

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11)特許番号

特許第3439345号
(P3439345)

(45)発行日 平成15年 8 月25日 (2003. 8. 25)

(24)登録日 平成15年 6 月13日 (2003. 6. 13)

(51)Int.Cl.⁷

G 0 2 F 2/02

識別記号

F I

G 0 2 F 2/02

請求項の数10(全 16 頁)

(21)出願番号 特願平10-182652

(22)出願日 平成10年 6 月29日 (1998. 6. 29)

(65)公開番号 特開2000-19574(P2000-19574A)

(43)公開日 平成12年 1 月21日 (2000. 1. 21)

審査請求日 平成10年 6 月29日 (1998. 6. 29)

審判番号 不服2001-18845(P2001-18845/J1)

審判請求日 平成13年10月19日 (2001. 10. 19)

(73)特許権者 000004237
日本電気株式会社
東京都港区芝五丁目 7 番 1 号

(72)発明者 上野 芳康
東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気
株式会社内

(74)代理人 100109313
弁理士 机 昌彦 (外 2 名)

合議体

審判長 森 正幸

審判官 畑井 順一

審判官 町田 光信

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 波長変換器及び波長変換方法

1

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】 入力光信号パルスと異なる波長の出力光信号パルスを出力する光信号波長変換器であって、入力光信号パルスの入力に応じて屈折率が変化する非線形導波路と、所定波長の連続光及び前記入力光パルスをそれぞれ前記非線形導波路に導く光路と、前記非線形導波路から出力される光信号を第 1 の光信号及び第 2 の光信号に分割する分岐部と、前記第 1 の光信号の位相に対して前記第 2 の光信号の位相を所定量に調整するための位相調整器と、前記第 1 の光信号に対して前記入力光信号パルスのパルス幅の 0 . 6 ~ 1 . 2 倍の時間差だけ前記第 2 の光信号を遅延させる光遅延路と、前記第 1 の光信号及び該遅延後の第 2 の光信号を合波す

2

る光合流部と、前記光合流部から出力される光信号のうち、前記入力光信号パルスの波長成分を除去する波長フィルタと、を有する波長変換器。

【請求項 2】 前記時間差は、前記入力光信号パルスのパルス幅の 0 . 8 9 倍であることを特徴とする請求項 1 記載の波長変換器。

【請求項 3】 前記非線形導波路は、半導体光増幅器であることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の波長変換器。

【請求項 4】 前記非線形導波路は、吸収型半導体導波路であることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の波長変換器。

【請求項 5】 前記非線形導波路は、バルク構造の半導体素子であることを特徴とする請求項 1 乃至 4 記載の波

10

長変換器。

【請求項 6】 入力光信号パルスに応じて屈折率が変化する非線形導波路に所定波長の連続光及び前記入力光信号パルスを入力し、

前記非線形導波路から出力される光信号を第 1 の光信号及び第 2 の光信号に分割し、

前記第 1 の光信号の位相に対して前記第 2 の光信号の位相を所定量に調整し、

前記第 1 の光信号に対して前記入力光信号パルスのパルス幅の 0.6 ~ 1.2 倍の時間差だけ前記第 2 の光信号を遅延させ、

前記第 1 の光信号及び該遅延後の第 2 の光信号を合波し、

該合波した光信号から前記入力光信号パルスの波長成分を除去することで、前記入力光信号パルスと異なる波長の出力光信号パルスを出力させる波長変換方法。

【請求項 7】 前記時間差は、前記入力光信号パルスのパルス幅の 0.89 倍であることを特徴とする請求項 6 項記載の波長変換方法。

【請求項 8】 前記非線形導波路に、半導体光増幅器を用いることを特徴とする請求項 6 又は 7 記載の波長変換方法。

【請求項 9】 前記非線形導波路に、吸収型半導体導波路を用いることを特徴とする請求項 6 又は 7 記載の波長変換方法。

【請求項 10】 前記非線形導波路に、バルク構造の半導体素子を用いることを特徴とする請求項 6 乃至 9 のいずれか 1 項記載の波長変換方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、波長分割多重 (Wavelength Division Multiplexing ; 以下、WDM と称す) 光通信に利用して好適な波長変換器に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、大容量な光通信システムとして WDM 光通信が実用化されつつある。WDM 光通信では複数の異なる波長の光信号が多重化され、多重化された波長毎にそれぞれ通信チャンネルが割り当てられる。今後の WDM 光通信では、任意の通信チャンネル間で情報を交換する光交換機能の実現が検討され、以下に記載するような各種の波長変換器が提案されている。

【0003】例えば、田島らはマッハツェンダー型干渉計を備えた対称マッハツェンダー型全光スイッチを提案している (特開平 7 - 20510 号公報、または Japanese Journal of Applied Physics 誌、第 32 巻、L1746 ~ 1749 頁、1993 年)。これらに記載された対称マッハツェンダー型全光スイッチは Demultiplexer を意図して提案されたものであるが、入力パルスと異なる波長の出力パルスを得ることができるため (中村ら、Applied Physics

Letters 誌、第 65 巻、283 ~ 285 頁、1994 年)、波長変換器としても動作させることができる (以下、第 1 従来例と称す)。また、田島らは第 1 従来例を改良した安定性の高い偏光分離型全光スイッチを提案している (Applied Physics Letters 誌、第 67 巻、3709-3711 頁、1995 年)。

【0004】一方、Patel らは、これと同じメカニズムで動作する偏光分離型全光スイッチを報告している (IEEE Photonics Technology Letters 誌、第 8 巻、1695 ~ 1697 頁、1996 年)。この偏光分離型全光スイッチも第 1 従来例と同様に波長変換器として動作させることができる (以下、第 2 従来例と称す)。

【0005】また、上野らは第 2 従来例の構造を簡素化した波長変換器 (以下、第 3 従来例と称す) を提案している (IEEE Photonics Technology Letters 誌、第 10 巻、346 ~ 348 頁、1998 年、及び第 58 回応用物理学学会学術講演会講演予稿集 No. 3、1138 頁、1997 年 10 月、5a-ZB-6、及び第 45 回応用物理学関係連合講演会講演予稿集 No. 3、1135 頁、1998 年 3 月、29a-SZL-17)。

【0006】上記した第 1 従来例 ~ 第 3 従来例は、Return-to-Zero (RZ) 光信号の波長変換を行う波長変換器であり、非線形半導体導波路内部のキャリアの寿命よりも短い光パルスを出力することができる。

【0007】ところで、Duurhaas らは上記第 1 従来例 ~ 第 3 従来例と異なるメカニズムで動作する波長変換器を提案している (Journal of Lightwave Technology 誌、第 14 巻、942 ~ 954 頁、1996 年、以下、第 4 従来例と称す)。第 4 従来例は、いわゆる Non-Return-to-Zero (NRZ) 光信号の波長を変換する波長変換器である。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】上述した第 1 従来例 ~ 第 4 従来例の波長変換器は、いずれも半導体の屈折率の変化を利用して波長を変換するものであるため、出力する光信号に波長シフトや波長チャープングが発生する。特に、第 4 従来例の出力信号には強い波長チャープングが発生する。

【0009】波長チャープングが発生した光信号は、波長チャープングが発生しない光信号に比べてスペクトル幅が広がるため、伝送特性が劣化する。例えば、第 4 従来例の波長変換器を WDM 光通信に利用すると、通信チャンネル間のクロストークが増加し、伝送特性が伝送路の群速度分散の符号に依存する等の問題が発生する。

【0010】光信号のスペクトル幅を狭くするためには波長フィルタを用いる方法があるが、この場合、S/N 比の劣化や光信号の形状が歪む等の別の問題が発生する。

【0011】一方、第 1 従来例 ~ 第 3 従来例では、これまで光信号の波長シフトや波長チャープングについての検討や研究がなされてこなかったため、大きな波長チャープングの発生や波長変換効率の低下等の問題点が明らか

かでなかった。

【0012】本発明は上記したような従来の技術が有する問題点を解決するためになされたものであり、波長を効率よく変換すると共に、出力信号の波長チャープングを低減した波長変換器及び波長変換方法を提供することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため本発明の波長変換器は、入力光信号パルスと異なる波長の出力光信号パルスを出力する波長変換器であって、前記入力光信号パルスの入力に応じて屈折率が変化する第1の非線形導波路及び第2の非線形導波路と、前記入力光信号パルスを前記第1の非線形導波路に導く第1の光路と、前記入力光信号パルスが前記第1の非線形導波路に到達する時間に対して前記入力光信号パルスのパルス幅の0.6～1.2倍の時間差で前記入力光信号パルスを前記第2の非線形導波路に到達させる光路長を備え、前記入力光信号パルスを前記第2の非線形導波路に導く第2の光路と、所定波長の連続光を前記第1の非線形導波路に導く第3の光路と、前記連続光を前記第2の非線形導波路に導く第4の光路と、前記第1の非線形導波路から出力される光信号の位相に対して前記第2の非線形導波路から出力される光信号の位相を所定量に調整するための位相調整器と、前記第1の非線形導波路から出力される光信号及び前記第2の非線形導波路から出力される光信号を合流部と、前記合流部から出力される光信号のうち、前記入力光信号パルスの波長成分を除去する波長フィルタとを有するものである。

【0014】また、入力光信号パルスと異なる波長の出力光信号パルスを出力する波長変換器であって、前記入力光信号パルスの入力に応じて屈折率が変化する非線形導波路と、前記入力光信号パルスを前記非線形導波路に導く光路と、所定波長の連続光を第1の偏光成分及び第2の偏光成分に分離し、前記入力光信号パルスのパルス幅の0.6～1.2倍の時間差を持たせて前記非線形導波路にそれぞれ導くための第1の光回路と、前記非線形導波路から出力される前記第1の偏光成分及び前記第2の偏光成分を合流すると共に、該合流部位までの到達時間を一致させる第2の光回路と、前記非線形導波路から出力される前記第1の偏光成分の位相に対して前記第2の偏光成分の位相を所定量に調整するための位相調整器と、前記第2の光回路から出力される光信号のうち、前記入力光信号パルスの波長成分を除去する波長フィルタとを有するものである。

【0015】さらに、他の構成として、入力光信号パルスと異なる波長の出力光信号パルスを出力する光信号波長変換器であって、入力光信号パルスの入力に応じて屈折率が変化する非線形導波路と、所定波長の連続光及び前記入力光パルスをそれぞれ前記非線形導波路に導く光路と、前記非線形導波路から出力される光信号を第1の

光信号及び第2の光信号に分割する分岐部と、前記第1の光信号の位相に対して前記第2の光信号の位相を所定量に調整するための位相調整器と、前記第1の光信号に対して前記入力光信号パルスのパルス幅の0.6～1.2倍の時間差だけ前記第2の光信号を遅延させる光遅延路と、前記第1の光信号及び該遅延後の第2の光信号を合流する光合流部と、前記光合流部から出力される光信号のうち、前記入力光信号パルスの波長成分を除去する波長フィルタとを有するものである。

10 【0016】一方、本発明の波長変換方法は、入力光信号パルスに応じて屈折率が変化する第1の非線形導波路及び第2の非線形導波路に、光路長の異なる2つの光路を介して前記入力光信号パルスを前記入力光信号パルスのパルス幅の0.6～1.2倍の時間差を持たせてそれぞれ入力すると共に、所定波長の連続光をそれぞれ入力し、前記第1の非線形導波路から出力される光信号の位相に対して前記第2の非線形導波路から出力される光信号の位相を所定量に調整した後、前記第1の非線形導波路から出力される光信号及び前記第2の非線形導波路から出力される光信号を合流し、該合流した光信号から前記入力光信号パルスの波長成分を除去することで、前記入力光信号パルスと異なる波長の出力光信号パルスを出力させる方法である。

20 【0017】また、所定波長の連続光を第1の偏光成分及び第2の偏光成分に分離し、入力光信号パルスに応じて屈折率が変化する非線形導波路に、前記入力光信号パルスを入力すると共に、前記第1の偏光成分及び前記第2の偏光成分を前記入力光信号パルスのパルス幅の0.6～1.2倍の時間差を持たせてそれぞれ入力し、前記非線形導波路から出力される前記第1の偏光成分の位相に対して前記第2の偏光成分の位相を所定量に調整し、前記非線形導波路から出力される前記第1の偏光成分及び前記第2の偏光成分を合流すると共に、該合流部位までの到達時間を一致させ、該合流した光信号から前記入力光信号パルスの波長成分を除去することで、前記入力光信号パルスと異なる波長の出力光信号パルスを出力させる方法である。

30 【0018】さらに、他の方法として、入力光信号パルスに応じて屈折率が変化する非線形導波路に所定波長の連続光及び前記入力光信号パルスを入力し、前記非線形導波路から出力される光信号を第1の光信号及び第2の光信号に分割し、前記第1の光信号の位相に対して前記第2の光信号の位相を所定量に調整し、前記第1の光信号に対して前記入力光信号パルスのパルス幅の0.6～1.2倍の時間差だけ前記第2の光信号を遅延させ、前記第1の光信号及び該遅延後の第2の光信号を合流し、該合流した光信号から前記入力光信号パルスの波長成分を除去することで、前記入力光信号パルスと異なる波長の出力光信号パルスを出力させる方法である。

50 【0019】上記のような波長変換器及び波長変換方法

では、非線形導波路に対して入力信号パルスが到達する到達時間差を入力信号パルスのパルス幅の $0.6 \sim 1.2$ 倍となるように設定することで、出力信号パルスの瞬時位相変化は時間に対して直線状に変化するため、波長チャーピングを小さくすることができる。

【0020】また、非線形導波路に対して第1の偏光成分及び第2の偏光成分が到達する到達時間差を入力信号パルスのパルス幅の $0.6 \sim 1.2$ 倍となるよう設定することで、上記と同様に出力信号パルスの瞬時位相変化は時間に対して直線状に変化するため、波長チャーピングを小さくすることができる。

【0021】さらに、非線形導波路透過後に分割された第1の光信号及び第2の光信号が合流部位に到達するまでの到達時間差を入力信号パルスのパルス幅の $0.6 \sim 1.2$ 倍となるよう設定した場合も、出力信号パルスの瞬時位相変化は時間に対して直線状に変化するため、波長チャーピングを小さくすることができる。

【0022】

【発明の実施の形態】次に本発明について図面を参照して詳細に説明する。

【0023】(第1の実施の形態) 図1は本発明の波長変換器の第1の実施の形態の構成を示すブロック図である。

【0024】図1において、本実施の形態の波長変換器は、入力された光信号パルスに応じて屈折率が変化する第1の非線形導波路24及び第2の非線形導波路25と、波長 λ_1 の光信号パルスを入力するための第1の信号入力ポート26と、連続光光源21から出力される波長 λ_2 の連続光(CW光)を入力するための第2の信号入力ポート22と、第1の信号入力ポート26から入力された入力信号パルスを分割する第1の分岐部27と、第2の信号入力ポート22から入力された連続光を分割する第2の分岐部23と、第1の分岐部27によって分割された一方の光信号パルスと第2の分岐部23によって分割された一方の連続光を合波する第1の合流部19と、第1の分岐部27によって分割された他方の光信号パルスと第2の分岐部23によって分割された他方の連続光を合波する第2の合流部20と、第2の非線形導波路25から出力される光信号の位相を調整するための位相調整器33と、第1の非線形導波路24から出力される光信号及び位相調整器33から出力される光信号を合波する第3の合流部30と、第3の合流部30で合波された光信号を再び分割する第3の分岐部35と、波長 λ_1 の光信号パルス成分を除去するための波長フィルタ32と、波長変換された光信号を出力するための第1の出力信号ポート31及び第2の出力信号ポート34とを有している。なお、図1では、第2の非線形導波路25の後段に位相調整器33を配置した構成を示しているが、位相調整器33は第2の非線形導波路25の前段に配置されていてもよく、第1の非線形導波路24の後段ある

いは前段に配置されていてもよい。

【0025】第1の非線形導波路24及び第2の非線形導波路25は、例えば、図2に示すような構造を備えた半導体光増幅器、または吸収型半導体導波路が用いられる。図2は図1に示した非線形導波路として用いる半導体光増幅器の一構成例を示す図であり、要部を切断した様子を示す斜視図である。

【0026】図2に示すように、半導体光増幅器は、n型のInP基板101上に半導体ストライプ102が形成された構造である。半導体ストライプ102は、n型InP結晶からなるInPバッファ層103と、アンドープInGaAsP結晶からなる第1の中間層104と、光導波路となるInGaAsPバルク活性層105と、アンドープInGaAsP結晶からなる第2の中間層106と、p型InP結晶からなるInPカバー層107とによって構成される。また、半導体ストライプ102はp型InP結晶からなるクラッド層108で覆われ、クラッド層108の上にはキャップ層109が形成されている。さらに、キャップ層109の上には絶縁膜110が形成され、その上に電極111が形成されている。キャップ層109と電極111とは絶縁膜110に開けられた開口部110aを通して接続される。

【0027】吸収型半導体導波路は、図2に示した半導体光増幅器と同様の構造を備えているが、半導体光増幅器が電極111を介して電流注入が行われるのに対し、吸収型半導体導波路は電流注入が行われない点で異なっている。なお、図1は第1の非線形導波路24及び第2の非線形導波路25に半導体光増幅器を用いた場合の波長変換の様子を示している。

【0028】このような構成において、第1の信号入力ポート26から入力された光信号パルスは第1の分岐部27によってその光パワーが50:50に分割され、その一方の光信号パルスは第1の光路28及び第1の合流部19を経て第1の非線形導波路24に到達する。また、第1の分岐部27で分割された他方の光信号パルスは第2の光路29及び第2の合流部20を経て第2の非線形導波路25に到達する。ここで、第1の光路28よりも第2の光路29の方が光路長が長い場合、第1の分岐部27で分割された他方の光信号パルスは、第1の分岐部27で分割された一方の光信号パルスよりも遅れて非線形導波路に到達する(到達時間差を t_{d1} とする)。

【0029】一方、第2の入力ポート22から入力された連続光は、第2の分岐部23によってその光パワーが50:50に分割され、その一方の連続光は第1の非線形導波路24を経て第3の合流部30に到達する。また、第2の分岐部23で分割された他方の連続光は第2の非線形導波路25及び位相調整器33を経て第3の合流部30に到達する。第3の合流部30は、第1の非線形導波路24から出力された連続光Aと第2の非線形導

波路 2 5 から出力された連続光 B を合波する。この第 2 の分岐部 2 3 から第 3 の合流部 3 0 までの光回路は、いわゆるマツハツェンダー型干渉計を構成している。

【 0 0 3 0 】ところで、第 1 の非線形導波路 2 4 及び第 2 の非線形導波路 2 5 がそれぞれ半導体光増幅器の場合、第 1 の非線形導波路 2 4 及び第 2 の非線形導波路 2 5 では、光信号パルスが入力されると屈折率がそれぞれ一定時間だけ増加する。屈折率が増加している時間は入力された光信号パルスのパルス幅に等しく、屈折率が元に戻る回復時間は電流注入で発生したキャリア寿命に等しくなる。

【 0 0 3 1 】また、第 1 の非線形導波路 2 4 及び第 2 の非線形導波路 2 5 がそれぞれ吸収型半導体導波路の場合、第 1 の非線形導波路 2 4 及び第 2 の非線形導波路 2 5 では、光信号パルスが入力されると屈折率がそれぞれ一定時間だけ減少する。屈折率が減少している時間は入力された光信号パルスのパルス幅に等しく、屈折率が元に戻る回復時間は光信号パルスで発生したキャリア寿命に等しくなる。

【 0 0 3 2 】したがって、第 1 の非線形導波路 2 4 及び第 2 の非線形導波路 2 5 にそれぞれ半導体光増幅器を用いた場合、第 1 の非線形導波路 2 4 及び第 2 の非線形導波路 2 5 を透過する連続光は、光信号パルス入力による屈折率変化によって、その位相が図 3 (a) に示すように変化する。なお、図 3 (a) の実線は、第 1 の非線形導波路 2 4 を通過する一方の連続光 A の位相変化の様子を示し、図 3 (a) の一点鎖線は、第 2 の非線形導波路 2 5 を通過する他方の連続光 B の位相変化の様子を示している。

【 0 0 3 3 】上述したように、非線形導波路の屈折率が増加する時間は、入力信号パルス (図 3 (a) の点線で示したパルス) のパルス幅 (半値全幅 T) にほぼ等しいため、連続光 A 及び連続光 B の位相が変化する時間もパルス幅 T にほぼ等しくなる。このとき、連続光 B の位相は、非線形導波路に対する 2 つの入力信号パルスの到達時間差 t_{d1} によって連続光 A より t_{d1} だけ遅れて変化する。

【 0 0 3 4 】位相変化した連続光 A 及び連続光 B は、第 3 の合流部 3 0 で一旦合波され、第 3 の分岐部 3 5 によって再びその光パワーが 5 0 : 5 0 に分割される。なお、第 3 の合流部 3 0 から第 3 の分岐部 3 5 までの構成は、いわゆる 2 : 2 の光カプラーである。

【 0 0 3 5 】第 3 の分岐部 3 5 から出力された一方の光信号 P は、波長フィルタ 3 2 を経て第 1 の出力ポート 3 1 から出力され、第 3 の分岐部 3 5 から出力された他方の光信号 Q は、第 2 の出力ポート 3 4 から出力される。

【 0 0 3 6 】光信号 P の電界は、連続光 A と連続光 B とが合成されたものであり、

【 0 0 3 7 】

【 数 1 】

$$E_p(t) = E_A(t) + E_B(t) \cdot e^{i\phi_b} \dots\dots\dots(1)$$

で表される。

【 0 0 3 8 】一方、光信号 Q の電界は、

【 0 0 3 9 】

【 数 2 】

$$E_q(t) = E_A(t) + E_B(t) \cdot e^{i(\phi_b + \pi)} \dots\dots\dots(2)$$

で表される。なお、E_A (t) は、連続光 A の電界であり、E_B (t) は、連続光 B の電界である。

【 0 0 4 0 】ここで、位相調整器 3 3 を使って連続光 A 及び連続光 B の位相差が になるように調整すると、位相変化を起こす前の連続光 A の成分と連続光 B の成分は互いに打ち消し合い、位相変化を起こした後の連続光 A の成分と連続光 B の成分も互いに打ち消し合うため、光信号 P 及び光信号 Q の電界強度は、連続光 A 及び連続光 B が位相変化している期間でのみ有限な値となる。

【 0 0 4 1 】したがって、光信号 P はパルス形状となり、そのパルス幅は入力信号パルスのパルス幅 T と 2 つの入力信号パルスの非線形導波路に対する到達時間差 t_{d1} によって決定される。

【 0 0 4 2 】ところで、図 3 (a) に示したように、連続光 A 及び連続光 B の位相は非線形導波路の屈折率変化に伴ってほぼ直線状に変化する。

【 0 0 4 3 】本発明では、非線形導波路に対する入力信号パルスの到達時間差 t_{d1} が入力信号パルスのパルス幅 T に対して

【 0 0 4 4 】

【 数 3 】

$$\Delta t_{d1} = 0.6 \sim 1.2 \times \Delta T \dots\dots\dots(3)$$

となるように、第 1 の光路 2 8 と第 2 の光路 2 9 の光路長を設定する。

【 0 0 4 5 】特に、t_{d1} = 0 . 8 9 x T のとき、合波後の光信号 P の位相 (t) は図 3 (b) に示すようにほぼ直線状に変化するため、非線形導波路の位相変化に伴う光信号 P の瞬時波長変化は、図 3 (c) の実線で示すように、ほぼ一定の値となる (図 3 (c) の例では約 + 1 nm) 。

【 0 0 4 6 】すなわち、光信号 P の電界強度はパルス状 (図 3 (c) の点線) になり、その瞬時波長は、λ₂ + 1 nm (λ₂ は連続光源 2 1 の波長) となる。

【 0 0 4 7 】また、波長フィルタ 3 2 の透過中心波長を、予め連続光の波長 λ₂ より少し長めの波長 (λ₂ + λ_s、図 3 (c) の例では λ_s = + 1 nm) に設定しておけば、波長フィルタ 3 2 によって波長 λ₁ の入力信号パルス成分が除去され、波長 λ₂ + λ_s の光信号成分 (P) だけが透過する。

【 0 0 4 8 】したがって、波長フィルタ 3 2 の透過中心

波長を連続光の波長 λ_0 から一定量 ($\Delta\lambda_s$) シフトした波長に設定しておくことにより、波長変換を効率よく行うことができる。また、非線形導波路に対する入力信号パルスの到達時間差 t_{d1} と入力信号パルスのパルス幅 T を適切な関係に設定すれば、光信号 P の瞬時波長変化はほぼ一定になるため、出力信号パルスには波長チャープがほとんど発生しない。

【0049】なお、非線形導波路として半導体光増幅器を用いた場合、吸収型半導体導波路に比べて ASE (Amplified Spontaneous Emission) ノイズが増加する。この場合、透過帯域が狭く、透過中心波長が $\lambda_0 + \Delta\lambda_s$ に設定された波長フィルタ 32 を用いることで ASE ノイズも低減することができる。

【0050】また、第 1 の非線形導波路 24 及び第 2 の非線形導波路 25 として吸収型半導体導波路を用いた場合、出力信号パルスの波長は $\lambda_0 - \Delta\lambda_s$ となる。この場合、波長フィルタ 32 の透過中心波長は予め λ_0 より少し短めの波長 ($\lambda_0 - \Delta\lambda_s$) に設定しておく。

【0051】また、図 3 (a) ~ (c) に示した波長変換器の動作波形は、非線形導波路の屈折率変化のメカニズムを示す以下の基本式にしたがってシミュレーションした結果である。

【0052】ところで、非線形導波路として半導体光増幅器を用いた場合、電界強度 $E_{in}(t)$ の光信号パルスが入力されたときの、半導体光増幅器内部のキャリア数の変化量 $N_c(t)$ は、

【0053】
【数 4】

$$\Delta N_c(t) = (1 - G_0) \cdot \frac{1}{h\omega} \cdot \int_{-\infty}^t |E_{in}(t')|^2 dt' \quad \dots(4)$$

で表される。

【0054】簡単のために、ここでは非線形導波路のキャリア寿命が入力信号パルス幅 T よりも充分長いものとする。

【0055】このとき、非線形導波路の屈折率変化 $\Delta n_r(t)$ は、キャリア数変化 $N_c(t)$ に比例し、比例係数を f_{BF} とすると、

【0056】
【数 5】

$$\Delta n_r(t) = f_{BF} \cdot \Delta N_c(t) \quad \dots(5)$$

で表わされる。

【0057】また、連続光の非線形位相変化 $\Delta\Phi(t)$ は、

【0058】
【数 6】

$$\Delta\Phi(t) = k_0 \cdot \Gamma \cdot \Delta n_r(t) \quad \dots(6)$$

となる。但し、 G_0 は半導体光増幅器の利得、

【0059】
【数 7】

$h\omega$

は入力光信号の光子エネルギー、 k_0 は連続光の真空中での波数、 Γ は非線形半導体導波路の活性層 (キャリアが閉じ込められる部分) への光閉じ込め係数である。

【0060】一方、非線形導波路として吸収型半導体導波路を用いた場合、吸収型半導体導波路内部のキャリア数の変化量 $N_c(t)$ は、

【0061】
【数 8】

$$\Delta N_c(t) = \frac{1}{h\omega} \cdot \int_{-\infty}^t |E_{in}(t')|^2 dt' \quad \dots(7)$$

となる。なお、入力信号パルスのパルス形状は、

【0062】
【数 9】

$$E_{in}(t) = E_{in} \cdot \text{sech}\left(\frac{t}{T_0}\right) \quad \dots(8)$$

で表わされるソリトン型とする。このとき入力信号パルスのパルス幅 T は、 $T = 1.76 \times T_0$ の関係が成り立つ。

【0063】なお、図 3 (c) に示す瞬時波長変化は、一般的な関係式、

【0064】
【数 10】

$$\lambda(t) = \lambda_0 - \frac{2\pi}{\lambda_0^2} \cdot \frac{d\Phi(t)}{dt} \quad \dots(9)$$

から求めた。ここで、 λ_0 は過渡的な位相変化を起こす前の波長、 c は光速である。

【0065】ところで、式 (3) で示した t_{d1} と T の関係を

【0066】
【数 11】

$$\Delta t_{d1} = 5 \times \Delta T \quad \dots(10)$$

40 とした場合、連続光の位相変化は図 4 (a) の実線で示すようになる (図 4 (a) の点線は入力信号パルス)。また、合波後の光信号 P の位相変化は図 4 (b) に示すようになる。さらに、光信号 P の瞬時波長変化は図 4 (c) の実線で示すようになり、光信号 P の電界強度は図 4 (c) の点線で示すようになる。

【0067】すなわち、非線形導波路に対する入力信号パルスの到達時間差 t_{d1} を長く設定した場合 (ここでは、 $t_{d1} = 5 \times T$)、図 4 (b) に示すように光信号 P の位相変化が直線状にならないため、瞬時波長が一定とならず、図 4 (c) に示すように光信号 P の電

界強度の立ち上がり立ち下がり時に同符号の大きな波長チャーピングが発生する。

【0068】以下では、上記式(3)で示した入力信号パルスのパルス幅 T と到達時間差 t_{d1} の関係を、

$t_{d1} = 0.6 \sim 1.2 \times T$ とした理由について説明する。

【0069】一般に、2.5 Gbps 以上の大容量の光信号を長距離伝送するためには、光伝送路(光ファイバー)の波長分散によって生じる光パルスの広がりを管理する必要がある。

【0070】この目的のため、伝送路として使用する光ファイバーの群速度分散を制御する技術や、伝送路を一定間隔毎に分散補償する(いわゆる分散マネージメント)技術が開発されている(光ソリトン通信研究会第2回研究集會予稿集、平成9年4月8日)。

【0071】光パルスを用いる光通信では、出力信号パルスのパルス幅が入力信号パルスのパルス幅の $\pm 2.5\%$ 以内に納まっていることが望ましく、また、出力信号パルスの波長チャーピング量は、波長チャーピングを持たない入力信号パルスのスペクトル幅の 2.5% を越えないことが望ましい。

【0072】ここで、 t_{d1} と T の比 t_{d1} / T を、 $t_{d1} / T = 0.40, 0.50, 0.60, 1.0, 1.2, 1.6$ と変え、そのときの出力信号パルスの波形と波長チャーピング量の様子を図5~図10に示す。なお、図5~図10は信号繰返し周波数を100 Gbps(信号間隔=10 ps)、入力信号パルスを波長チャーピングを持たない sech 型光パルス、入力信号パルスのパルス幅(半値全幅)を2.0 ps、入力信号パルスの中心波長を1.5 μm 、スペクトル幅(半値全幅)を1.26 nm としたときのシミュレーション結果である。

【0073】また、図5~図10の各図(a)の実線は第1の非線形導波路24を通過する一方の連続光の位相変化の様子を示し、一点鎖線は第2の非線形導波路25を通過する他方の連続光の位相変化の様子を示し、点線は入力信号パルスの様子を示している。また、各図(b)は光信号Pの位相変化の様子を示し、各図(c)の実線は光信号Pの瞬時波長変化を示し、点線は光信号Pの電界強度を示している。

【0074】なお、図11は、図5~図10で示した出力パルス幅(実線)と波長チャーピング量(点線)のシミュレーション結果をまとめて示した図であり、同図(a)はグラフ、同図(b)は表である(但し、入力信号パルスのパルス幅は常に2 ps)。また、図12は波長チャーピングの定義を示す図であり、点線は出力信号パルスの強度変化を示し、実線は瞬時波長変化を示している。図12において、出力信号パルスの瞬時強度がピーク強度の $1/2$ となる時刻を $TH1$ 、 $TH2$ としたとき、 $TH1$ から $TH2$ の間の瞬時波長の最大値と最小値

の差を出力パルスの波長チャーピングと定義する。

【0075】図5及び図11に示すように、 $t_{d1} / T = 0.4$ とした時、出力信号パルスのパルス幅は入力信号パルスのパルス幅の 75.25% となり、出力信号パルスの波長チャーピングは 0.384 nm となる。また、出力信号パルスの波長チャーピングと入力信号パルスのスペクトル幅の比は 30.5% である。

【0076】図6及び図11に示すように、 $t_{d1} / T = 0.5$ とした時、出力信号パルスのパルス幅は入力信号パルスのパルス幅の 78.9% となり、出力信号パルスの波長チャーピングは 0.360 nm となる。また、出力信号パルスの波長チャーピングと入力信号パルスのスペクトル幅の比は 28.6% である。

【0077】図7及び図11に示すように、 $t_{d1} / T = 0.6$ とした時、出力信号パルスのパルス幅は入力信号パルスのパルス幅の 83.5% となり、出力信号パルスの波長チャーピングは 0.284 nm となる。また、出力信号パルスの波長チャーピングと入力信号パルスのスペクトル幅の比は 22.5% である。

【0078】また、図3で示したように、 $t_{d1} / T = 0.89$ とした時、出力信号パルスのパルス幅は入力信号パルス幅に一致し、出力パルスの波長チャーピングは 0.060 nm となり、殆ど無くなる(図11参照)。

【0079】図8及び図11に示すように、 $t_{d1} / T = 1.0$ とした時、出力信号パルスのパルス幅は入力信号パルス幅の 108.5% となり、出力信号パルスの波長チャーピングは 0.100 nm となる。また、出力信号パルスの波長チャーピングと入力信号パルスのスペクトル幅の比は 7.9% である。

【0080】図9及び図11に示すように、 $t_{d1} / T = 1.2$ とした時、出力信号パルスのパルス幅は入力信号パルス幅の 124.5% となり、出力信号パルスの波長チャーピングは 0.256 nm となる。また、出力信号パルスの波長チャーピングと入力信号パルスのスペクトル幅の比は 20.3% である。

【0081】さらに、図10及び図11に示すように、 $t_{d1} / T = 1.6$ とした時、出力信号パルスのパルス幅は入力信号パルスのパルス幅の 161.0% となり、出力信号パルスの波長チャーピングは 0.50 nm となる。また、出力信号パルスの波長チャーピングと入力信号パルスのスペクトル幅の比は 39.7% である。

【0082】以上示したように、 $t_{d1} / T = 0.6 \sim 1.2$ の範囲で、出力信号パルスのパルス幅が入力信号パルスのパルス幅の $\pm 2.5\%$ 以内に納まり、出力信号パルスの波長チャーピング量が入力信号パルスのスペクトル幅の 2.5% 以内に納まることが分かる。

【0083】したがって、非線形導波路に入力信号パルスが到達する到達時間差を入力信号パルスのパルス幅の $0.6 \sim 1.2$ 倍となるよう設定することにより、出力

信号パルスの波長チャープングを小さくすることができる。

【0084】なお、参考までに図13に第4従来例の波長変換器の動作の様子を示す。図13(a)の実線は連続光の過渡的位相変化を示し、点線は入力信号パルスを示している。また、図13(b)は出力信号パルスの位相変化を示している。図13(c)の実線は出力信号パルスの瞬時波長変化を示し、点線は出力信号パルスの電界強度を示している。

【0085】図13(c)に示すように、第4従来例では、出力信号パルスの立ち上がり立ち下がり部位で異符号の大きな波長チャープングが発生している。

【0086】(第2の実施の形態)次に本発明の第2の形態について図面を参照して説明する。

【0087】図14は本発明の波長変換器の第2の実施の形態の構成を示すブロック図である。

【0088】図14において、本実施の形態の波長変換器は、入力された光信号パルスに応じて屈折率が変化する非線形導波路44と、波長¹の光信号パルスを入力するための第1の信号入力ポート45と、連続光光源41から出力される波長²の連続光(CW光)を入力するための第2の信号入力ポート42と、第2の信号入力ポート42から入力された連続光(CW光)をp偏光成分とs偏光成分に分離し、入力光信号パルスのパルス幅の0.6~1.2倍の時間差を持たせて非線形導波路44にそれぞれ導くための第1の光回路59と、非線形導波路44から出力される光信号をp偏光成分とs偏光成分に分離し、p偏光成分及びs偏光成分を合波すると共に、その到達時間を一致させる第2の光回路60と、第2の偏光分岐部52から出力されたs偏光成分の光信号の位相を調整するための位相調整器57と、第2の偏光合流部53から出力された光信号のp偏光成分及びs偏光成分の光パワーをそれぞれ50:50の比で出力させる偏光フィルタ49と、波長¹の光信号パルスを除去するための波長フィルタ54と、波長変換された光信号を出力するための出力信号ポート55とを有している。

【0089】第1の光回路59は、第2の信号入力ポート42から入力された連続光をp偏光成分とs偏光成分に分離する第1の偏光分岐部50と、第1の光路58を通過したp偏光成分及び第1の光遅延路43を通過したs偏光成分を合波する第1の偏光合流部51とによって構成されている。

【0090】また、第2の光回路60は、非線形導波路*

$$\Delta t = \frac{\Delta L_d}{v_g} \dots\dots\dots(11)$$

だけ遅れる。ここで、 v_g は第1の光回路58を伝播する光信号の伝播速度である。

【0098】よって、偏光フィルタ49に到達した光信号のp偏光成分の位相は、第1の実施の形態と同様に、

* 44から出力された光信号をp偏光成分とs偏光成分に分離する第2の偏光分岐部52と、第2の光路56を通過したs偏光成分及び第2の光遅延路47を通過したp偏光成分を合波する第2の偏光合流部53とによって構成されている。なお、波長フィルタ54は、第1の実施の形態と同様に、波長変換後の光信号パルス(波長²+^s)のみを透過させ、波長¹の入力信号パルス成分を除去する。また、図14は非線形導波路44に半導体光増幅器を用いた場合の波長変換の様子を示している。

【0091】このような構成において、第1の信号入力ポート45から入力された入力信号パルスは合流部46を経て非線形導波路44に到達し、非線形導波路44の屈折率を変化させる。

【0092】一方、第2の信号入力ポート42から入力された連続光は第1の偏光分岐部50(例えば、偏光ビームスプリッター)によってp偏光成分とs偏光成分に分離される。

【0093】第1の偏光分岐部50によって分離されたp偏光成分は、第1の光路58、第1の偏光合流部51(例えば、偏光ビームスプリッター)、合流部46、非線形導波路44、第2の偏光分岐部52、第2の光遅延路47、及び第2の偏光合流部53を経て偏光フィルタ49に到達する。

【0094】また、第1の偏光分岐部50によって分離されたs偏光成分は、第1の光遅延路43、第1の偏光合流部51、合流部46、非線形導波路44、第2の偏光分岐部52、第2の光路56、位相調整器57、及び第2の偏光合流部53を経て偏光フィルタ49に到達する。

【0095】ここで、第1の光遅延路43は第1の光回路58よりも光路長が L_d だけ長く、第2の光遅延路47は第2の光回路56及び位相調整器57よりも光路長が L_d だけ長くなっている。したがって、光信号のp偏光成分とs偏光成分は偏光フィルタ49に同時に到着する。

【0096】しかしながら、第1の偏光合流部51によって合波されたs偏光成分が非線形導波路44を透過する時刻は、p偏光成分が非線形導波路44を通過する時刻よりも

【0097】
【数12】

図3(a)の実線で示すように変化し、s偏光成分の位相は図3(a)の一点鎖線で示すように変化する。

【0099】なお、偏光フィルタ49の光軸方位は、予めp偏光成分とs偏光成分が50:50で合波されて透

過するように調整しておき、位相調整器 5 7 を p 偏光成分と s 偏光成分の位相差が θ となるように調整しておく。

【0100】したがって、偏光フィルタ 4 9 から出力される p 偏光成分及び s 偏光成分の合波光はパルス状となる。

【0101】また、非線形導波路 4 4 に到達する連続光の p 偏光成分及び s 偏光成分の到達時間差 t_{d2} が入力信号パルスのパルス幅 T に対して $t_{d2} = 0.6 \sim 1.2 \times T$ となるように、第 1 の光路 5 8 と第 1 の光遅延路 4 3 の光路長を設定する。

【0102】このようにすることで、第 1 の実施の形態と同様に波長 λ_1 の入力信号パルスを波長 $\lambda_2 + \lambda_s$ の出力信号パルスに効率よく変換することができる。また、このときの位相変化量、中心波長のシフト量、及び波長チャープ量も第 1 の実施の形態と同様の値になるため、出力信号パルスの波長チャープ量を小さくすることができる。

【0103】なお、非線形導波路 4 4 に吸収型半導体導波路を用いた場合、出力信号パルスの波長は $\lambda_2 - \lambda_s$ となる。この場合、波長フィルタ 5 4 の透過中心波長は予め λ_2 より少し短めの波長 ($\lambda_2 - \lambda_s$) に設定しておく。

【0104】(第 3 の実施の形態) 次に、本発明の第 3 の実施の形態について図面を参照して説明する。

【0105】図 1 5 は本発明の光信号波長変換器の第 3 の実施の形態の構成を示すブロック図である。

【0106】図 1 5 において、本実施の形態の波長変換器は、入力された光信号パルスに応じて屈折率が変化する非線形導波路 5 と、波長 λ_1 の光信号パルス(入力信号パルス)を入力するための第 1 の信号入力ポート 3 と、連続光源 1 から出力される波長 λ_2 の連続光(CW光)を入力するための第 2 の信号入力ポート 2 と、第 1 の信号入力ポート 3 から入力された入力信号パルスと第 2 の信号入力ポートから入力された連続光を合波する第 1 の合流部 4 と、非線形導波路 5 から出力された光信号を分離する第 1 の分岐部 6 1 と、第 1 の分岐部 6 1 によって分離された光信号のうち、光路 6 2 を通過した一方の光信号、及び光遅延路 6 3 を通過した他方の光信号を合波する第 2 の合流部 6 4 と、第 1 の分岐部 6 1 で分離された他方の光信号の位相を調整するための位相調整器 6 7 と、第 2 の合流部 6 4 から出力される光信号を分離する第 2 の分岐部 6 6 と、所定の偏光成分のみを通過させる偏光子 7 と、波長 λ_1 の光信号パルスを除去するための波長フィルタ 6 8 と、波長変換された光信号を出力するための第 1 の信号出力ポート 6 9 及び第 2 の信号出力ポート 9 とを有している。なお、波長フィルタ 6 8 は、第 1 の実施の形態と同様に、波長変換後の光信号パルス(波長 $\lambda_2 + \lambda_s$)のみを透過させ、波長 λ_1 の入力信号パルス成分を除去する。また、図 1 5 は非線形

導波路 5 に半導体光増幅器を用いた場合の波長変換の様子を示している。

【0107】このような構成において、第 1 の信号入力ポート 3 に入力された信号パルスは第 1 の合流部 4 を経て非線形導波路 5 に到達し、非線形導波路 5 の屈折率を変化させる。

【0108】一方、第 2 の信号入力ポート 2 から入力された連続光(CW光)は、第 1 の合流部 4 及び非線形導波路 5 を経て第 1 の分岐部 6 1 でその光パワーが 5 0 : 5 0 に分割される。

【0109】第 1 の分岐部 6 1 で分割された一方の光信号(第 1 の光信号)は光路 6 2 を経て第 2 の合流部 6 4 に到達し、第 1 の分岐部 6 1 で分割された他方の光信号(第 2 の光信号)は位相調整器 6 7 及び光遅延路 6 3 を経て第 2 の合流部 6 4 に到達する。第 2 の合流部 6 4 は第 1 の光信号及び第 2 の光信号を合波する。

【0110】なお、第 1 の分岐部 6 1 から第 2 の合流部 6 4 までの光回路は入力された光信号の偏光をそれぞれ維持するため、第 2 の合流部 6 4 における第 1 の光信号と第 2 の光信号は同じ偏光を有している。

【0111】また、位相調整器 6 7 と光遅延回路 6 3 の光路長は光路 6 2 の光路長よりも長い場合、第 2 の光信号は第 1 の光信号よりも t_{d3} だけ遅れて第 2 の合流部 6 4 に到達する。したがって、第 2 の合流部 6 4 における第 2 の光信号の位相変化は第 1 の光信号の位相変化よりも t_{d3} だけ遅れる。

【0112】ここで、第 1 の光信号と第 2 の光信号の位相差が θ となるように位相調整器 6 7 で調整する。また、第 1 の光信号及び第 2 の光信号が第 2 の合流部 6 4 に到達する到達時間差 t_{d3} を、入力信号パルスのパルス幅 T に対して $t_{d3} = 0.6 \sim 1.2 \times T$ となるように、位相調整器 6 7 と光遅延回路 6 3 及び光路 6 2 の光路長をそれぞれ設定する。

【0113】このとき、第 1 の光信号の位相変化は、第 1 の実施の形態と同様に図 3 (a) の実線で示すようになり、第 2 の光信号の位相変化は図 3 (a) の一点鎖線で示すようになり、合波した光信号はパルス状となる。

【0114】第 2 の合流部 6 4 で合波された光信号は、第 2 の分岐部 6 6 によってその光パワーが 5 0 : 5 0 に再び分割され、第 2 の分岐部 6 6 によって分割された一方の光信号は偏光子 7 及び波長フィルタ 6 8 を経て第 1 の信号出力ポート 6 9 から出力され、第 2 の分岐部 6 6 によって分割された他方の光信号は第 2 の信号出力ポート 9 から出力される。なお、偏光子 7 は必ずしも必要ではない。

【0115】したがって、本実施の形態の波長変換器も、第 1 の実施の形態と同様に波長 λ_1 の入力信号パルスを波長 $\lambda_2 + \lambda_s$ の出力信号パルスに効率よく変換することができる。また、このときの位相変化量、中心波長のシフト量、及び波長チャープ量も第 1 の実施

の形態と同様の値になるため、出力信号パルスの波長チャージングを小さくすることができる。

【0116】なお、非線形導波路5に吸収型半導体導波路を用いた場合、出力信号パルスの波長は $\lambda_2 - \lambda_s$ となる。この場合、波長フィルタ54の透過中心波長は予め λ_2 より少し短めの波長 ($\lambda_2 - \lambda_s$) に設定しておく。

【0117】

【実施例】次に本発明の実施例について説明する。

【0118】本実施例では、図1に示した非線形導波路として、InGaAsP/InPダブルヘテロ半導体層からなる半導体光増幅器 (IEEE Photonics Technology Letters誌、第10巻、346~348頁、1998年)を用いた場合を例にして、本発明の効果について説明する。なお、半導体光増幅器の利得ピーク波長は1550nm、利得 (G_0)は20dBである。また、入力信号パルスのパルス幅は2ps、中心波長は1550nm、スペクトル幅は1.2nmとし、連続光の波長は1559nm、スペクトル幅は10MHz以下とした。さらに、光路及び光遅延路は光ファイバーと光ファイバークラウドで構成し、波長フィルターの中心波長は1560nm、波長帯域は2nmとした。

【0119】以上のように設定することで、中心波長1550nm、パルス幅2psの入力信号パルスを、波長1560nm、パルス幅2psの出力信号パルスに変換する波長変換器を構成することができた。

【0120】なお、上記構成の波長変換器では、入力信号パルスから出力信号パルスへの変換効率が150%であり、連続光の強度に対する出力信号パルスのピーク強度の比は300%であった。

【0121】

【発明の効果】本発明は以上説明したように構成されているので、以下に記載する効果を奏する。

【0122】非線形導波路に対して入力信号パルスが到達する到達時間差を入力信号パルスのパルス幅の0.6~1.2倍となるよう設定することで、出力信号パルスの瞬時位相変化は時間に対して直線状に変化するため、出力信号パルスの波長チャージングを小さくすることができる。

【0123】また、非線形導波路に対して第1の偏光成分及び第2の偏光成分が到達する到達時間差を入力信号パルスのパルス幅の0.6~1.2倍となるよう設定することで、出力信号パルスの瞬時位相変化は時間に対して直線状に変化するため、出力信号パルスの波長チャージングを小さくすることができる。

【0124】さらに、非線形導波路通過後に分割された第1の光信号及び第2の光信号が合流部位に到達するまでの到達時間差を入力信号パルスのパルス幅の0.6~1.2倍となるよう設定することで、出力信号パルスの瞬時位相変化は時間に対して直線状に変化するため、出

力信号パルスの波長チャージングを小さくすることができる。

【0125】また、上記いずれの構成においても、波長フィルタの透過中心波長を連続光の波長から一定量シフトした波長に設定しておくことにより、波長変換を効率よく行うことができる。加えて、透過帯域の狭い波長フィルタを用いることでASEノイズも低減することができる。

【図面の簡単な説明】

10 【図1】本発明の光信号波長変換器の第1の実施の形態の構成を示すブロック図である。

【図2】図1に示した非線形導波路として用いる半導体光増幅器の一構成例を示す図であり、要部を切断した様子を示す斜視図である。

【図3】図1に示した波長変換器の $t_{d1} / T = 0.89$ とした時の動作の様子を示す図であり、同図(a)は連続光の位相変化を示すグラフ、同図(b)は出力信号パルスの位相変化を示すグラフ、同図(c)は出力信号パルスの瞬時波長変化を示すグラフである。

20 【図4】図1に示した波長変換器の $t_{d1} / T = 5$ とした時の動作の様子を示す図であり、同図(a)は連続光の位相変化を示すグラフ、同図(b)は出力信号パルスの位相変化を示すグラフ、同図(c)は出力信号パルスの瞬時波長変化を示すグラフである。

【図5】図1に示した波長変換器の $t_{d1} / T = 0.40$ とした時の動作の様子を示す図であり、同図(a)は連続光の位相変化を示すグラフ、同図(b)は出力信号パルスの位相変化を示すグラフ、同図(c)は出力信号パルスの瞬時波長変化を示すグラフである。

30 【図6】図1に示した波長変換器の $t_{d1} / T = 0.50$ とした時の動作の様子を示す図であり、同図(a)は連続光の位相変化を示すグラフ、同図(b)は出力信号パルスの位相変化を示すグラフ、同図(c)は出力信号パルスの瞬時波長変化を示すグラフである。

【図7】図1に示した波長変換器の $t_{d1} / T = 0.60$ とした時の動作の様子を示す図であり、同図(a)は連続光の位相変化を示すグラフ、同図(b)は出力信号パルスの位相変化を示すグラフ、同図(c)は出力信号パルスの瞬時波長変化を示すグラフである。

40 【図8】図1に示した波長変換器の $t_{d1} / T = 1.0$ とした時の動作の様子を示す図であり、同図(a)は連続光の位相変化を示すグラフ、同図(b)は出力信号パルスの位相変化を示すグラフ、同図(c)は出力信号パルスの瞬時波長変化を示すグラフである。

【図9】図1に示した波長変換器の $t_{d1} / T = 1.2$ とした時の動作の様子を示す図であり、同図(a)は連続光の位相変化を示すグラフ、同図(b)は出力信号パルスの位相変化を示すグラフ、同図(c)は出力信号パルスの瞬時波長変化を示すグラフである。

50 【図10】図1に示した波長変換器の $t_{d1} / T =$

1. 6とした時の動作の様子を示す図であり、同図 (a) は連続光の位相変化を示すグラフ、同図 (b) は出力信号パルスの位相変化を示すグラフ、同図 (c) は出力信号パルスの瞬時波長変化を示すグラフである。

【図 1 1】図 5 ~ 図 1 0 に示した出力パルス幅と波長チャープのシミュレーション結果をまとめて示した図であり、同図 (a) はグラフ、同図 (b) は表である。

【図 1 2】波長チャープの定義を示す図である。

【図 1 3】第 4 従来の波長変換器の動作の様子を示す図であり、同図 (a) は連続光の位相変化を示すグラフ、同図 (b) は出力信号パルスの位相変化を示すグラフ、同図 (c) は出力信号パルスの瞬時波長変化を示すグラフである。

【図 1 4】本発明の波長変換器の第 2 の実施の形態の構成を示すブロック図である。

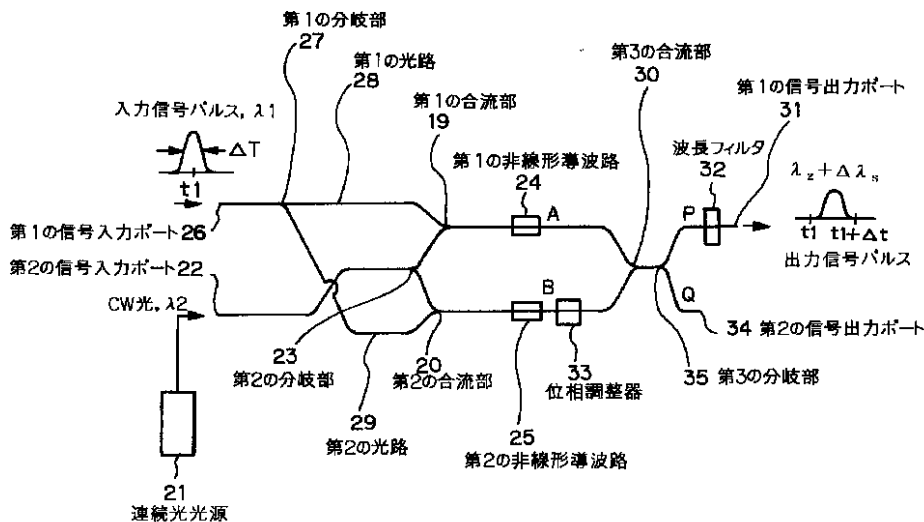
【図 1 5】本発明の波長変換器の第 3 の実施の形態の構成を示すブロック図である。

【符号の説明】

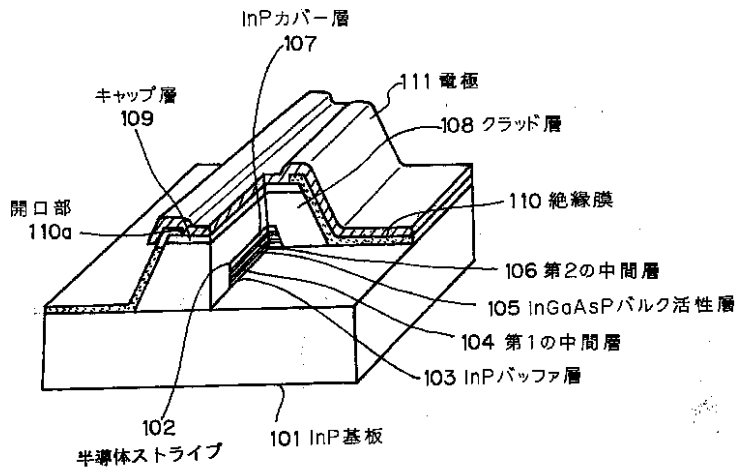
- 1、21、41 連続光光源
- 2、22、42 第 2 の信号入力ポート
- 3、26、45 第 1 の信号入力ポート
- 4、19 第 1 の合流部
- 5、44 非線形導波路
- 7 偏光子
- 9、34 第 2 の信号出力ポート

- * 20、66 第 2 の合流部
- 23 第 2 の分岐部
- 24 第 1 の非線形導波路
- 25 第 2 の非線形導波路
- 27、61 第 1 の分岐部
- 28 第 1 の光路
- 29 第 2 の光路
- 30 第 3 の合流部
- 31、69 第 1 の信号出力ポート
- 10 32、54、68 波長フィルタ
- 33、57、67 位相調整器
- 35 第 3 の分岐部
- 43 第 1 の光遅延路
- 46 合流部
- 47 第 2 の光遅延路
- 49 偏光フィルタ
- 50 第 1 の偏光分岐部
- 51 第 1 の偏光合流部
- 52 第 2 の偏光分岐部
- 20 53 第 2 の偏光合流部
- 55 信号出力ポート
- 59 第 1 の光回路
- 60 第 2 の光回路
- 62 光路
- * 63 光遅延路

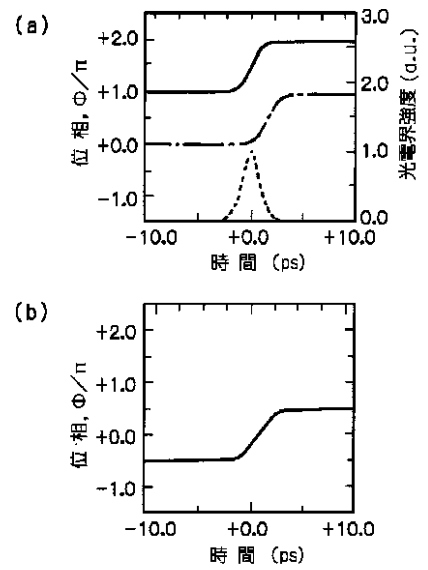
【図 1】



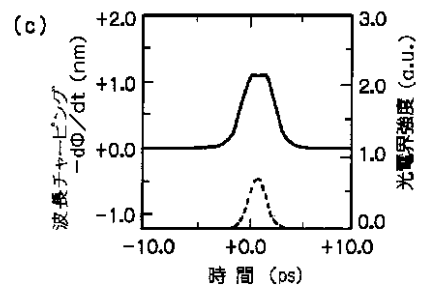
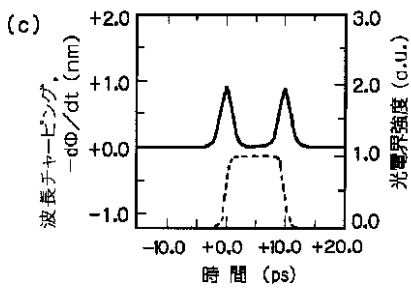
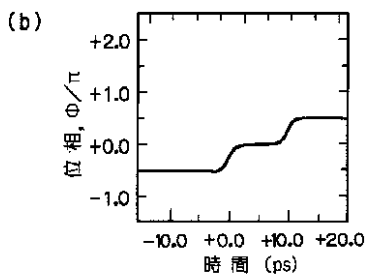
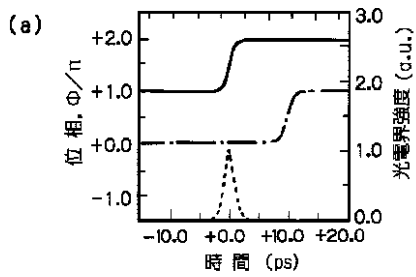
【図2】



【図3】

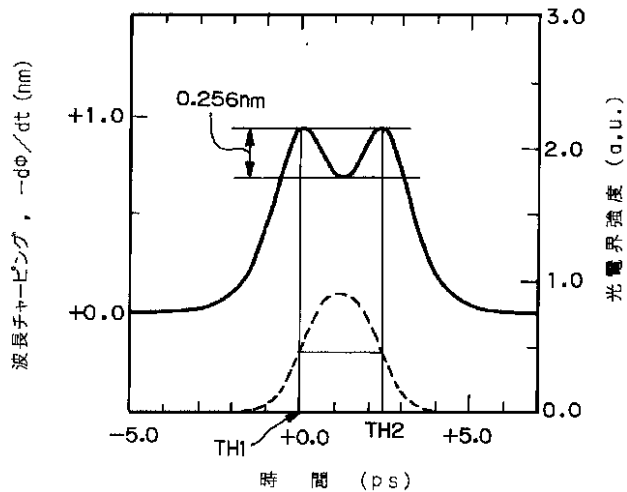


【図4】

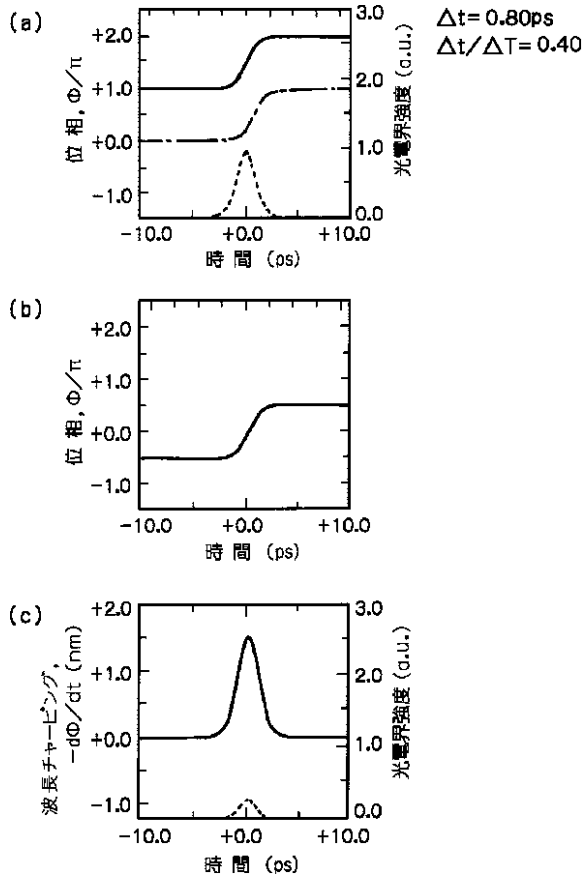


【図12】

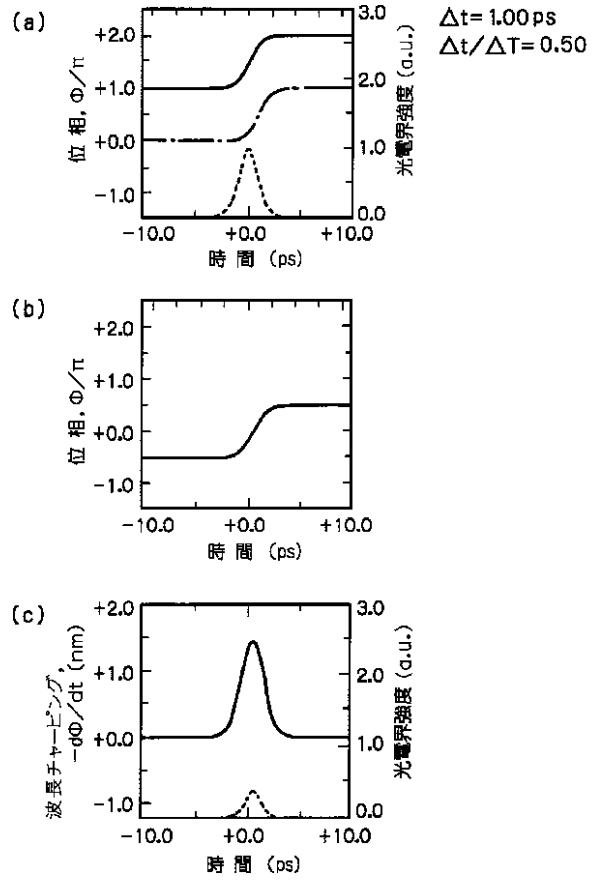
$\Delta t = 2.4 \text{ ps}$
 $\Delta t / \Delta T = 1.2$



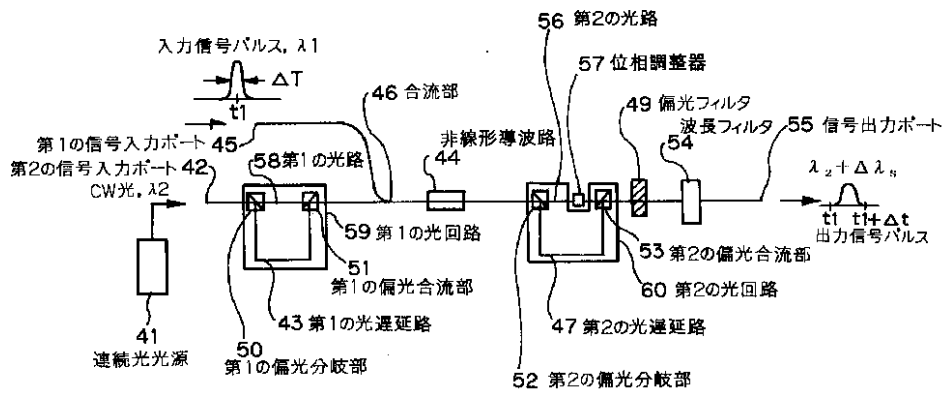
【図5】



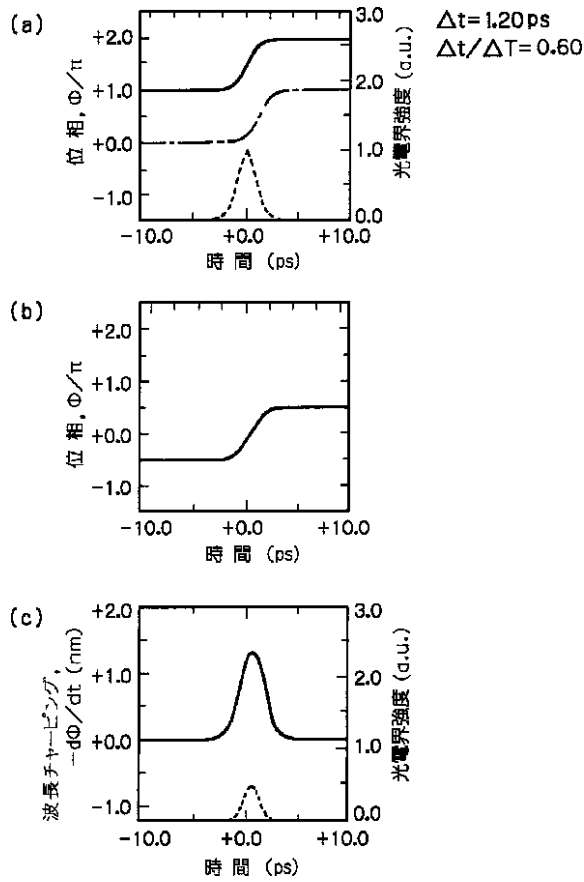
【図6】



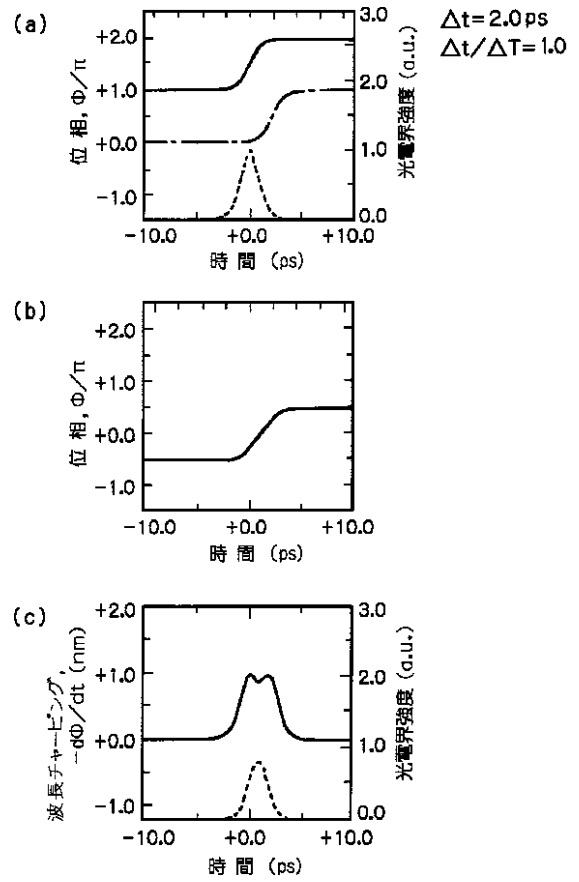
【図14】



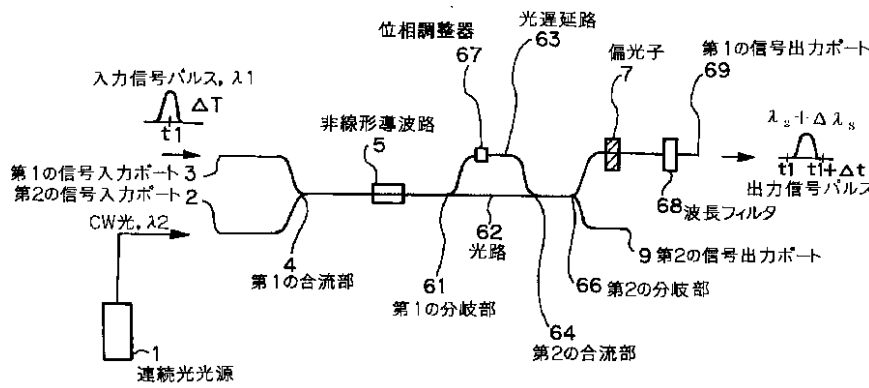
【図7】



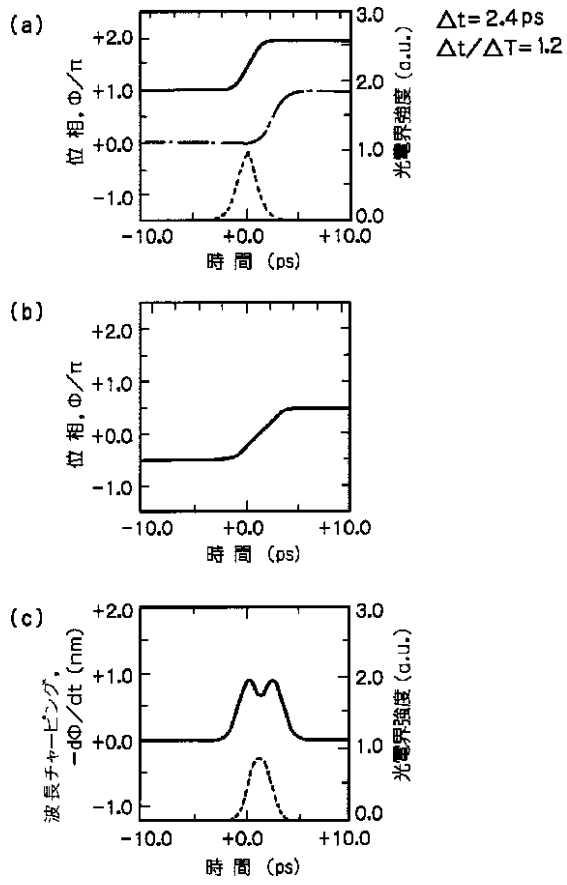
【図8】



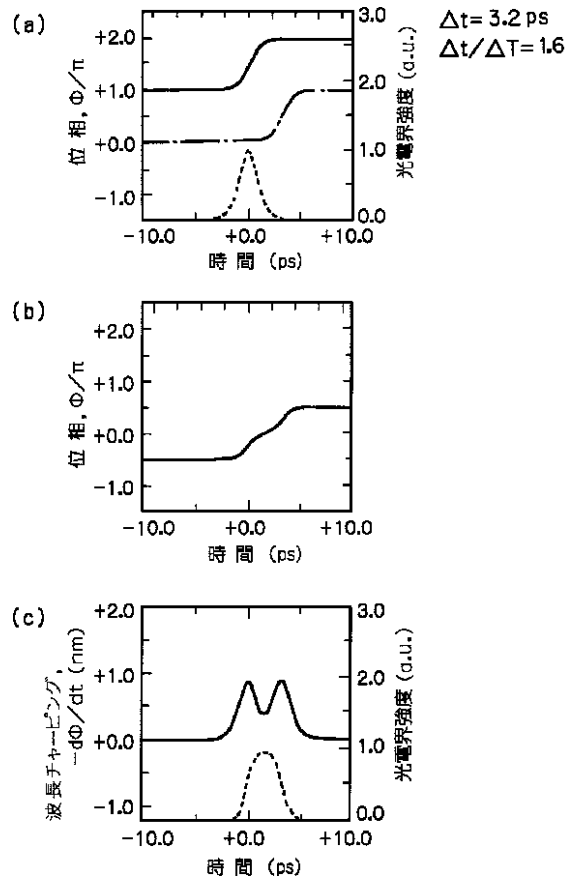
【図15】



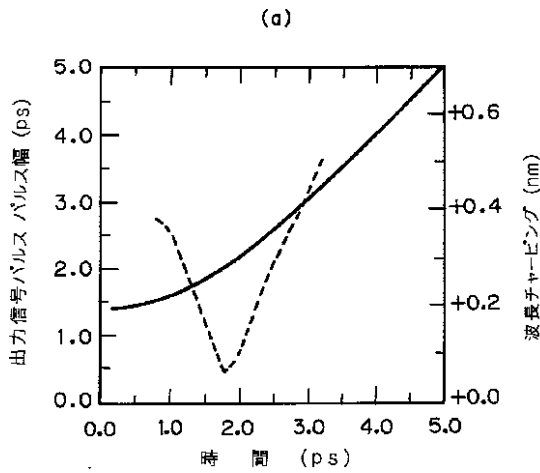
【図9】



【図10】



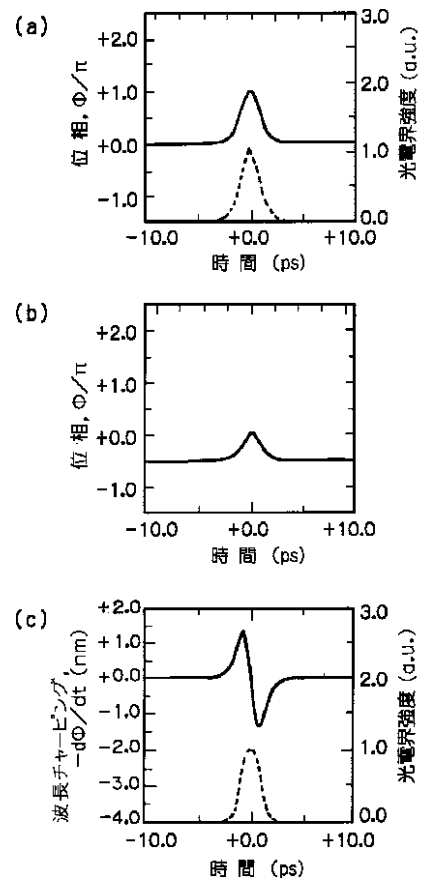
【図11】



(b)

到達時間差 (ps)	出力信号パルス幅 (ps)	波長チャージング (nm)
0.20	1.383	-
0.40	1.408	-
0.80	1.505	0.384
1.00	1.578	0.360
1.20	1.67	0.284
1.78	2.00	0.060
2.00	2.17	0.100
2.40	2.49	0.256
3.20	3.22	0.50
10.0	9.97	-

【図13】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開 平8 - 179385 (JP, A)
 Japanese Journal of Applied Physics, Vol.32 Part.2 No.12A pp. L1746 - 1749
 Appl. Phys. Lett., Vol.65 No.3 pp.283 - 285
 Appl. Phys. Lett., Vol.67 No.17 pp.2445 - 2447
 Appl. Phys. Lett., Vol.67 No.25 pp.3709 - 3711
 1997年春季第44回応用物理学関係連合講演会予稿集 第3分冊. P.979
 IEEE Photonics Technology Letters, Vol.10 No.3 pp.346 - 348
 IEEE Photonics Technology Letters, Vol.8 No.12 pp.1695 - 1697

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)
 G02F 2/02