

(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2007-194366
(P2007-194366A)

(43) 公開日 平成19年8月2日(2007.8.2)

(51) Int. Cl.

H01S 5/14 (2006.01)

F I

H01S 5/14

テーマコード (参考)

5F173

審査請求 有 請求項の数 6 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2006-10273 (P2006-10273)
(22) 出願日 平成18年1月18日 (2006.1.18)

(71) 出願人 000004226
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 曲 克明
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 柳川 勉
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

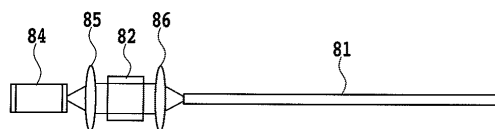
(54) 【発明の名称】 半導体レーザーモジュール

(57) 【要約】

【課題】 狭帯域なスペクトル線幅を得ることができる半導体レーザーモジュールを提供する。

【解決手段】 半導体レーザーダイオード84と光反射器82とを組み合わせた半導体レーザーモジュールにおいて、半導体レーザーダイオード84からの出射光を、平行光に変換するレンズ85と、平行光をファイバに光学的に結合させるレンズ86とを備え、光反射器82は、レンズ85とレンズ86との間の光軸上に配置されている。

【選択図】 図8



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

半導体レーザダイオードと、光反射器とを組み合わせた半導体レーザモジュールにおいて、

前記半導体レーザダイオードからの出射光を、ファイバに光学的に結合させるレンズを備え、

前記光反射器は、前記レンズと前記ファイバとの間の光軸上に配置されていることを特徴とする半導体レーザモジュール。

【請求項 2】

半導体レーザダイオードと、光反射器とを組み合わせた半導体レーザモジュールにおいて、

前記半導体レーザダイオードからの出射光を、平行光に変換する第 1 レンズと、

前記平行光をファイバに光学的に結合させる第 2 レンズとを備え、

前記光反射器は、前記第 1 レンズと前記第 2 レンズとの間の光軸上に配置されていることを特徴とする半導体レーザモジュール。

【請求項 3】

半導体レーザダイオードと、光反射器とを組み合わせた半導体レーザモジュールにおいて、

前記半導体レーザダイオードの出射端面からの出射光を、ファイバに光学的に結合させる第 1 レンズと、

前記出射端面の反対側の端面からの出射光を、平行光に変換する第 2 レンズとを備え、

前記光反射器は、前記平行光を反射することを特徴とする半導体レーザモジュール。

【請求項 4】

前記光反射器は、屈折率がそれぞれ n_1 、 n_2 の 2 つの材料を、設定波長の $1 / (4 n_1)$ 倍と $1 / (4 n_2)$ 倍の厚さで交互に積層されたバルク形状の素子であることを特徴とする請求項 1、2 または 3 に記載の半導体レーザモジュール。

【請求項 5】

前記光反射器は、ファブリペロー共振器であることを特徴とする請求項 1、2 または 3 に記載の半導体レーザモジュール。

【請求項 6】

前記光反射器は、全長が 6 mm 以下、反射帯域幅が 70 pm 以下に設定されていることを特徴とする請求項 4 または 5 に記載の半導体レーザモジュール。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体レーザモジュールに関し、より詳細には、半導体レーザダイオードと光反射器とを組み合わせてモジュール化した半導体レーザモジュールに関する。

【背景技術】

【0002】

近年、光通信システムの通信容量の増大を図るために、波長の異なる複数の光を多重化して伝送する波長分割多重 (WDM) 通信システムが積極的に導入されている。このような WDM 通信システムにおいては、限られた波長数を有効に利用するために、信号波長を任意の信号波長に変換する波長変換素子の実用化が求められている。従来、光の波長を変換する波長変換素子として、半導体光増幅器を応用した素子、四光波混合を利用する素子、二次非線形光学効果の一種である擬似位相整合による第二高調波発生、和周波発生、差周波発生を利用した波長変換素子等が知られている (例えば、特許文献 1 参照)。

【0003】

図 1 に、従来の擬似位相整合型の波長変換素子を用いた波長変換装置の構成を示す。波長変換装置は、波長 λ_A の信号光 A を出力する半導体レーザ 11 と、波長 λ_B の励起光 B を出力する半導体レーザ 12 と、信号光 A と励起光 B とを合波して出力する光カプラ 14

10

20

30

40

50

と、合波された信号光 A と励起光 B とを入力し、波長 λ_c の変換光 C を出力する波長変換素子 13 とから構成されている。半導体レーザ 11, 12 には、それぞれ駆動回路 11a, 12a と温度制御回路 11b, 12b とが接続されている。さらに、半導体レーザ 11 と光プラ 14 との間には、ファイバグレーティング 15 が挿入されている。

【0004】

変換光 C の強度は、信号光 A と励起光 B の強度の積に比例するので、励起光を一定強度にしておけば、信号光 A から変換光 C へ波長のみを変換することができる。例えば、 $\lambda_A = 1.55 \mu\text{m}$ 、 $\lambda_B = 0.98 \mu\text{m}$ のとき、和周波として $\lambda_c = 0.60 \mu\text{m}$ が得られる。また、 $\lambda_A = 1.31 \mu\text{m}$ 、 $\lambda_B = 1.06 \mu\text{m}$ のとき、和周波として $\lambda_c = 0.59 \mu\text{m}$ が得られる。さらに、 $\lambda_A = 1.55 \mu\text{m}$ 、 $\lambda_B = 0.77 \mu\text{m}$ のとき、差周波として $\lambda_c = 1.53 \mu\text{m}$ が得られる。従って、特定の波長を得るためには、信号光 A と励起光 B の波長を厳密に制御する必要がある。

10

【0005】

また、図 2 に、第二高調波発生により $0.53 \mu\text{m}$ の緑色光を得るために、波長変換を行う場合の位相整合曲線を示す。波長変換素子の位相整合帯域は、非常に狭いために、変換光を安定して出力させるためには、単一モードで発振する半導体レーザであることが望ましい。

【0006】

$1.55 \mu\text{m}$ 、 $1.31 \mu\text{m}$ の波長は、光通信で使われている長波長帯であり、半導体レーザとして、DFB レーザダイオードのような単一波長で発振するレーザダイオードを用いることができる。一方、 $0.98 \mu\text{m}$ 、 $1.06 \mu\text{m}$ 、 $0.77 \mu\text{m}$ の短波長帯の波長は、DFB レーザダイオードを作製するのは大変難しくかつ需要も少ないので、半導体レーザとして通常多モード発振のレーザダイオードを用いている。そこで、特定の波長のみを一部反射するファイバグレーティングを、半導体レーザの出力に接続し、出力光の一部を半導体レーザに再注入することにより、発振波長をグレーティング波長で発振するように制御している。

20

【0007】

【特許文献 1】特開 2003 - 140214 号公報

【非特許文献 1】A. Ferrari, et al., "Subkilohertz Fluctuations and Mode Hopping in High-Power Grating-Stabilized 980-nm Pumps," IEEE J. of Lightwave Tech., vol. 20, pp.515-518, 2002/3

30

【非特許文献 2】W. Streifer, et al., "Effect of external reflectors on longitudinal modes of distributed feedback lasers," IEEE J. of Quantum Electronics, vol. 10, pp. 154 - 161, 1975/4

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

半導体レーザダイオード（以下、LD という）とファイバグレーティング（以下、FBG という）とを組み合わせると、FBG を LD より 1 m 程度以上離れた場所に設置して用いられることが多い（例えば、非特許文献 1 参照）。例として、反射帯域 60 pm の FBG を、 976 nm 帯の LD から 1.2 m 離して融着接続した場合、反射帯域の中に 0.27 pm （ 1.2 m の共振間隔に相当）で繰り返し反射ピークが表れることになる。

40

【0009】

図 3 に、従来の半導体レーザダイオードとファイバグレーティングとを組み合わせた光源の出力スペクトルを示す。分解能 10 pm の光スペクトラムアナライザで評価すると、半値幅約 20 pm の単一なスペクトルとして測定される。しかしながら、実際には、半値幅約 20 pm の中は、およそ 70 本ものピークを有したマルチモードの状態になっている。図 4 に、電気スペクトラムアナライザによって測定した結果を示す。 0.27 pm に相当する約 85 MHz の倍数の位置にピークを有している。図 4 の上側は、ピークホールドにより測定した結果、下側は、平均化により測定した結果である。両者が一致しているこ

50

とから、安定なマルチモード状態で発振していることがわかる。

【0010】

波長変換素子を用いて中赤外光を出力する光源は、環境ガスの吸収スペクトルを分析する装置にも用いられる。例えば、ドップラー幅程度の線形吸収を直接観測する場合には、光源に用いる励起光を出力する半導体レーザは、半値幅0.8 pm (250 MHz) 以下の単一なスペクトル線幅を実現する必要がある。

【0011】

半導体レーザのスペクトル幅を単一かつ狭くするために、反射帯域を狭くして、LDとFBGとを近接させて接続する方法が考えられている。図5に、LDとFBGとを近接させた従来の半導体レーザモジュールの構成を示す。ファイバ51の先端付近にFBG52を形成し、LD54と結合する先端部分53を先球形状に加工しておく。FBG52は、光軸が一直線となるように固定しておくことが好ましいので、ファイバ51の先端付近からFBG52を含むように金属製フェルールを付けて半田固定する。この構成によれば、半値幅2 pm以下の特性を実現することができる。しかし、レンズとなる先端部分53とFBG52とを一体化しているために、部品コストが高いという問題があった。また、先端部分53とLD54とは、数 μ m程度まで近づける必要があり、その距離によってモニタ中の特性が変化し、また、作製トレランスが狭いために実装工程が煩雑であるという問題もあった。

10

【0012】

図6に、従来のレンズ結合を用いた半導体レーザモジュールの構成を示す。ファイバ61の先端付近にFBG62を形成し、レンズ65, 66を用いて、LD64と結合させる。レンズ65, 66を用いて結合するので、作製トレランスを大きく取れるので実装工程が容易になる。しかしながら、レンズ65, 66およびFBG62を金属製フェルール内に固定する必要があるため、FBG62の長さは、金属製フェールの長さに制限される。この方法では、FBG62の長さを6 mm程度にしか長くすることができないため、反射帯域を70 pm程度までしか狭くすることができない。

20

【0013】

LDからの出力を増大させるには素子長を長くすることが有効である。そこで、976 nm帯のLDの素子長を2 mmとすると、LDの端面間の共振により、波長スペクトル上に約60 pm間隔でのピークが生じる。このピーク間隔は、FBGの反射帯域よりやや狭くなっていることから、反射帯域内に2つのモードが選択される状態が起こりうる。従って、レンズ結合を用いた素子長の長い半導体レーザモジュールでは、単一モードで安定に動作することができないという問題もあった。

30

【0014】

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、狭帯域なスペクトル線幅を得ることができる半導体レーザモジュールを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0015】

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、半導体レーザダイオードと光反射器とを組み合わせさせた半導体レーザモジュールにおいて、前記半導体レーザダイオードからの出射光を、ファイバに光学的に結合させるレンズを備え、前記光反射器は、前記レンズと前記ファイバとの間の光軸上に配置されていることを特徴とする。

40

【0016】

請求項2に記載の発明は、半導体レーザダイオードと光反射器とを組み合わせさせた半導体レーザモジュールにおいて、前記半導体レーザダイオードからの出射光を、平行光に変換する第1レンズと、前記平行光をファイバに光学的に結合させる第2レンズとを備え、前記光反射器は、前記第1レンズと前記第2レンズとの間の光軸上に配置されていることを特徴とする。

【0017】

請求項3に記載の発明は、半導体レーザダイオードと光反射器とを組み合わせさせた半導体

50

レーザモジュールにおいて、前記半導体レーザダイオードの出射端面からの出射光を、ファイバに光学的に結合させる第1レンズと、前記出射端面の反対側の端面からの出射光を、平行光に変換する第2レンズとを備え、前記光反射器は、前記平行光を反射することを特徴とする。

【0018】

請求項4に記載の発明は、請求項1、2または3に記載の前記光反射器は、屈折率がそれぞれ n_1 、 n_2 の2つの材料を、設定波長の $1/(4n_1)$ 倍と $1/(4n_2)$ 倍の厚さで交互に積層されたバルク形状の素子であることを特徴とする。

【0019】

請求項5に記載の発明は、請求項1、2または3に記載の前記光反射器は、ファブリペロ共振器であることを特徴とする。 10

【0020】

請求項6に記載の発明は、請求項4または5に記載の前記光反射器は、全長が6mm以下、反射帯域幅が70 μ m以下に設定されていることを特徴とする。

【発明の効果】

【0021】

以上説明したように、本発明によれば、ファイバグレーティングに代えて、屈折率の高い光反射器を用いることにより、狭帯域なスペクトル線幅を得ることが可能となる。

【0022】

また、本発明によれば、半導体レーザモジュールを、波長変換素子を用いて中赤外光を出力する光源励起レーザとして用いることにより、変換光を安定して出力させることができる。従って、環境ガスの吸収スペクトルを分析する装置にも適用することができる。 20

【発明を実施するための最良の形態】

【0023】

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。

光反射器としてグレーティング構造を考えると、反射帯域を計算することができる(例えば、非特許文献2参照)。波長976nmとして、反射帯域幅 s_B と、グレーティングにおける凹凸部の屈折率変動値 n との関係を、図7に示す。縦軸は、反射帯域幅 s_B を μ m単位で表し、光反射器の長さ L (単位: mm)と、光反射器の2つの材料の屈折率の平均値 n とを掛け合わせた値である。横軸は、屈折率変動値 n に L を掛け合わせた値である。 30

【0024】

ここで、 $s_B = 70 \mu\text{m}$ として $L = 6 \text{ mm}$ 、 $n = 1.45$ を代入すると、縦軸の値は、 $610 \mu\text{m} \cdot \text{mm}$ となる。このとき、横軸の値は 4×10^{-5} になり、 $n = 6.7 \times 10^{-6}$ となる。すなわち、屈折率変動値と光反射器の長さを決めると、ファイバのコアの屈折率と反射帯域幅の積が固定になる。このことから、同じ屈折率変動値であれば、 n を大きくすることにより、同じ長さの光反射器でも反射帯域幅を狭くすることができる。

【0025】

そこで、ファイバグレーティングに代えて、屈折率の高い光反射器を用いることにより、狭帯域で高反射な光のフィードバックを実現する。具体的には、バルク状の光反射器をレンズの間に配置して、半導体レーザモジュールのパッケージ内部に固定する。レンズを用いて結合するので、作製トレランスを大きく取れ、従来の実装工程を利用できることから、安価な半導体レーザモジュールを作成することができる。 40

【実施例1】

【0026】

図8に、実施例1にかかる半導体レーザモジュールの構成を示す。LD84からの出射光を平行光に変換するレンズ85と、平行光をファイバ81に光学的に結合させるレンズ86とを用いて、LD84とファイバ81の端面とを結合させる。LD84の端面反射率は、レンズ85に近い側の反射率を0.1%、反対側を90%とする。光反射器82を、 50

レンズ 85, 86 の間の光軸上に配置して、半導体レーザモジュールのパッケージ内部に固定する。

【0027】

光反射器 82 は、材料 $Al_x Ga_{1-x} As$ ($i=1$) と材料 $Al_y Ga_{1-y} As$ ($i=2$) から構成されており、それぞれ設定波長 976 nm の $1/(4n_i)$ 倍 (i は材料の 1, 2 の番号を表す) に相当する厚さで、繰り返し積層されている。光反射器 82 の選択波長帯域幅を 30 pm とし、 $n=3.8$ 、光反射器 82 の全長 5.0 mm として、 $n=3 \times 10^{-6}$ となるように組成比 x, y を調節する。光反射器 82 の反射率は 20% である。積層された材料を 2 mm 角に切り出し、治具に固定して、半導体レーザモジュールのパッケージ内部に固定する。

10

【0028】

図 9 に、実施例 1 にかかる半導体レーザモジュールの出力スペクトルを示す。スペクトル測定装置としてエタロン ($FSR=8\text{ GHz}$) を用いて測定した結果を示す。また、図 10 に、出力スペクトルを拡大した図を示す。スペクトル線幅は、半値幅 4.5 pm (165 MHz) 以下であり、狭帯域であることがわかる。

【実施例 2】

【0029】

図 11 に、実施例 2 にかかる半導体レーザモジュールの構成を示す。LD 114 からの出射光をファイバ 111 の端面に光学的に結合させるレンズ 115 を備える。LD 114 の端面反射率は、レンズ 115 に近い側の反射率を 0.1% 、反対側を 90% とする。光反射器 112 をレンズ 115 とファイバ 111 の端面との間の光軸上に配置する。

20

【0030】

光反射器 112 は、実施例 1 と同じであり、反射率は 20% である。実施例 1 と同様に狭帯域なスペクトル線幅を得ることができる。

【実施例 3】

【0031】

図 12 に、実施例 3 にかかる半導体レーザモジュールの構成を示す。LD 124 の出射端面からの出射光を平行光に変換するレンズ 125 と、平行光をファイバ 121 に光学的に結合させるレンズ 126 とを用いて、LD 124 とファイバ 121 の端面とを結合させる。LD 124 の端面反射率は、レンズ 125 に近い側の反射率を 0.1% 、反対側を 0.1% とする。光反射器 122 を、LD 124 の出射端面の反対側の端面と光学的に結合するように、レンズ 127 を介して配置する。

30

【0032】

光反射器 122 は、実施例 1 と同様に、選択波長帯域を 30 pm とし、 $n=3.8$ 、光反射器 122 の全長 5.0 mm として、 $n=3 \times 10^{-6}$ となるように組成比 x, y を調節する。光反射器 122 の反射率は 90% である。積層された材料を 2 mm 角に切り出し、治具に固定して、半導体レーザモジュールのパッケージ内部に固定する。実施例 1 と同様に、狭帯域のスペクトル線幅を得ることができる。

【実施例 4】

【0033】

実施例 4 にかかる半導体レーザモジュールの構成は、図 8 に示した実施例 1 にかかる半導体レーザモジュールの構成と同じである。光反射器 82 は、厚さ 1.5 mm の $GaAs$ 基板を用い、対向する入射面と出射面とが研磨されている。この場合には、反射率 34% の両端面をミラーとして、エタロンが構成される。これにより、 64 pm の反射帯域が得られるので、実施例 1 と同様に、狭帯域のスペクトル線幅を得ることができる。

40

【0034】

本実施形態では、光反射器としてグレーティングが形成されたバルク状の素子を用いたが、ファブリペロー共振器を用いても構わない。また、反射特性を改善するために、チャープ構造を適用してもよい。バルク状の素子の材料は、半導体に限定されるわけではなく、誘電体材料を組み合わせたこともできる。

50

【図面の簡単な説明】

【0035】

【図1】従来の擬似位相整合型の波長変換素子を用いた波長変換装置の構成を示す図である。

【図2】第二高調波発生により波長変換を行う場合の位相整合曲線を示す図である。

【図3】従来のレーザダイオードとファイバグレーティングとを組み合わせた光源の出力スペクトルを示す図である。

【図4】出力スペクトルを電気スペクトラムアナライザで測定した結果を示す図である。

【図5】従来の半導体レーザモジュールの構成を示す図である。

【図6】従来のレンズ結合を用いた半導体レーザモジュールの構成を示す図である。 10

【図7】ストップバンド幅とグレーティングにおける屈折率変動値との関係を示す図である。

【図8】実施例1にかかる半導体レーザモジュールの構成を示す図である。

【図9】実施例1にかかる半導体レーザモジュールの出力スペクトルを示す図である。

【図10】出力スペクトルを拡大した結果を示す図である。

【図11】実施例2にかかる半導体レーザモジュールの構成を示す図である。

【図12】実施例3にかかる半導体レーザモジュールの構成を示す図である。

【符号の説明】

【0036】

1 1 , 1 2 , 5 4 , 6 4 , 8 4 , 1 1 4 , 1 2 4 半導体レーザ (L D) 20

1 1 a , 1 2 a 駆動回路

1 1 b , 1 2 b 温度制御回路

1 3 波長変換素子

1 4 光カップラ

1 5 , 5 2 , 6 2 ファイバグレーティング (F B G)

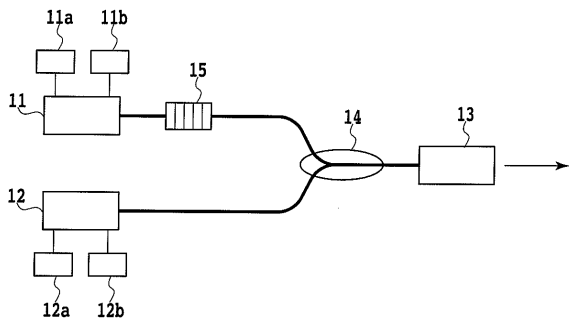
5 1 , 6 1 , 8 1 , 1 1 1 , 1 2 1 ファイバ

5 3 先端部分

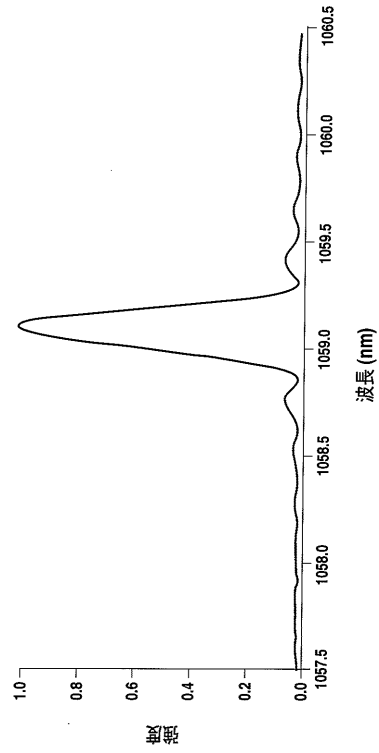
6 5 , 6 6 , 8 5 , 8 6 , 1 1 5 , 1 2 5 ~ 1 2 7 レンズ

8 2 , 1 1 2 , 1 2 2 光反射器

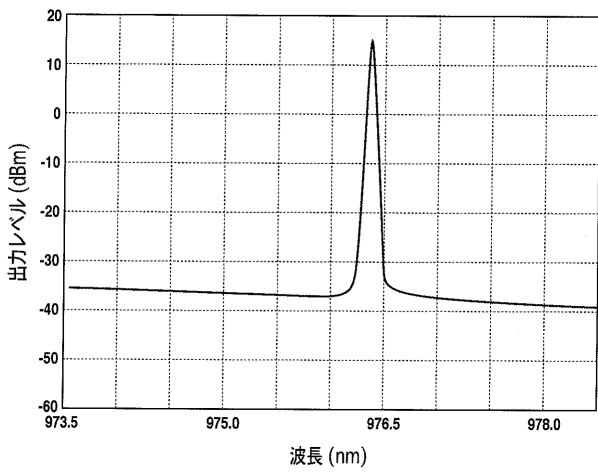
【 図 1 】



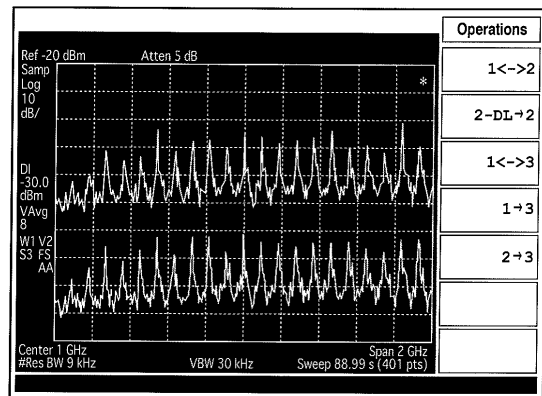
【 図 2 】



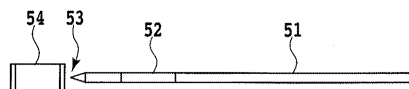
【 図 3 】



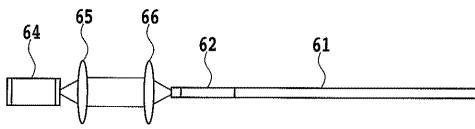
【 図 4 】



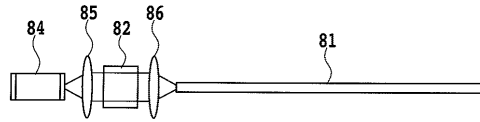
【 図 5 】



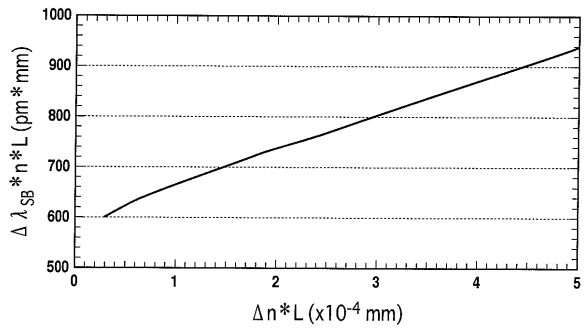
【 図 6 】



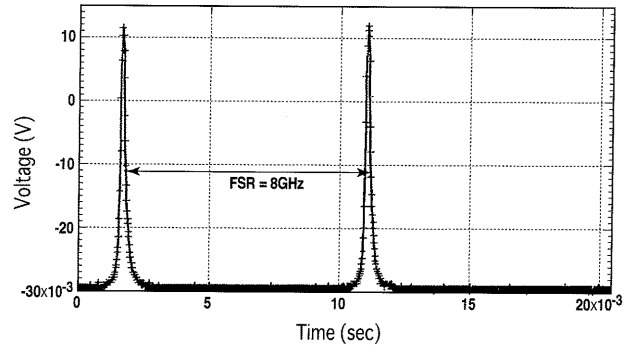
【 図 8 】



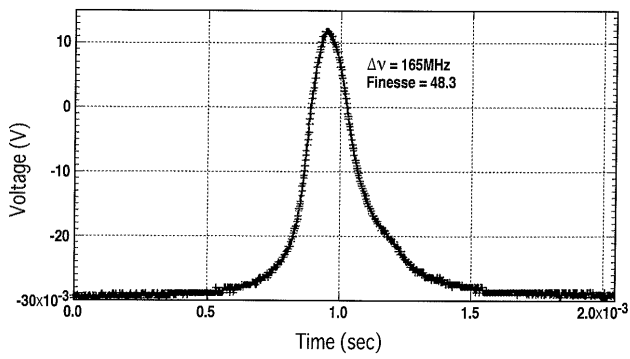
【 図 7 】



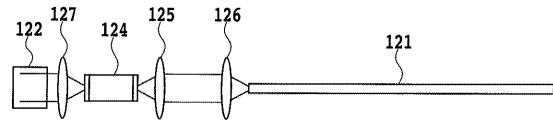
【 図 9 】



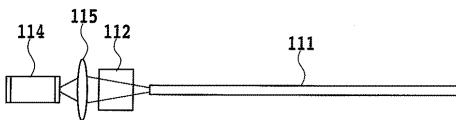
【 図 10 】



【 図 12 】



【 図 11 】



フロントページの続き

- (72)発明者 西田 好毅
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 忠永 修
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 遊部 雅生
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 鈴木 博之
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 梅木 毅伺
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) 5F173 MA10 MB03 MC15 ME23 MF02 MF17 MF18 MF23 MF39