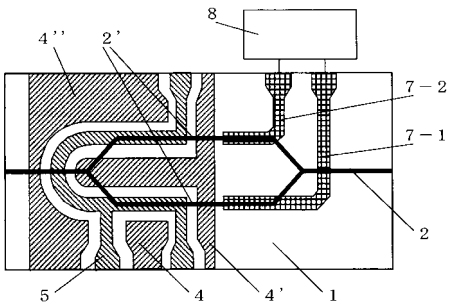
【図２】



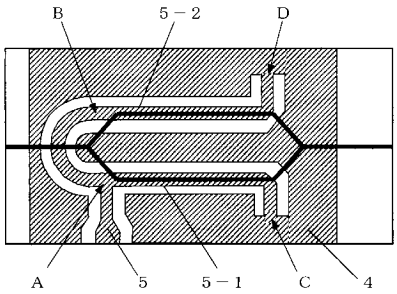
【図３】



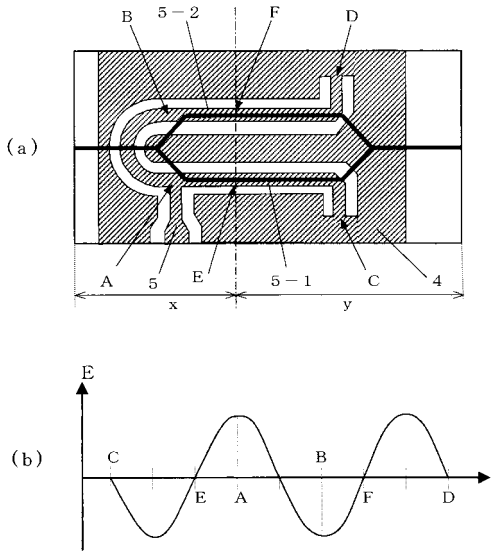
【図４】



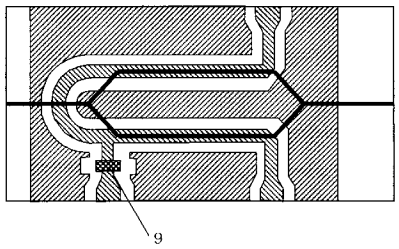
【図５】



【図６】



【図７】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開２００２－１８２１７２（ＪＰ，Ａ）
米国特許第５５１５４６３（ＵＳ，Ａ）
特開平０６－１１００２３（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.[7]，ＤＢ名)
G02F 1/03