

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4714882号
(P4714882)

(45) 発行日 平成23年6月29日(2011.6.29)

(24) 登録日 平成23年4月8日(2011.4.8)

(51) Int.Cl.		F I	
GO 1 M	11/00 (2006.01)	GO 1 M	11/00 T
GO 2 B	6/02 (2006.01)	GO 2 B	6/10 C
GO 2 B	6/122 (2006.01)	GO 2 B	6/12 A
GO 1 J	3/02 (2006.01)	GO 1 J	3/02 Z

請求項の数 4 (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2007-523340 (P2007-523340)
 (86) (22) 出願日 平成18年2月14日(2006.2.14)
 (86) 国際出願番号 PCT/JP2006/302909
 (87) 国際公開番号 W02007/004339
 (87) 国際公開日 平成19年1月11日(2007.1.11)
 審査請求日 平成19年12月17日(2007.12.17)
 (31) 優先権主張番号 特願2005-194118 (P2005-194118)
 (32) 優先日 平成17年7月1日(2005.7.1)
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)
 (31) 優先権主張番号 特願2005-257777 (P2005-257777)
 (32) 優先日 平成17年9月6日(2005.9.6)
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

(73) 特許権者 304023994
 国立大学法人山梨大学
 山梨県甲府市武田四丁目4番37号
 (74) 代理人 100080322
 弁理士 牛久 健司
 (74) 代理人 100104651
 弁理士 井上 正
 (74) 代理人 100114786
 弁理士 高城 貞晶
 (72) 発明者 埴 雅典
 山梨県甲府市武田四丁目3番11号 国立
 大学法人山梨大学内

審査官 西村 直史

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ブラッググレーティングの構造の同定方法および装置ならびにその作成方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ブラッググレーティングの構造の同定方法であって、
 所定の波長範囲にわたってほぼ強度が一定の光を発生し、前記光を光サーキュレータによってブラッググレーティングに導き、
 この光サーキュレータから出力されるブラッググレーティングの反射光の実測スペクトルを光スペクトル分析装置から得、
 あらかじめ作製したフーリエ解析モデルの解析スペクトルと実測スペクトルの比較により、これらの両スペクトルの差が最小になるようにフーリエ解析モデルのパラメータを特定する、
 ブラッググレーティングの構造の同定方法。

【請求項2】

光導波路内に間隙部をあけて複数のサブブラッググレーティングを配置した超格子構造ブラッググレーティングを一旦作成し、この作成した超格子構造ブラッググレーティングの構造を請求項1に記載の方法により同定し、同定した構造における反射光波間位相差を求め、求めた反射光波間位相差が所望の値となるように上記間隙部の物理定数を調整する、超格子構造ブラッググレーティングの作成方法。

【請求項3】

ブラッググレーティングの構造の同定装置であって、
 所定の波長範囲にわたってほぼ強度が一定の光を発生する光源、

上記光源からの光をブラッググレーティングに導き、かつブラッググレーティングの反射光を出力する光サーキュレータ、

前記光サーキュレータから出射する光の実測スペクトルを測定する光スペクトル分析装置、および

あらかじめ作製したフーリエ解析モデルの解析スペクトルのデータと上記光スペクトル分析装置から出力される実測スペクトルのデータとを比較し、両スペクトル・データの差が最小になるようにフーリエ解析モデルのパラメータを特定するパラメータ演算処理手段

を備えたブラッググレーティングの構造の同定装置。

【請求項 4】

光導波路内に間隙部をあけて複数のサブブラッググレーティングを配置した超格子構造ブラッググレーティングを一旦作成し、この作成した超格子構造ブラッググレーティングの構造を請求項 3 に記載の装置により同定し、同定した構造における反射光波間位相差を求め、求めた反射光波間位相差が所望の値となるように上記間隙部の物理定数を調整する、超格子構造ブラッググレーティングの作成方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、ブラッググレーティングの構造の同定方法および装置ならびにその作成方法に関する。

【背景技術】

【0002】

超格子構造ファイバブラッググレーティング（以下、超格子構造 FBG という）（FBG: Fiber Bragg Grating）は光通信デバイスの一つであり、超高速光通信向け FIR (Finite Impulse Response) フィルタとみなすことができ、さまざまな応用が期待されている。

ファイバブラッググレーティング（以下、FBG という）とは、光ファイバのコア部に周期的な屈折率変調を与えて回折格子を形成したファイバ型のデバイスである。このファイバ内に光を入射すると、

$$\lambda_{\text{Bragg}} = 2 n_{\text{eff}} \Lambda \quad \dots \text{式 (1)}$$

というブラッグ条件を満たす特定の波長の光を強く反射（回折）する。ここで Λ は屈折率変調の周期、 n_{eff} はファイバのコア部の有効屈折率である。

超格子構造 FBG は、上記の回折格子（以下、サブ FBG という）を複数個光ファイバ内に離散的に（すなわち、間隔（ギャップ）をあけて）直列に配置したデバイスである（第 2 図参照）。超格子構造 FBG は第 7 a 図および第 7 b 図に例を示すようにピークがいくつも存在するくし形の反射特性を持つ。この反射特性のピーク形状に大きく影響するのがサブ FBG の配置間隔によって生じる反射光波間位相差である。ある波長の反射光波間位相差が 0 の場合光は強め合い、位相差が π の場合はお互い打消し合う。このため、ある波長の光を強く反射するような特性を持つ超格子構造 FBG を得るには反射光波間位相差の制御が重要となる。第 7 a 図と第 7 b 図の反射特性は同じ条件で作製した超格子構造 FBG の特性を示すものであるが、このように、同じ条件で作製しても差が生じ、反射特性に大きな影響を与える。反射光波間位相差の制御にはサブ FBG 間隔にナノメートルオーダの精度の制御が必要となる。

反射光波間位相差の制御は、超格子構造ブラッググレーティング作成時にレーザ干渉計等を用いてサブブラッググレーティング作成位置を高精度に制御することで可能となるが、この種の作成装置は非常に複雑で高価となる。より簡易に反射光波間位相差を制御する方法としては、サブブラッググレーティング間の間隙部に紫外光を照射して屈折率変化により光路長を調整する位相トリミング法（下記文献 1 参照）や、デバイス使用時に間隙部への熱や応力を印加することにより光路長を調整する方法（下記文献 2 参照）が用いられ

10

20

30

40

50

るが、いずれも初期位相差がわからなければ場当たりに調整するしかなく、複雑な超格子構造ブラッググレーティングの作成・制御は困難であった。

文献1 那須悠介，山下真司“D W D M用スーパーストラクチャーファイバブラッググレーティングの新しい作成法”電子情報通信学会技術研究報告，O F T 2 0 0 1 - 4 3 ， 2 0 0 1年10月

文献2 岡村康弘，埴雅典，石川智之，“加温による超格子構造ブラッググレーティングの位相制御”，2004年電子情報通信学会総合大会講演論文集，C - 3 - 2 9 ， 2 0 0 4年3月

【発明の開示】

【0003】

この発明は、ブラッググレーティングの構造を同定する方法および装置を提供するものである。これによってブラッググレーティングの現在の状態や作製上の指針を得ることができる。

この発明はまた、上記の同定方法または装置を利用して所望の特性または構造をもつ超格子構造ブラッググレーティングを作成する方法を提供するものである。

この発明によるブラッググレーティングの構造の同定方法は、所定の波長範囲にわたってほぼ強度が一定の光を発生し、前記光を光サーキュレータによってブラッググレーティングへ導き、この光サーキュレータから出力されるブラッググレーティングの反射光の実測スペクトルを光スペクトル分析装置から得、あらかじめ作製したフーリエ解析モデルの解析スペクトルと実測スペクトルの比較により、これらの両スペクトルの差が最小になるようにフーリエ解析モデルのパラメータを特定するものである。

この発明によるブラッググレーティングの構造の同定装置は、所定の波長範囲にわたってほぼ強度が一定の光を発生する光源、上記光源からの光をブラッググレーティングに導き、かつブラッググレーティングの反射光を出力する光サーキュレータ、前記光サーキュレータから出射する光の実測スペクトルを測定する光スペクトル分析装置、およびあらかじめ作製したフーリエ解析モデルの解析スペクトルのデータと上記光スペクトル分析装置から出力される実測スペクトルのデータとを比較し、両スペクトルデータの差が最小になるようにフーリエ解析モデルのパラメータを特定するパラメータ演算処理手段を備えているものである。

上記光は一実施態様では白光色であり、他の実施態様では可変波長の光源（発光ダイオード、半導体レーザー、その他の発光波長が可変の光源）から時間軸上で波長が走査されて出力する光等がある。光スペクトル分析装置は最も一般的には光スペクトルアナライザであるが、上記の可変波長光源を用いる場合には、分析装置として可変波長光源の波長走査と同期可能な光パワーメータを用いることができる。

この発明は、光ファイバのコアにブラッググレーティングを形成したファイバブラッググレーティング（以下、F B Gという）や平面型光導波路にブラッググレーティングを形成したデバイスなどに適用することが可能であるが、以下ではF B G、特に超格子構造F B Gの構造の同定を例にして説明する。この発明によれば、超格子構造F B Gの構造を表わすパラメータが特定できるため、作製した超格子構造F B Gが所望の特性を持つように微調整することが容易となる。

この発明による超格子構造ブラッググレーティングの作成方法は、ブラッググレーティングを一旦作成し、この作成したブラッググレーティングの構造を上記の同定方法または装置により同定し、同定した構造（同定した構造から得られる特性）と、所望の構造（所望の特性）とを比較して、その差を少なくするようにブラッググレーティングの構造（物理定数またはパラメータ）を調整するものである。

すなわち、この発明は、光導波路内に間隙部をあけて複数のサブブラッググレーティングを配置した超格子構造ブラッググレーティングを一旦作成し、この作成した超格子構造ブラッググレーティングの構造を上記の同定方法または装置により同定し、同定した構造における反射光波間位相差を求め、求めた反射光波間位相差が所望の値となるように上記間隙部の物理定数を調整するものである。

10

20

30

40

50

超格子構造ブラッググレーティングの間隙部の調整すべき物理定数には、有効屈折率、光路長等があり、調整方法には紫外光照射、加熱、応力印加などさまざまな方法がある。

いずれにしてもこの発明によると、一旦作成した超格子構造ブラッググレーティングの構造が同定されるから、所望の特性が得られるように物理定数を調整する指針が得られ、所望の特性をもつ超格子構造ブラッググレーティングを容易に作成できるようになる。

【図面の簡単な説明】

【0004】

第1図は、超格子構造FBGの構造の同定装置の全体的構成を示すブロック図である。

第2図は、超格子構造FBGのフーリエ解析モデルを示す。

第3図は、構造同定実験の結果を示す。

第4図は、構造同定実験によって同定された構造を示す。

第5図は、一旦作成した超格子構造FBGの構造を示す。

第6a図は第5図に示す超格子構造FBGの反射スペクトルを、第6b図は位相トリミング後の反射スペクトルを、第6c図は所望の特性をそれぞれ示すものである。

第7a図および第7b図は、それぞれ超格子構造FBGの反射特性の例を示す。

【発明を実施するための最良の形態】

【0005】

第1図は超格子構造FBGの構造を同定する装置の全体的構成を示すものである。

この同定装置は、測定装置1と、処理装置2と、光源3とから構成される。

光源3は、所定の波長範囲（構造を同定すべき超格子構造FBGを使用する光の波長の範囲が好ましい）において、ほぼ一定の強度レベルの連続光を発生するものである。

測定装置1は、光スペクトルアナライザ11を含む。構造を同定すべき超格子構造FBG10の一端（入射端）に光源3からの出力光が入射する。超格子構造FBG10の入射端からは超格子構造FBGで反射した光が出射し、この出射光が光スペクトルアナライザ11に入力し、その光スペクトルが測定される。すなわち、光源3と超格子構造FBG10との間に光サーキュレータ12を配置し、光源3からの光を光サーキュレータ12によって超格子構造FBG10の入射端に導き、かつ超格子構造FBG10の入射端からの出力光（反射光）を光サーキュレータ12を経て光スペクトルアナライザ11に導く。光スペクトルアナライザ11が測定した光スペクトルを実測スペクトル $|D(\)|^2$ とする。この実測スペクトルを表わすデータは処理装置2に入力する。実測スペクトルデータはオンラインで処理装置2に入力しても、光ディスク等の記録媒体を介して入力しても、マニュアルで入力してもよい。

処理装置2は好ましくはコンピュータシステム（パーソナルコンピュータ）により実現される。処理装置2の機能をいくつかに分けて表わすと、フーリエ解析算出機能（フーリエ解析算出部または手段）21、誤差算出機能（誤差算出部または手段）22、誤差勾配算出機能（誤差勾配算出部または手段）23およびパラメータ更新機能（パラメータ更新部または手段）24からなる。

超格子構造FBGのフーリエ解析モデルを第2図に示す。超格子構造FBGは、複数のサブFBGを光ファイバ内に離散的に配置したものである。各サブFBGの屈折率プロファイル $h_i(t)$ とすると、インパルス応答は式(2)で与えられる。

$$h(t) = h_0(t) + h_1(t) + \dots + h_{N_{\text{ing}}-1}(t) \quad \dots \text{式(2)}$$

$$\text{ここで、} \quad h_i(t) = \frac{A_i}{T_i} \text{rect} \left(\frac{t - \tau_i}{T_i} \right) e^{j\omega_0^{(i)} t} \quad \dots \text{式(3)}$$

ここで各屈折率プロファイルを矩形と仮定してフーリエ変換を行うと以下の解析スペクトル $H(\)$ を得る。

10

20

30

40

$$H(\omega) = H_0(\omega) + H_1(\omega) + \dots + H_{N_{fbg}-1}(\omega) \quad \dots \text{式(4)}$$

$$\text{ここで, } H_i(\omega) = A_i \sin c \left(\frac{(\omega - \omega_b^{(i)}) T_i}{2} \right) e^{-j\omega \tau_i} \quad \dots \text{式(5)}$$

$$\omega_b^{(i)} = \frac{2\pi c}{\lambda_b^{(i)}} \quad \dots \text{式(6)} \quad 10$$

$$T_i = \frac{2n_{\text{eff}} L_i}{c} \quad \dots \text{式(7)}$$

$$\tau_i = \frac{2n_{\text{eff}}}{c} \sum_{i=0}^i L_i \quad \dots \text{式(8)}$$

c は光速である。

超格子構造 F B G の構造を表わすパラメータとしては、サブ F B G 長 L_i 、サブ F B G のブラッグ波長 $\lambda_b^{(i)}$ 、F B G 間隔 I_i 、サブ F B G の反射率 A_i がある。ここで N_{fbg} はサブ F B G 数で、 $i = 0, 1, \dots, N_{fbg} - 1$ である。 20

フーリエ解析算出部 2 1 は、与えられる初期値に応じて、式 (4) で表わされる解析スペクトル $H(\omega)$ を算出する。

処理装置 2 は、光スペクトルアナライザ 1 1 で測定した実測スペクトル $D(\omega)$ と、フーリエ解析算出部 2 1 が算出した解析スペクトル $H(\omega)$ とで表わされる次の誤差関係が最小となるように、最小自乗法 (LMS) アルゴリズムにより、上記のパラメータを逐次更新するものである。

$$\varepsilon = \frac{1}{M} \sum_{i=0}^M \left\{ |H(\omega)|^2 - |D(\omega)|^2 \right\}^2 \quad \dots \text{式(9)} \quad 30$$

ここで M はスペクトルのサンプル数である。

まず、誤差算出部 2 2 は光スペクトルアナライザ 1 1 から与えられる実測スペクトルデータ $D(\omega)$ とフーリエ解析算出部 2 1 が算出した解析スペクトルデータ $H(\omega)$ とを用いて、式 (9) で与えられる誤差関数を算出する。

次に誤差勾配算出部 2 3 は、算出した誤差関数の勾配を算出し、パラメータ更新部 2 4 は算出した勾配を用いて上述したパラメータを最急降下法により逐次更新していく。

更新が終了 (誤差が許容値以内になる) すれば、超格子構造 F B G の構造が同定できたことになる。すなわち、 $|H(\omega)|^2$ と $|D(\omega)|^2$ がよく一致しているなら同定後の解析モデルから作製した超格子構造 F B G の反射光波間位相差を求めることができる。 40

以下に構造同定実験結果を示す。

サブ F B G 数 4 個、サブ F B G 長 $L = 0.42 \text{ mm}$ 、サブ F B G のブラッグ波長 $\lambda_b = 1553.5 \text{ nm}$ 、サブ F B G 間隔 $I = 2.0 \text{ mm}$ 、サブ F B G の正規化反射率 $[A_0, A_1, A_2, A_3] = [0.5, 1.0, 1.0, 0.5]$ の超格子構造 F B G を作製し、そのサブ F B G の構造同定を行った。サブ F B G 間隔 1 と反射率 A のみを同定対象とした。上で示したパラメータをフーリエ解析モデルの初期値として与え、LMS アルゴリズムによる構造同定の結果を第 3 図に示す。第 3 図の点線は実測スペクトル、実線は同定したパラメータを用いた解析スペクトルである。両スペクトルは良く一致しており、誤差も十分に小さくなっていることが分かる。最終誤差は 9.0 で、無視できる許容値とした。 50

同定によって得られた超格子構造 F B G の構造を第 4 図に示す。図中に示すパラメータは、同定を行った F B G 間隔によって求められる反射光波間位相差と正規化反射率である。反射光波間位相差は式 (10) で表されるため、サブ F B G 間隔を数十ナノメートルオーダーの精度で同定ができた。

$$\theta_i (= \Delta\phi_i) = 2\pi \frac{\text{mod} (2L_i / \lambda_b / n_{\text{eff}})}{\lambda_b / n_{\text{eff}}} \quad \dots \text{式(10)}$$

この結果によりこの発明の手法を用いることによって超格子構造 F B G の構造同定が可能である事を確認できた。

10

次に上記の同定方法または装置を利用した超格子構造 F B G の作成方法について説明する。

超格子構造 F B G の作成方法は次の手順による。

ステップ 1

まずおよそ所望の構造を持つ超格子構造 F B G を一旦作製する。

ステップ 2

上記の同定方法または同定装置により、一旦作製した超格子構造 F B G の構造同定を行い、全てのサブ F B G 間の間隙部による反射光波間位相差を求める。

ステップ 3

これにより間隙部に照射する UV 光照射量を算出して位置トリミングを行い、所望の位相差を有する超格子構造 F B G を作成する。

20

一旦作製した超格子構造 F B G の構造のステップ 3 における微調整は同定した構造を利用してたとえば次のようにして行うことができる。

紫外光照射により位相トリミングを行う場合には、紫外光パルスの照射回数と位相変化量との関係をあらかじめ求めておく。同定した超格子構造 F B G の構造と所望の構造との位相差を求め、求めた位相差の変化が得られるように紫外光パルスの照射回数を決定し、この照射回数の紫外光パルスを照射する。

このようにして、上記の作成方法によると、超格子構造 F B G における多数の間隙部をバッチ処理で位相調整できるため工程が大幅に簡素化されると共に、超格子構造 F B G 作成系への精度要求も大幅に緩和される等の利点がある。

30

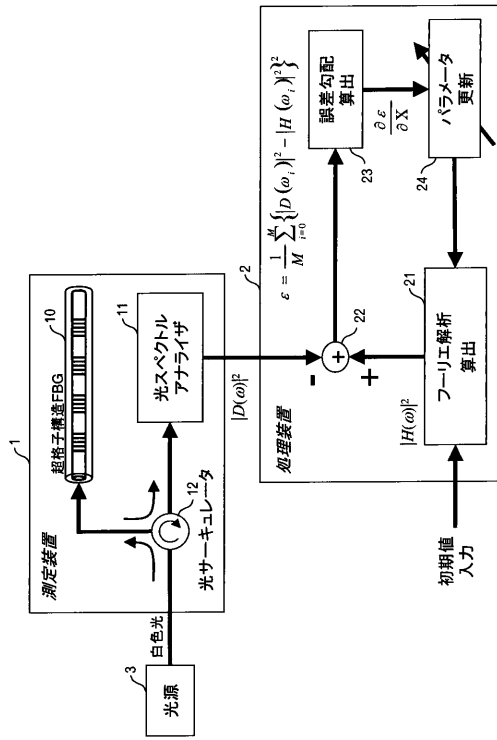
上記超格子構造 F B G の作成方法の有効性を確認するために、第 5 図に示す構造を有するサブ F B G 数が 8 の超格子構造 F B G の作成を行った。各サブ F B G の設計正規化反射率は [0 . 1 0 , 0 . 4 8 , 1 . 0 , 0 . 6 2 , 0 . 6 2 , 1 . 0 0 , 0 . 4 8 , 0 . 1 0] である。また F B G # 4 と F B G # 5 の間の間隙部のみ反射光波間位相差が で、それ以外は全て 0 とした。

第 6 a 図から第 6 c 図に実験結果を示す。第 6 a 図はステップ 1 において得られた超格子構造 F B G の反射スペクトルを示し、第 6 b 図はステップ 3 の一括位相トリミングを行った後の反射スペクトルを示す。第 6 c 図は所望の反射特性を示すものである。ステップ 1 で得られた第 6 a 図に示す反射スペクトルは所望の特性とは異なるものになっているにもかかわらず、第 6 b 図に示すステップ 3 の位相トリミング後の反射スペクトルは、第 6 c 図に示す所望の特性とほぼ一致していることが分かる。このことから、上記の作成方法によって所望の反射特性を持つ超格子構造 F B G が簡単に作成できることが確認された。

40

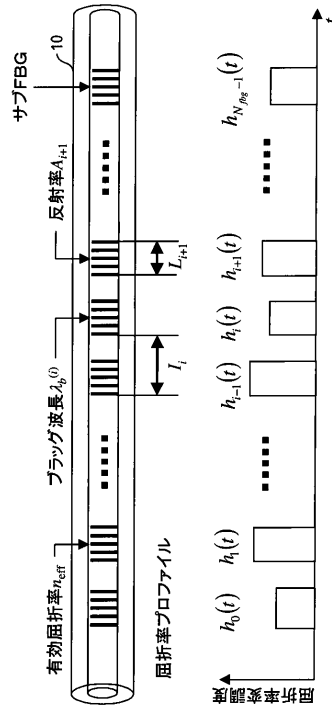
【 図 1 】

第 1 図



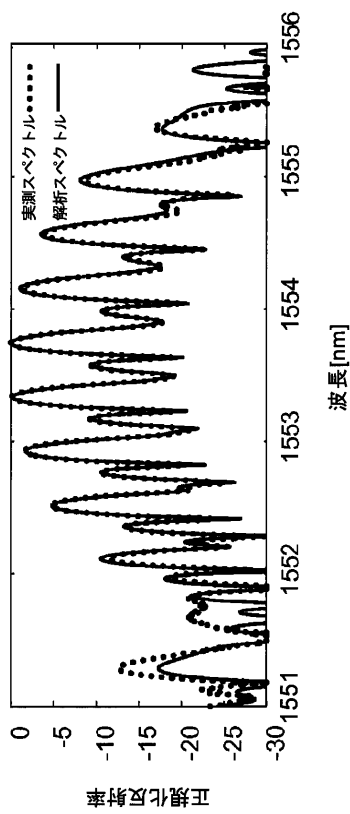
【 図 2 】

第 2 図



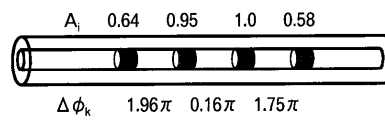
【 図 3 】

第 3 図



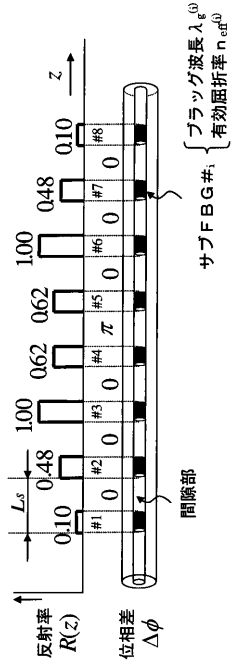
【 図 4 】

第 4 図

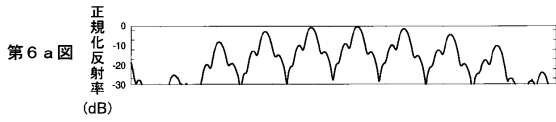


【 図 5 】

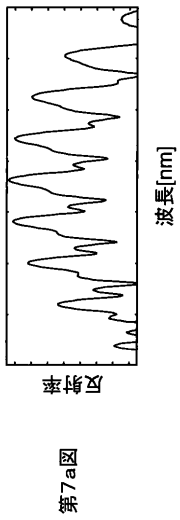
第5図



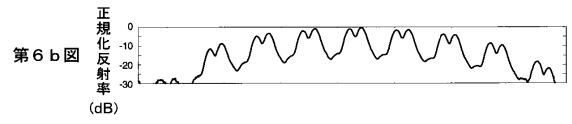
【 図 6 a 】



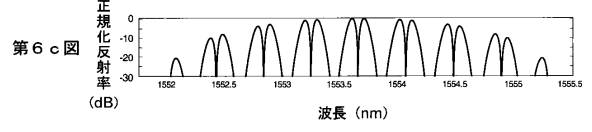
【 図 7 a 】



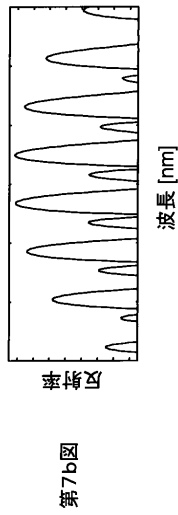
【 図 6 b 】



【 図 6 c 】



【 図 7 b 】



フロントページの続き

特許法第30条第1項適用 国立大学法人山梨大学主催の平成16年度山梨大学工学部電気電子システム工学科の卒業論文発表会(平成17年2月23日)において文書をもって発表

特許法第30条第1項適用 社団法人電子情報通信学会主催の平成16年度電機情報通信学会東京支部学生会研究発表会(平成17年3月5日)において文書をもって発表

特許法第30条第1項適用 社団法人電子情報通信学会主催の2005年電子情報通信学会総合大会(平成17年3月22日)において文書をもって発表

(56)参考文献 特表2003-528326(JP,A)

特開2003-035630(JP,A)

特開2003-014585(JP,A)

特表2002-519709(JP,A)

特開2001-066442(JP,A)

米国特許第06415081(US,B1)

国際公開第01/011401(WO,A1)

埴 雅典 外2名, LMSアルゴリズムによる超格子構造FBGの構造同定, 電子情報通信学会総合大会講演論文, 2005年 3月 7日, 2005年 エレクトロニクス(1), p.211

埴 雅典 外2名, 超格子構造FBGの反射特性制御の一検討, 電子情報通信学会総合大会講演論文, 2005年 3月 7日, 2005年 エレクトロニクス(1), p.210

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01M11/00-11/08

G01J3/02

G02B5/18,5/32

G02B6/00-6/44

JSTPlus(JDreamII)