

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4290541号
(P4290541)

(45) 発行日 平成21年7月8日(2009.7.8)

(24) 登録日 平成21年4月10日(2009.4.10)

(51) Int.Cl.	F I	
H O 1 S 5/0625 (2006.01)	H O 1 S 5/0625	
H O 1 S 5/12 (2006.01)	H O 1 S 5/12	
H O 1 S 5/22 (2006.01)	H O 1 S 5/22	6 I O
H O 4 B 10/04 (2006.01)	H O 4 B 9/00	Y
H O 4 B 10/06 (2006.01)	H O 4 B 9/00	W
請求項の数 15 (全 15 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号	特願2003-409659 (P2003-409659)	(73) 特許権者	000004226
(22) 出願日	平成15年12月8日(2003.12.8)		日本電信電話株式会社
(65) 公開番号	特開2005-175021 (P2005-175021A)		東京都千代田区大手町二丁目3番1号
(43) 公開日	平成17年6月30日(2005.6.30)	(74) 代理人	100077481
審査請求日	平成18年3月29日(2006.3.29)		弁理士 谷 義一
特許法第30条第1項適用 平成15年9月10日社団法人電子情報通信学会発行の「E i C電子情報通信学会2003年ソサイエティ大会講演論文集」に発表		(74) 代理人	100088915
			弁理士 阿部 和夫
		(72) 発明者	笠谷 和生
			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	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
		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 波長可変光源および光送信器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

波長可変な半導体 D F B レーザ素子と半導体増幅器とを同一基板上に集積化した波長選択光源素子と、前記半導体 D F B レーザ素子に接続された第1の制御部と、前記半導体光増幅器に接続された第2の制御部と、前記半導体光増幅器の出射側に配置された、波長検出器及び光出力検出器と、前記波長選択光源素子の温度を制御する温度制御部と、を備え

、
前記半導体 D F B レーザ素子の発振波長は、前記波長検出器の検出信号に基づき、前記第1の制御部により供給される第1の駆動電流のみにより制御され、

前記半導体光増幅器から出力される光強度は、前記光出力検出器の検出信号に基づき、
前記半導体光増幅器が飽和状態となりかつ所望の一定値となるように、前記第2の制御部により供給される第2の駆動電流により制御され、

前記発振波長が制御されている間の前記波長選択光源素子の温度は、前記温度制御部により一定に制御され、

前記発振波長と前記光強度と前記波長選択光源素子の温度とがそれぞれ独立に制御されることを特徴とする波長可変光源。

【請求項2】

前記第1の制御部が、

前記半導体 D F B レーザ素子の発振波長に対応した駆動電流値を記憶するメモリと、
発振波長に対応した駆動電流値をステップ状に変化させて前記半導体 D F B レーザへ駆

10

20

動電流値を供給するスイッチング手段と、を備え、

前記メモリに記憶された駆動電流値に基づいて発振波長の切替を実行することを特徴とする請求項 1 に記載の波長可変光源。

【請求項 3】

前記波長選択光源素子が、N 本の波長可変な半導体 DFB レーザ素子と半導体増幅器とを (1 × N) 光合波器を介して接続させて同一基板上に集積化したものであることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の波長可変光源。

【請求項 4】

前記波長選択光源素子を構成する N 本の半導体 DFB レーザ素子の各々の発振波長は、互いに隣接する発振波長が所定の間隔となるように予め駆動電流値が調整され、

前記駆動電流値を各波長毎に記憶する回路をさらに備えることを特徴とする請求項 3 に記載の波長可変光源。

【請求項 5】

前記所定の間隔が、WDM システムのグリッド波長の間隔であることを特徴とする請求項 4 に記載の波長可変光源。

【請求項 6】

前記 N 本の半導体 DFB レーザ素子の標準動作電流での各発振波長の間隔が前記グリッド波長の間隔と等しくなるように設計されており、標準動作電流で実動作させたときの各発振波長の前記グリッド波長からのずれ量が全体で最小となるように、前記波長選択光源素子の温度が一定に制御されることを特徴とする請求項 5 に記載の波長可変光源。

【請求項 7】

前記第 1 の制御部および第 2 の制御部は、前記半導体 DFB レーザ素子の発振波長を切替える際に、該切替時から所定時間制御を中断するように、制御遅延時間設定が可能なデジタル制御方式の回路を備えていることを特徴とする請求項 2 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の波長可変光源。

【請求項 8】

請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の波長可変光源と、該波長可変光源からの出力光を光伝送手段に光学的に結合させる光結合手段とを備えていることを特徴とする光送信器。

【請求項 9】

波長可変な半導体 DFB レーザ素子と半導体増幅器とを同一基板上に集積化した波長選択光源素子と、前記半導体 DFB レーザ素子に接続された第 1 の制御部と、前記半導体光増幅器に接続された第 2 の制御部と、前記半導体光増幅器の出射側に配置された、波長検出器及び光出力検出器と、前記波長選択光源素子の温度を制御する温度制御部と、を備えた波長可変光源を制御するための波長可変光源の制御方法であって、

前記半導体 DFB レーザ素子の発振波長を、前記波長検出器の検出信号に基づき、前記第 1 の制御部により供給される第 1 の駆動電流のみにより制御し、

前記半導体光増幅器から出力される光強度を、前記光出力検出器の検出信号に基づき、前記半導体光増幅器が飽和状態となりかつ所望の一定値となるように、前記第 2 の制御部により供給される第 2 の駆動電流により制御し、

前記発振波長が制御されている間の前記波長選択光源素子の温度を、前記温度制御部により一定に制御し、

前記発振波長と前記光強度と前記波長選択光源素子の温度とをそれぞれ独立に制御することを特徴とする波長可変光源の制御方法。

【請求項 10】

波長可変な半導体 DFB レーザ素子と半導体増幅器とを同一基板上に集積化した波長選択光源素子と、前記半導体 DFB レーザ素子に接続された第 1 の制御部と、前記半導体光増幅器に接続された第 2 の制御部と、前記半導体光増幅器の出射側に配置された、波長検出器及び光出力検出器と、前記波長選択光源素子の温度を制御する温度制御部と、を備え

10

20

30

40

50

前記第1の制御部が、前記半導体DFBレーザ素子の発振波長に対応した駆動電流値を記憶するメモリと、発振波長に対応した駆動電流値をステップ状に変化させて前記半導体DFBレーザへ駆動電流値を供給するスイッチング手段と、を備えた波長可変光源を制御するための波長可変光源の制御方法であって、

前記半導体DFBレーザ素子の発振波長を、前記メモリに記憶された駆動電流値に基づいて切替えると共に、前記波長検出器の検出信号に基づき、前記第1の制御部により供給される第1の駆動電流のみにより制御し、

前記半導体光増幅器から出力される光強度を、前記光出力検出器の検出信号に基づき、前記半導体光増幅器が飽和状態となりかつ所望の一定値となるように、前記第2の制御部により供給される第2の駆動電流により制御し、

前記発振波長が制御されている間の前記波長選択光源素子の温度を、前記温度制御部により一定に制御し、

前記発振波長と前記光強度と前記波長選択光源素子の温度とをそれぞれ独立に制御することを特徴とする波長可変光源の制御方法。

【請求項11】

前記波長選択光源素子が、N本の波長可変な半導体DFBレーザ素子と半導体増幅器とを $(1 \times N)$ 光合波器を介して接続させて同一基板上に集積化したものであることを特徴とする請求項9または10に記載の波長可変光源の制御方法。

【請求項12】

前記波長選択光源素子を構成するN本の半導体DFBレーザ素子の各々の発振波長を、互いに隣接する発振波長が所定の間隔となるように予め駆動電流値を調整することを特徴とする請求項11に記載の波長可変光源の制御方法。

【請求項13】

前記所定の間隔を、WDMシステムのグリッド波長の間隔とすることを特徴とする請求項12に記載の波長可変光源の制御方法。

【請求項14】

波長可変な半導体DFBレーザ素子と半導体増幅器とを同一基板上に集積化した波長選択光源素子と、前記半導体DFBレーザ素子に接続された第1の制御部と、前記半導体光増幅器に接続された第2の制御部と、前記半導体光増幅器の出射側に配置された、波長検出器及び光出力検出器と、前記波長選択光源素子の温度を制御する温度制御部と、を備え

、前記波長選択光源素子が、N本の波長可変な半導体DFBレーザ素子と半導体増幅器とを $(1 \times N)$ 光合波器を介して接続させて同一基板上に集積化したものであり、

前記N本の半導体DFBレーザ素子の標準動作電流での各発振波長の間隔がWDMシステムのグリッド波長の間隔と等しくなるように設計されており、

前記第1の制御部が、前記半導体DFBレーザ素子の発振波長に対応した駆動電流値を記憶するメモリと、発振波長に対応した駆動電流値をステップ状に変化させて前記半導体DFBレーザへ駆動電流値を供給するスイッチング手段と、を備えた波長可変光源を制御するための波長可変光源の制御方法であって、

前記N本の半導体DFBレーザ素子を標準動作電流で実動作させたときの各発振波長の前記グリッド波長からのずれ量が全体で最小となる素子温度を探して動作素子温度とし、

前記動作素子温度での前記N本の半導体DFBレーザ素子の所望の発振波長に対応した駆動電流を前記メモリに記憶し、

前記半導体DFBレーザ素子の発振波長を、前記メモリに記憶された駆動電流値に基づいて切替えると共に、前記波長検出器の検出信号に基づき、前記第1の制御部により供給される第1の駆動電流のみにより制御し、

前記半導体光増幅器から出力される光強度を、前記光出力検出器の検出信号に基づき、前記半導体光増幅器が飽和状態となりかつ所望の一定値となるように、前記第2の制御部により供給される第2の駆動電流により制御し、

前記発振波長が制御されている間の前記波長選択光源素子の温度を、前記温度制御部に

10

20

30

40

50

より前記動作素子温度で一定になるように制御し、

前記発振波長と前記光強度と前記波長選択光源素子の温度とをそれぞれ独立に制御することを特徴とする波長可変光源の制御方法。

【請求項 15】

前記半導体 DFB レーザ素子の発振波長を切替える際に、該切替時から所定時間の間、前記第 1 の制御部および第 2 の制御部の制御を中断することを特徴とする請求項 10 乃至 14 のいずれか 1 項に記載の波長可変光源の制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

10

本発明は、光通信システムで用いられる波長可変光源および光送信器に関し、より詳細には、波長切替動作の高速化を可能とした波長可変光源およびこれを備えた光送信器に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、インターネットの普及などによって高速な光通信を可能とする技術開発の要求性が高まってきている。光通信容量の拡大を可能とするためには、一般に、複数の半導体レーザダイオード (LD) を用いて複数の波長の光を高密度に多重化した光通信システムである波長分割多重通信 (WDM) システムが用いられる。

【0003】

20

WDM システムにおいて波長多重化のために用いられる半導体レーザは、一定間隔 (50 GHz ~ 400 GHz 間隔程度) の複数の発振波長の光が、それらの波長と強度の双方において高精度かつ安定に発振するものであることが求められる。

【0004】

そのための安定化技術の一例が、特許文献 1 に記載されている。この技術は、波長可変半導体レーザ素子の周辺部にエタロン素子やそれと同等の透過特性を示すフィルタ素子を配置し、半導体レーザから出射する光の一部を光検知器でモニタ (直接モニタ) して APC 回路で APC 制御を行うとともに、出射光の他の一部を波長に対して透過率が変化するフィルタを通して上記光検出器とは別個に設けた光検出器でモニタし、この出力と直接モニタの出力とを用いて波長変動を検出しつつ、AFC 回路で AEC 制御を行うというものである。すなわちこの方法では、半導体レーザから出射される光の発振波長と光出力強度をそれぞれ独立に監視し、その監視の結果を、光出力はレーザ駆動電流に、発振波長はレーザ素子の下部に取り付けられた電子冷却温度制御素子に負帰還制御をかけることで安定化を実現するという方法である。

30

【0005】

また、光交換やネットワーク制御の分野においても、光切替部において波長フィルタ型分波器やアレイ型導波回折格子 (AWG) 分波器を多段に組み合わせ、フィルタを通過する光の波長を可変とすることで、光の通信先を任意に切替える技術やシステムが提案されている。このような、システムに用いられる光源には、より高速に波長可変を実行可能とする機能が要求され、そのための技術としては、分布反射型レーザ・ツインガイドレーザなどが提案されている。(非特許文献 1 および非特許文献 2 参照)。

40

【0006】

さらに近年では、DFB アレイ型波長選択レーザ (DFB-WSL) といわれるレーザが開発された (非特許文献 3 参照)。このレーザは、数本の分布帰還型 (DFB) レーザをアレイ化し、このアレイの先に集積した合波器を設けて 1 本のファイバに光結合させるタイプのレーザである。このタイプのレーザでは、素子温度を約 30 程度可変させることにより、アレイ化された各 DFB レーザの発振波長の可変範囲が重ならないように 3 nm 程度の波長間隔に割り付けられる。この DFB-WSL は全体として 25 nm 程度の波長可変範囲を有しており、従来の DFB レーザ並みに波長可変範囲を拡大した集積型レーザとして期待されている。

50

【 0 0 0 7 】

しかしながら、素子の信頼性や波長の安定性に優れた DFB - WSL タイプのレーザ素子においても、波長可変機能や波長切替機能は、従来より提案されている制御方法であるところの素子温度可変による制御によって実現されているのが一般的であり、このため、波長可変速度の高速化が困難であり通常は数秒程度の時間を必要とする。このような理由によって、DFB - WSL タイプのレーザ素子の主な用途は、波長可変速度が比較的遅くてもかまわないバックアップレーザなどに限られるという結果となっている。

【 0 0 0 8 】

【特許文献 1】特開 2 0 0 2 - 1 8 5 0 7 4 号公報

【非特許文献 1】Y. Tohmori and M. Oishi, "1.55 μm Butt-Jointed Distributed Bragg Reflector Lasers Grown Entirely by Low-Pressure MOVPE", Japanese Journal of Applied Physics, vol. 27, No. 4, April, 1988, pp.L693-695.

【非特許文献 2】T. Wolf et al., "Tunable twin-guide (TTG) distributed feedback (DFB) laser with over 10nm continuous tuning range", Electronic Letters, vol. 29, no. 24, pp.2124 (1993).

【非特許文献 3】M. Bouda et al., "Compact High-Power Wavelength Selectable Lasers for WDM Applications", Technical Digest of OFC 2000, 178/TuL1-1 (2000).

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 9 】

本発明はこのような問題に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、半導体 DFB レーザの波長切替動作を温度可変制御によることなく可能とし、これにより波長切替動作の高速化を可能とした波長可変光源およびこれを備えた光送信器を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 0 】

本発明は、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、波長可変な半導体 DFB レーザ素子と半導体増幅器とを同一基板上に集積化した波長選択光源素子と、前記半導体 DFB レーザ素子に接続された第 1 の制御部と、前記半導体増幅器に接続された第 2 の制御部と、前記半導体増幅器の出射側に配置された、波長検出器及び光出力検出器と、前記波長選択光源素子の温度を制御する温度制御部と、を備え、前記半導体 DFB レーザ素子の発振波長は、前記波長検出器の検出信号に基づき、前記第 1 の制御部により供給される第 1 の駆動電流のみにより制御され、前記半導体増幅器から出力される光強度は、前記光出力検出器の検出信号に基づき、前記半導体増幅器が飽和状態となりかつ所望の一定値となるように、前記第 2 の制御部により供給される第 2 の駆動電流により制御され、前記発振波長が制御されている間の前記波長選択光源素子の温度は、前記温度制御部により一定に制御され、前記発振波長と前記光強度と前記波長選択光源素子の温度とがそれぞれ独立に制御されることを特徴とする。

【 0 0 1 1 】

請求項 2 に記載の発明は、請求項 1 に記載の波長可変光源において、前記第 1 の制御部が、前記半導体 DFB レーザ素子の発振波長に対応した駆動電流値を記憶するメモリと、発振波長に対応した駆動電流値をステップ状に変化させて前記半導体 DFB レーザへ駆動電流値を供給するスイッチング手段と、を備え、前記メモリに記憶された駆動電流値に基づいて発振波長の切替を実行することを特徴とする。

【 0 0 1 2 】

請求項 3 に記載の発明は、請求項 1 または 2 に記載の波長可変光源において、前記波長選択光源素子が、N 本の波長可変な半導体 DFB レーザ素子と半導体増幅器とを (1 \times N) 光合波器を介して接続させて同一基板上に集積化したものであることを特徴とする。

【 0 0 1 3 】

請求項 4 に記載の発明は、請求項 3 に記載の波長可変光源において、前記波長選択光源

10

20

30

40

50

素子を構成するN本の半導体DFBレーザ素子の各々の発振波長は、互いに隣接する発振波長が所定の間隔となるように予め駆動電流値が調整され、前記駆動電流値を各波長毎に記憶する回路をさらに備えることを特徴とする。

【0014】

請求項5に記載の発明は、請求項4に記載の波長可変光源において、前記所定の間隔が、WDMシステムのグリッド波長の間隔であることを特徴とする。

【0015】

請求項6に記載の発明は、請求項5に記載の波長可変光源において、前記N本の半導体DFBレーザ素子の標準動作電流での各発振波長の間隔が前記グリッド波長の間隔と等しくなるように設計されており、標準動作電流で実動作させたときの各発振波長の前記グリッド波長からのずれ量が全体で最小となるように、前記波長選択光源素子の温度が一定に制御されることを特徴とする。

10

請求項7に記載の発明は、請求項2乃至6のいずれか1項に記載の波長可変光源において、前記第1の制御部および第2の制御部は、前記半導体DFBレーザ素子の発振波長を切替える際に、該切替時から所定時間制御を中断するように、制御遅延時間設定が可能なデジタル制御方式の回路を備えていることを特徴とする。

請求項8に記載の発明は、光通信器であって、請求項1乃至7のいずれか1項に記載の波長可変光源と、該波長可変光源からの出力光を光伝送手段に光学的に結合させる光結合手段とを備えていることを特徴とする。

請求項9に記載の発明は、波長可変な半導体DFBレーザ素子と半導体増幅器とを同一基板上に集積化した波長選択光源素子と、前記半導体DFBレーザ素子に接続された第1の制御部と、前記半導体光増幅器に接続された第2の制御部と、前記半導体光増幅器の出射側に配置された、波長検出器及び光出力検出器と、前記波長選択光源素子の温度を制御する温度制御部と、を備えた波長可変光源を制御するための波長可変光源の制御方法であって、前記半導体DFBレーザ素子の発振波長を、前記波長検出器の検出信号に基づき、前記第1の制御部により供給される第1の駆動電流のみにより制御し、前記半導体光増幅器から出力される光強度を、前記光出力検出器の検出信号に基づき、前記半導体光増幅器が飽和状態となりかつ所望の一定値となるように、前記第2の制御部により供給される第2の駆動電流により制御し、前記発振波長が制御されている間の前記波長選択光源素子の温度を、前記温度制御部により一定に制御し、前記発振波長と前記光強度と前記波長選択光源素子の温度とをそれぞれ独立に制御することを特徴とする。

20

30

請求項10に記載の発明は、波長可変な半導体DFBレーザ素子と半導体増幅器とを同一基板上に集積化した波長選択光源素子と、前記半導体DFBレーザ素子に接続された第1の制御部と、前記半導体光増幅器に接続された第2の制御部と、前記半導体光増幅器の出射側に配置された、波長検出器及び光出力検出器と、前記波長選択光源素子の温度を制御する温度制御部と、を備え、前記第1の制御部が、前記半導体DFBレーザ素子の発振波長に対応した駆動電流値を記憶するメモリと、発振波長に対応した駆動電流値をステップ状に変化させて前記半導体DFBレーザへ駆動電流値を供給するスイッチング手段と、を備えた波長可変光源を制御するための波長可変光源の制御方法であって、前記半導体DFBレーザ素子の発振波長を、前記メモリに記憶された駆動電流値に基づいて切替えると共に、前記波長検出器の検出信号に基づき、前記第1の制御部により供給される第1の駆動電流のみにより制御し、前記半導体光増幅器から出力される光強度を、前記光出力検出器の検出信号に基づき、前記半導体光増幅器が飽和状態となりかつ所望の一定値となるように、前記第2の制御部により供給される第2の駆動電流により制御し、前記発振波長が制御されている間の前記波長選択光源素子の温度を、前記温度制御部により一定に制御し、前記発振波長と前記光強度と前記波長選択光源素子の温度とをそれぞれ独立に制御することを特徴とする。

40

請求項11に記載の発明は、請求項9または10に記載の波長可変光源の制御方法であって、前記波長選択光源素子が、N本の波長可変な半導体DFBレーザ素子と半導体増幅器とを(1×N)光合波器を介して接続させて同一基板上に集積化したものであることを

50

特徴とする。

請求項 1 2 に記載の発明は、請求項 1 1 に記載の波長可変光源の制御方法であって、前記波長選択光源素子を構成する N 本の半導体 D F B レーザ素子の各々の発振波長を、互いに隣接する発振波長が所定の間隔となるように予め駆動電流値を調整することを特徴とする。

請求項 1 3 に記載の発明は、請求項 1 2 に記載の波長可変光源の制御方法であって、前記所定の間隔を、W D M システムのグリッド波長の間隔とすることを特徴とする。

請求項 1 4 に記載の発明は、波長可変な半導体 D F B レーザ素子と半導体増幅器とを同一基板上に集積化した波長選択光源素子と、前記半導体 D F B レーザ素子に接続された第 1 の制御部と、前記半導体光増幅器に接続された第 2 の制御部と、前記半導体光増幅器の出射側に配置された、波長検出器及び光出力検出器と、前記波長選択光源素子の温度を制御する温度制御部と、を備え、前記波長選択光源素子が、N 本の波長可変な半導体 D F B レーザ素子と半導体増幅器とを $(1 \times N)$ 光合波器を介して接続させて同一基板上に集積化したものであり、前記 N 本の半導体 D F B レーザ素子の標準動作電流での各発振波長の間隔が W D M システムのグリッド波長の間隔と等しくなるように設計されており、前記第 1 の制御部が、前記半導体 D F B レーザ素子の発振波長に対応した駆動電流値を記憶するメモリと、発振波長に対応した駆動電流値をステップ状に変化させて前記半導体 D F B レーザへ駆動電流値を供給するスイッチング手段と、を備えた波長可変光源を制御するための波長可変光源の制御方法であって、前記 N 本の半導体 D F B レーザ素子を標準動作電流で実動作させたときの各発振波長の前記グリッド波長からのずれ量が全体で最小となる素子温度を探して動作素子温度とし、前記動作素子温度での前記 N 本の半導体 D F B レーザ素子の所望の発振波長に対応した駆動電流を前記メモリに記憶し、前記半導体 D F B レーザ素子の発振波長を、前記メモリに記憶された駆動電流値に基づいて切替えると共に、前記波長検出器の検出信号に基づき、前記第 1 の制御部により供給される第 1 の駆動電流のみにより制御し、前記半導体光増幅器から出力される光強度を、前記光出力検出器の検出信号に基づき、前記半導体光増幅器が飽和状態となりかつ所望の一定値となるように、前記第 2 の制御部により供給される第 2 の駆動電流により制御し、前記発振波長が制御されている間の前記波長選択光源素子の温度を、前記温度制御部により前記動作素子温度で一定になるように制御し、前記発振波長と前記光強度と前記波長選択光源素子の温度とをそれぞれ独立に制御することを特徴とする。

請求項 1 5 に記載の発明は、請求項 1 0 乃至 1 4 のいずれか 1 項に記載の波長可変光源の制御方法であって、前記半導体 D F B レーザ素子の発振波長を切替える際に、該切替時から所定時間の間、前記第 1 の制御部および第 2 の制御部の制御を中断することを特徴とする。

【発明の効果】

【0016】

本発明の波長可変光源の構成では、D F B レーザ素子の光出力端側に半導体光増幅器 (S O A) を備えているために、光出力強度は S O A 駆動電流で、発振波長は D F B レーザ駆動電流で、それぞれ独立に制御することが可能となる。すなわち、波長切替動作は基本的にレーザ駆動電流のみで実行することが可能となるため、波長切替の際にレーザ素子の温度制御が不要となり、高速化が可能となる。

【0017】

すなわち、本発明により、波長切替動作の高速化を可能とした波長可変光源およびこれを備えた光送信器を提供することが可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0018】

本発明では、W D M 光通信の波長可変光源および光送信器の光源として、半導体増幅器と D F B レーザとを同一基板上に集積させた構造 (第 1 構造)、または、半導体光増幅器と N 本の分布帰還形 (D F B) 半導体レーザ (波長選択型レーザ: W S L) とを $1 \times N$ の光合波器を介して接続させて集積化した構造 (第 2 構造)、が採用されている。なお、

これらの構造を有するレーザ素子の外部（または光源モジュール内部）には、レーザ素子から出射される光の波長と出力とを同時にモニタするための波長ロッカーなどの波長モニタ手段が備えられている。

【0019】

以下に、図面を参照して本発明を実施するための最良の形態について説明する。

図1は、本発明の波長可変光源の第1のレーザ素子構造の例を説明するための図で、基板11に設けられた導波路12上に、 $\lambda/4$ シフトDFBレーザ13とSOA14が集積化された構造（第1構造）とされている。 $\lambda/4$ シフトDFBレーザ13から出射された光は導波路12を伝搬してSOA14へ入射し光増幅をされて光出力部15から出力される構成となっている。

10

【0020】

図2は、本発明の波長可変光源の第2のレーザ素子構造の例を説明するための図で、DFBレーザアレイ型波長選択光源素子（DFB-WSL）を構成している。この素子構造は、基板21に複数（N本）の $\lambda/4$ シフトDFBレーザで構成される $\lambda/4$ シフトDFBレーザアレイ23と（ $1 \times N$ ）の光合波器26とSOA24とがこの順序で配置され、 $\lambda/4$ シフトDFBレーザアレイ23と光合波器26とがアレイ導波路22aにより、光合波器26とSOA24とが導波路22bにより、光学的に結合され、 $\lambda/4$ シフトDFBレーザアレイ23を構成する各 $\lambda/4$ シフトDFBレーザから出射されたレーザ光は光合波器26により合波されてSOA24に入力され、光増幅されて光出力部25から出力される構成となっている。これらの素子構造に共通する特徴は、SOAとDFBレーザと

20

【0021】

図3（a）および（b）は、図1に示したようなSOAとDFBレーザとを集積化した場合に得られる光電気特性の代表的な例を説明するための図である。図3（a）はSOAに一定電流を通電しながらDFBレーザに流す電流を0mAから350mAまで変化させた場合の光出力を示す図で、SOA電流を100mA一定とした場合の光出力はレーザ電流約50mAでほぼ飽和し、これ以上のレーザ電流を流しても光出力は一定値を保つこととなる。また、図3（b）はレーザ電流を一定としてSOA電流を可変させた場合の光出力特性を説明するための図で、この場合にはSOAの駆動電流の増大に応じて光出力が単調に増大することがわかる。

30

【0022】

このような光電気特性は、レーザ素子の光出力はSOA電流のみで概ね制御可能なことを意味している。具体的には、DFBレーザの駆動電流による波長可変効率は約0.5G/mAであるから、図3（a）に示した光出力特性から、SOA電流を一定に保った場合には、レーザ電流を50mAから350mAまで100mAごとに電流を切り替えることにより、光出力を略10mW一定に保ちながら、波長を50GHz間隔で3chの可変が可能である。

【0023】

このとき、レーザ駆動電流に対する光の波長の応答時定数は約10kHz程度の応答速度があり、そのため、約1ミリ秒での波長切替が可能となり、従来の技術の数千分の1程度までの高速化が可能になる。なお、このとき、レーザの駆動電流の増大に伴う素子内部の熱量変化により温度制御が作用し始め、素子温度が変動してその温度変動に波長が追従して変動することとなるが、この変動速度は数100ミリ秒程度の遅れがあるため、波長変動を素子外部に設けた波長ロッカーなどの波長モニタ手段を用いてレーザ駆動電流に負帰還制御を行うことにより、波長を一定に保つことができる。また、レーザの電流量が変動したとしても、光出力はSOA電流の制限により飽和状態にあるため（図3（a）参照）、光出力の変動はきわめて小さい。このため、光出力変動を外部からモニタしている光出力モニタの応答を、負帰還制御回路によるSOAの駆動電流の帰還制御に用いることにより十分な精度の制御が可能である。さらに、SOAの光強度制御の時定数は数100MHz程度であり、高速の波長切替を行った場合でも、光出力を一定に保つための制御が十

40

50

分に可能である。

【 0 0 2 4 】

本発明では、図 2 に示すように、D F B アレイ型波長選択光源 (D F B - W S L) 素子構造とすることもできる。このタイプの素子もまた S O A を備えているために、上記と同様の制御が可能であることに加え、D F B - W S L にはアレイ配置の複数の D F B レーザが備えられているために、各レーザの発振波長の相対波長間隔を例えば 1 0 0 G H z 間隔の波長グリッド間隔に固定した設計としたり、あるいは、使用する不等間隔の波長に合わせて設計 (例えば、使用する波長間隔が、2 0 0 G H z、3 0 0 G H z、4 0 0 G H z である場合は、所望の間隔に固定) することにより、波長切替速度をさらに向上させることが可能である。

10

【 0 0 2 5 】

アレイ状に集積した各 D F B レーザの波長の全てが、+ / - 2 0 m A 以内の誤差で一定とみなせる駆動電流値において、用いる (I T U - T のグリッドなど) 波長に一致していれば、各 D F B レーザへの駆動電流を切替える際に発生する熱量変化は少なく、波長を迅速かつ安定に切替えることができ、その速度は 1 ミリ秒以下となる。

【 0 0 2 6 】

また、既に説明したように、駆動電流を段階的に変化させる方法とアレイ素子間の駆動電流を切替える方法とを併用することとすれば、N 本 (図 2 では 8 本) の D F B レーザを集積したアレイ型の D F B - W S L において、1 本あたり 3 c h として最大 3 N c h (図 2 の構成では 2 4 c h) の波長切り替えが可能になる。この場合においても、波長制御は全てレーザの駆動電流制御であるため、1 0 ミリ秒程度の波長切替え速度を確保することができる。

20

【 0 0 2 7 】

これまで説明してきた波長可変速度の高速化という特長は、上述した第 1 の構成または第 2 の構成を採用することによりレーザおよび S O A への電流帰還回路のみを用いて発振波長と光出力の安定化制御を可能としこれにより安定化制御のための温度調節回路を不用としたこと、および、第 2 の構成においてアレイ状の集積型レーザの各発振波長間隔を調整して設計したこと、により得られるものである。

【 0 0 2 8 】

すなわち、本発明の波長可変光源の構成では、D F B レーザ素子の光出力端側に S O A を備えているために、光出力強度は S O A 駆動電流で、発振波長は D F B レーザ駆動電流で、それぞれ独立に制御することが可能となり、波長切替動作は基本的にレーザ駆動電流のみで実行することが可能となるため、波長切替の際にレーザ素子の温度制御が不要となり、高速化が可能となる。

30

【 0 0 2 9 】

以下に、本発明の波長可変光源およびこれを備えて構成された光送信器の実施例について説明する。

【 実施例 】

【 0 0 3 0 】

図 4 は、本発明の波長可変光源および光送信器の構成を説明するための図である。光モジュール 1 0 0 の内部には、図 2 に示した構成を有する 8 c h の D F B アレイ型波長選択レーザ素子 1 0 1 が電子冷却素子 1 0 2 の上に搭載されており、電子冷却素子 1 0 2 の上面の D F B アレイ型波長選択レーザ素子 1 0 1 の近傍には、D F B アレイ型波長選択レーザ素子 1 0 1 の温度を監視するための温度検出素子 1 0 3 が配置されている。

40

【 0 0 3 1 】

D F B アレイ型波長選択レーザ素子 1 0 1 からの光出力は、S O A 2 4 から出射され、光モジュール 1 0 0 の内部に設けられたレンズ 1 0 4 と光アイソレータ 1 0 5 を順次通過して、第 1 のビームスプリッタ 1 0 6 a により約 1 % の光量の光が波長検出器 1 0 7 に、第 2 のビームスプリッタ 1 0 6 b により同じく約 1 % の光量の光が光出力検出器 1 0 8 に分配される。残りの約 9 8 % の光量の光はレンズ 1 0 9 により集光されて光ファイバ 1 1

50

0に光結合される。なお、第1のビームスプリッタ106aと波長検出器107とを結ぶ光路中にはエタロンフィルタ111が配置されている。

【0032】

制御部200内には、制御用CPUおよびデータメモリを備える演算部201と、この演算部201からの信号に基づいて作動するATC(Automatic Temperature Control)回路202、AFC(Automatic Frequency Control)回路203、APC(Automatic Power Control)回路204およびレーザチャンネル切替回路211が設けられている。

【0033】

制御部200には、光モジュール100との接続のために、電子冷却素子102への電流供給を行うための電子冷却素子用端子205、温度検出素子103からの出力をATC回路202に inputs するための温度検出素子用端子206、レーザチャンネル切替回路211により選択された半導体レーザに電流供給を行うための半導体レーザアレイ用端子207、波長検出器107からの出力をAFC回路203に inputs するための波長検出器用端子208、APC回路204を介してSOA24に電流供給するためのSOA用端子209、および、光出力検出器108からの出力をAPC回路204に inputs するための光出力検出器用端子210、が設けられている。

【0034】

半導体レーザアレイ23への電流供給は、AFC回路203が備える電流源(不図示)によりなされる。すなわち、レーザチャンネル切替回路211によって駆動レーザチャンネルが選択され、半導体レーザアレイ用端子207を介して半導体レーザアレイ23への電源供給がなされる。また、SOA24への電流供給は、APC回路204内に備えられている電流源(不図示)によりSOA用端子209を介してなされる。

【0035】

波長安定化制御は、波長検出器107の検出信号を波長検出器用端子208を介してAFC回路203に戻す帰還制御により実行される。同様に、光出力の安定化制御は、光出力検出器108の検出信号を光出力検出器用端子210を介してAPC回路204に戻す帰還制御により行われる。さらに、波長選択型レーザ素子101の温度制御は、温度検出素子103からの検出信号を温度検出素子用端子206を介してATC回路202に帰還することで行われる。

【0036】

この図に示した構成の特徴は、ATC回路202による温度制御が、AFC回路203による波長制御およびAPC回路204による光出力制御とは完全に切り離れて独立して実行されるように構成されている点にある。なお、図4に示した光源は上述した第2構造(図2)としたが、図1に示したようにSOAを備えたDFBレーザの素子構成(第1構造)としてもよいことは既に説明したとおりである。

【0037】

本発明によってこのような特徴を有する構成とすることが可能となるのは、既に説明した、構半導体増幅器とDFBレーザとを同一基板上に集積させた構造(第1構造)、または、半導体光増幅器とN本の分布帰還形(DFB)半導体レーザ(波長選択型レーザ:WSEL)とを1×Nの光合波器を介して接続させて集積化した構造(第2構造)、という基本構造を採用しているからであり、このような基本構造が基礎となっはじめて、温度制御系を波長制御系ならびに光出力制御系と切り離すことが可能となり、その結果、各々の制御の安定化と高速化を図ることができることになる。

【0038】

以下に、本発明の波長可変光源のより具体的な動作について、図4に基づいて説明する。光源の動作は制御用CPUおよびデータメモリを備える演算部201によって総合的に制御される。

【0039】

先ず、半導体レーザアレイ23の8本のDFBレーザ素子の各動作電流点を演算部201のデータメモリに記憶する必要がある。この例では、各DFBレーザの発振波長は10

10

20

30

40

50

0 GHz の等間隔で設計されている。SOA24 の動作電流を 100 mA、8 本の各 DFB レーザの標準動作電流を 100 mA として、素子温度 25 で波長を測定し、各レーザの発振波長と ITU の規定による 100 GHz 間隔のグリッド波長からのズレ量を評価する。

【0040】

次に、このズレ量が全体で最小になる素子温度を探して動作素子温度を決め、この温度を記憶する。本実施例の場合には、25.15 で全体のズレ量が最小となった。なお、一度決まった素子温度は、その後、各波長切り替え動作中は変更しないものとする。

【0041】

続いて、各レーザチャンネルにおける発振波長を決める。ch1 から ch8 のレーザの各動作電流は、110.5 mA、118.0 mA、100.00 mA、81.7 mA、100.3 mA、88.8 mA、113.0 mA、102.0 mA で、発振波長が 193.0 THz、193.1 THz、193.2 THz、193.4 THz、193.5 THz、193.6 THz、193.7 THz に ± 0.1 GHz 以内で一致させることができる。

10

【0042】

さらに、各動作電流を、205.4 mA、210.0 mA、198.4 mA、176 mA、185.2 mA、170.1 mA、204.1 mA、189.6 mA とすると、192.95 THz、193.05 THz、193.15 THz、193.25 THz、193.35 THz、193.45 THz、193.55 THz、193.65 THz に一致する。

20

【0043】

また、SOA24 の駆動電流は、70 mA \pm 10 mA 程度で、これらのレーザ動作点において、10 mW の光出力を一定に保つことができた。

【0044】

これらのデータを記憶し、波長切替動作を確認した。その結果を図5および図6に示す。

図5は、チャンネル4と5のチャンネル間の切替えであり、測定の結果、0.1ミリ秒以下の高速切替えが確認された。これは、波長間隔をあらかじめ等間隔に設定したため、各電流量は（たとえばチャンネル4が110.5 mA、チャンネル5が118 mA など）ほぼ同一の値を維持しているために、チャンネル切替え時に発生する熱量の差が小さく、素子温度が迅速に安定化するためである。

30

【0045】

また、図6は、チャンネル1～8の各チャンネルにおいて、駆動電流を2段階に変えながら、8チャンネル切替を行った結果である。この図から、約20ミリ秒程度で ± 1 GHz 以内に安定させることが可能であることが理解できる。

【0046】

ここで、AFC回路203では、波長検出器107の検出信号から負帰還制御を行っている。また、波長検出器107からの応答信号は、切替時から数十マイクロ秒の間、エタロンフィルタ111の特性から、極性が一度反転するポイントをよぎるため（図7参照）この間は制御を中断する必要がある。このような中断を可能にするために、制御ディレイが比較的（アナログ回路に比べ）容易に設定ができるデジタル方式の制御回路によって制御することとしている。本実施例の場合は、制御ディレイ時間はおよそ100マイクロ秒で、波長検出器107からの応答に最適な制御をすることができた。

40

【0047】

以上説明したように、本発明によれば、従来は数秒かかっていた波長切替動作が20ミリ秒にまで高速化可能なことが確認できた。

【産業上の利用可能性】

【0048】

本発明は、光通信システムで用いられる、波長切替動作の高速化を可能とした波長可変

50

光源およびこれを備えた光送信器の提供を可能とする。

【図面の簡単な説明】

【0049】

【図1】本発明の波長可変光源の第1のレーザ素子構造の例を説明するための図である。

【図2】本発明の波長可変光源の第2のレーザ素子構造の例を説明するための図である。

【図3】SOAとDFBレーザとを集積化した場合に得られる光電気特性の代表的な例を説明するための図である。

【図4】本発明の波長可変光源および光送信器の構成を説明するための図である。

【図5】チャンネル4と5のチャンネル間の切替えの様子を説明するための図である。

【図6】チャンネル1～8の各チャンネルにおいて、駆動電流を2段階に変えながら、8チャンネル切替を行った結果を説明するための図である。 10

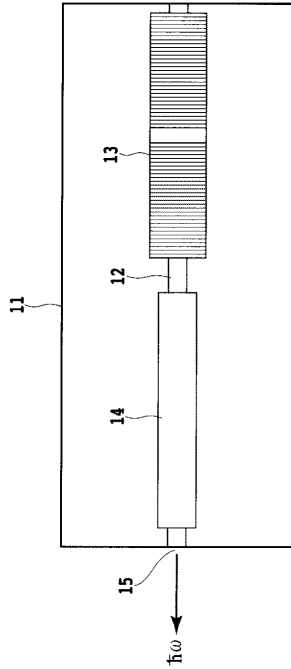
【図7】波長検出器からの応答信号が、切替時から数十マイクロ秒の間、極性が一度反転する様子を説明するための図である。

【符号の説明】

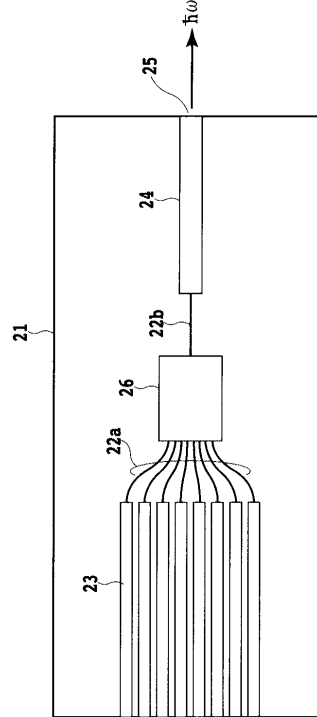
【0050】

- 11、21 基板
- 12、22b 導波路
- 13 / 4シフトDFBレーザ
- 14、24 SOA
- 15 光出力部 20
- 22a アレイ導波路
- 23 / 4シフトDFBレーザアレイ
- 26 光合波器
- 100 光モジュール
- 101 DFBアレイ型波長選択レーザ素子
- 102 電子冷却素子
- 103 温度検出素子
- 104 レンズ
- 105 光アイソレータ
- 106a 第1のビームスプリッタ 30
- 106b 第2のビームスプリッタ
- 107 波長検出器
- 108 光出力検出器
- 109 レンズ
- 110 光ファイバ
- 111 エタロンフィルタ
- 200 制御部
- 201 演算部
- 202 ATC回路
- 203 AFC回路 40
- 204 APC回路
- 205 電子冷却素子用端子
- 206 温度検出素子用端子
- 207 半導体レーザアレイ用端子
- 208 波長検出器用端子
- 209 SOA用端子
- 210 光出力検出器用端子
- 211 レーザチャンネル切替回路

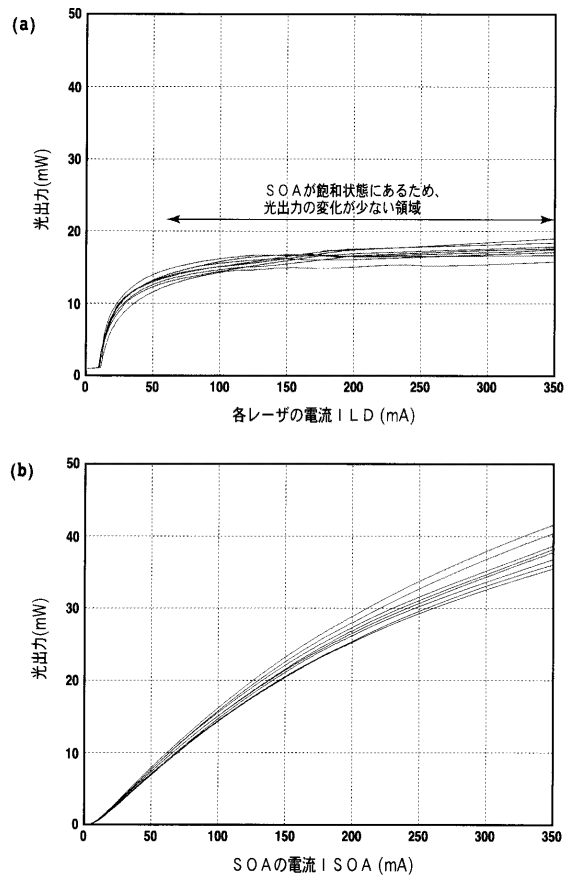
【図 1】



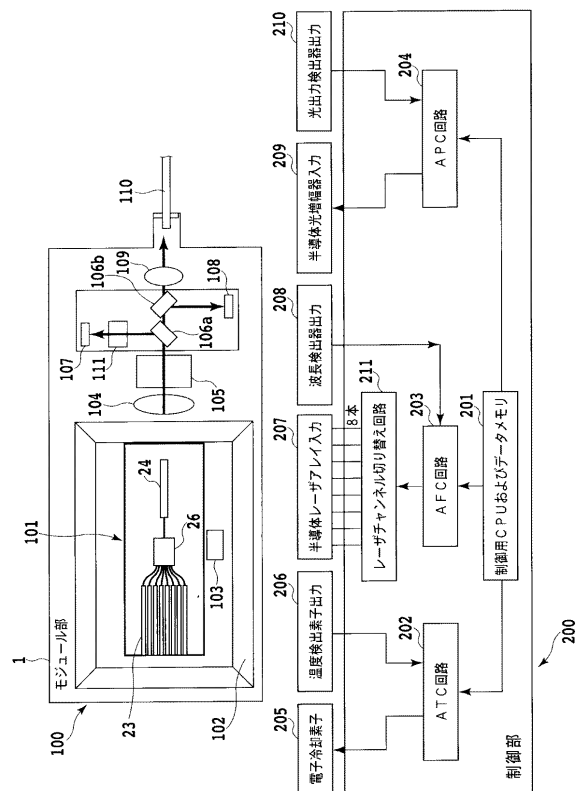
【図 2】



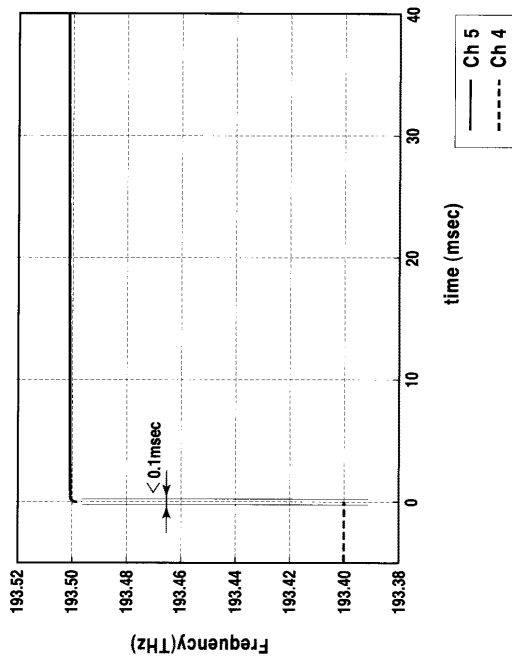
【図 3】



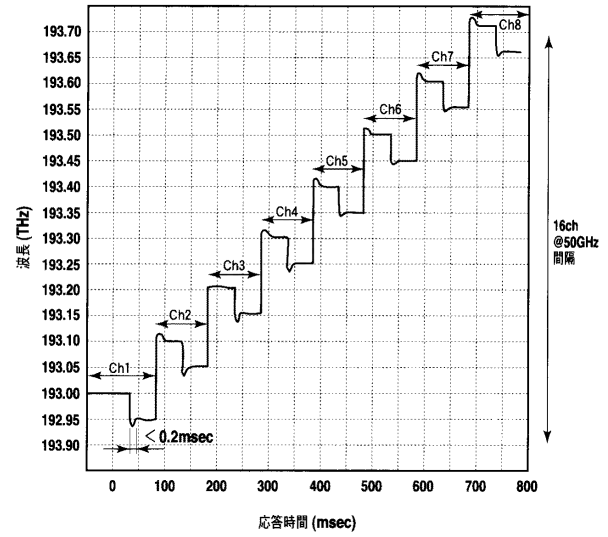
【図 4】



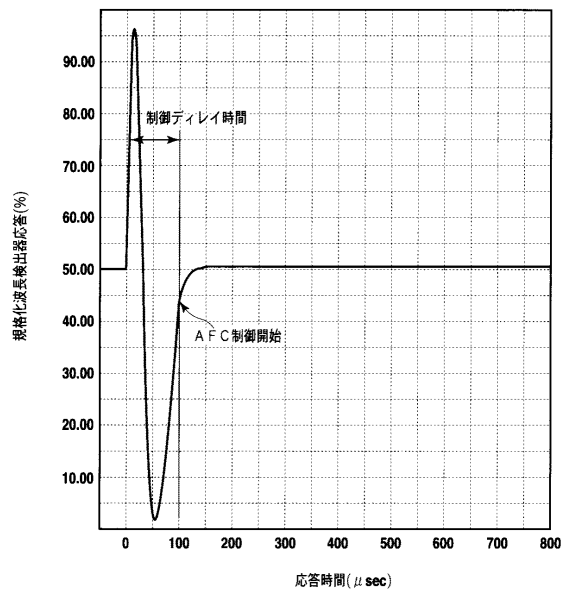
【図 5】



【図 6】



【図 7】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I

H 0 4 B 10/14 (2006.01)

H 0 4 B 10/26 (2006.01)

H 0 4 B 10/28 (2006.01)

H 0 4 B 10/02 (2006.01)

(72)発明者 東盛 裕一

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

審査官 小林 和幸

(56)参考文献 特開2001-251013(JP,A)

特開平05-091052(JP,A)

特開2002-252410(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)

H 0 1 S 5 / 0 0 - 5 / 5 0

H 0 4 B 1 0 / 0 0