

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2015年6月4日(04.06.2015)



(10) 国際公開番号

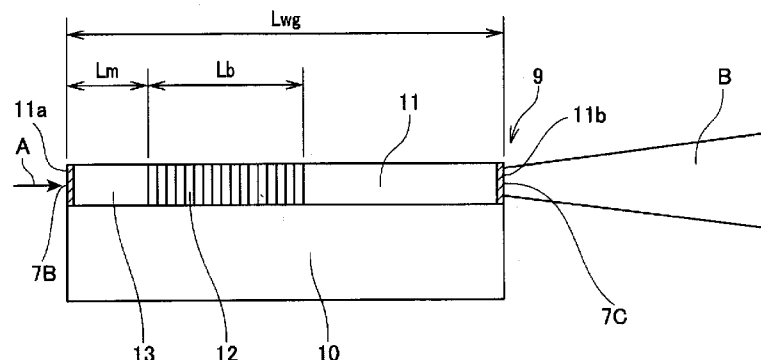
WO 2015/079986 A1

- (51) 国際特許分類:
G01D 5/26 (2006.01) G02B 6/124 (2006.01)
G01K 11/12 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/080579
- (22) 国際出願日: 2014年11月19日(19.11.2014)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2013-244917 2013年11月27日(27.11.2013) JP
- (71) 出願人: 日本碍子株式会社(NGK INSULATORS, LTD.) [JP/JP]; 〒4678530 愛知県名古屋市長区瑞穂区須田町2番56号 Aichi (JP).
- (72) 発明者: 近藤 順悟(KONDO Jungo); 〒4678530 愛知県名古屋市長区瑞穂区須田町2番56号日本碍子株式会社内 Aichi (JP). 山口 省一郎(YAMAGUCHI Shoichiro); 〒4678530 愛知県名古屋市長区瑞穂区須田町2番56号日本碍子株式会社内 Aichi (JP). 江尻 哲也(EJIRI Tetsuya); 〒4678530 愛知県名古屋市長区瑞穂区須田町2番56号日本碍子株式会社内 Aichi (JP). 浅井 圭一郎(ASAI Keiichiro); 〒4678530 愛知県名古屋市長区瑞穂区須田町2番56号日本碍子株式会社内 Aichi (JP). 岡田 直剛
- (OKADA Naotake); 〒4678530 愛知県名古屋市長区瑞穂区須田町2番56号日本碍子株式会社内 Aichi (JP).
- (74) 代理人: 細田 益稔, 外(HOSODA Masutoshi et al.); 〒1080074 東京都港区高輪一丁目5番4号常和高輪ビル7階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーロアジア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR),

[続葉有]

(54) Title: REFLECTIVE OPTICAL SENSOR ELEMENT

(54) 発明の名称: 反射型光センサ素子



(57) Abstract: [Problem] To provide a FBG sensor grating element that can increase heat and damage sensitivity. [Solution] A reflective optical sensor element (9) including: a support substrate (10); an optical material layer (11) that is disposed on the support substrate and exhibits a thickness of 0.5-3.0μm inclusive; a ridged optical waveguide containing an irradiation surface onto which a semiconductor laser beam is irradiated, and an emission surface that emits emission light of a desired wavelength; a Bragg grating (12) comprising recesses and protrusions that are formed inside the optical waveguide path; and a propagation path (13) disposed between the irradiation surface and the Bragg grating. The following formulae (1) - (3) are satisfied: (1) : $0.8 \text{ nm} \leq \Delta\lambda_g \leq 6.0 \text{ nm}$; (2) : $20 \text{ nm} \leq d \leq 250 \text{ nm}$; (3) : $nb \geq 1.8$.

(57) 要約: 【課題】 熱や歪みの感度を向上させることが可能なFBGセンサ用のグレーティング素子を提供することである。 【解決手段】 反射型光センサ素子9は、支持基板10、支持基板上に設けられ、厚さ0.5μm以上、3.0μm以下の光学材料層11、半導体レーザ光が入射する入射面と所望波長の出射光を出射する出射面を有するリッジ型光導波路、光導波路内に形成された凹凸からなるブラッググレーティング12、および入射面とブラッググレーティング12との間に設けられている伝搬部13を備える。式(1)～式(3)の関係が満足される。 $0.8 \text{ nm} \leq \Delta\lambda_g \leq 6.0 \text{ nm}$ ・・・(1) : $20 \text{ nm} \leq d \leq 250 \text{ nm}$ ・・・(2) : $nb \geq 1.8$ ・・・(3)



WO 2015/079986 A1

WO 2015/079986 A1



OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： 反射型光センサ素子

技術分野

[0001] 本発明は、反射型光センサ素子に関するものである。

背景技術

[0002] センサネットワークの進展により、ビルや橋梁などの構造物に光ファイバを張り巡らし、ファイバブラッググレーティング（F B G）を利用することにより、温度や歪を測定するシステムの開発が活発化している（非特許文献1、非特許文献2）。

[0003] F B Gセンサは、温度や歪の変化を光波長の変化として検出できる。F B Gに光が入射すると、屈折率が周期的に変化している部分の反射は、（1）式に示したブラッグ波長で反射し（ $\Delta \lambda_G$ ）、その他の波長は透過するという特性を持つ。ただし、 n_{eff} は実効屈折率、 Λ はグレーティング周期を示す。

[数1]

$$\lambda_G = 2n_{eff}\Lambda \quad (1)$$

[0004] F B Gに温度や歪が加わると、F B Gの実効屈折率 n_{eff} とグレーティング周期 Λ の両方に影響し、その変化に応じて反射波長が変化する。F B Gを利用した温度センサ、歪みセンサは、このF B Gからの反射光の波長をモニターすることにより、温度や歪みをセンシングしている。

[0005] 例えば、温度センサの場合には、温度変化がある場合には、ブラッグ波長は下記のように表すことができる。

[0006] [数2]

$$\begin{aligned}\frac{\partial \lambda_G}{\partial T} &= \frac{\partial \lambda_G}{\partial n_{eff}} \frac{\partial n_{eff}}{\partial T} + \frac{\partial \lambda_G}{\partial \Lambda} \frac{\partial \Lambda}{\partial T} \\ &= 2n_{eff} \Lambda \left(\frac{\partial n_{eff}}{\partial T} \cdot \frac{1}{n_{eff}} + \frac{\partial \Lambda}{\partial T} \cdot \frac{1}{\Lambda} \right) \quad (2)\end{aligned}$$

[数3]

屈折率の温度変化に対応する成分

$$\frac{\partial n_{eff}}{\partial T} \cdot \frac{1}{n_{eff}} = \alpha_n \quad (3)$$

[数4]

熱膨張による周期の変化に対応する成分

$$\frac{\partial \Lambda}{\partial T} \cdot \frac{1}{\Lambda} = \alpha_{\Lambda} \quad (4)$$

[0007] このセンサでは、ブラッグ波長が $1.55 \mu\text{m}$ の場合には、温度感度 $\Delta \lambda_g = \Delta T$ は約 $9.5 \text{pm}/^\circ\text{C}$ といわれている。また、歪みの影響を補正するために、歪みが加わらない実装構造、あるいは歪みを補償する実装構造が必要となっている。

[0008] 一方、歪みセンサの場合には、歪みによるブラッグ波長の変化は(5)式で表すことができる。

[0009] [数5]

$$\Delta \lambda_G = 2n_{eff} \Delta \Lambda + 2\Lambda \Delta n_{eff} \quad (5)$$

[数6]

$$\frac{\Delta\lambda_G}{\lambda_G} = \frac{\Delta\Lambda}{\Lambda} + \frac{\Delta n_{eff}}{n_{eff}} \quad (6)$$

[数7]

歪みによる周期の変化に対応する成分

$$\frac{\Delta\Lambda}{\Lambda} = \varepsilon_z \quad (7)$$

[数8]

歪みによる屈折率変化に対応する成分

$$\frac{\Delta n_{eff}}{n_{eff}} = -p_e \cdot \varepsilon_z \quad (8)$$

[0010] この場合、ブラッグ波長が $1.55\mu\text{m}$ の場合に、歪み感度 $\Delta\lambda_g/\varepsilon z = \lambda_g (1 - P_e)$ は約 $1.2\text{pm}/\mu\varepsilon$ といわれている。

[0011] 温度センサ、歪みセンサは、それぞれ歪みや温度の影響を補正する必要がある。これらについては、温度センサの場合、F B Gに歪みがかからない、あるいはそれを補償するような実装を行うことで影響を除去している。また、歪みセンサの場合、温度の影響を補正するために無歪み状態のダミー（供試体と同材料）にF B Gを貼り付け、温度影響分の波長変化を差し引くなどの方策がとられている。

先行技術文献

非特許文献

[0012] 非特許文献1：「FBGセンサ」 共和技法 根本 勇、他、No.533, p.4109-4114, 12月, 2005年

非特許文献2：ナショナル インストルメンツ WEB発行資料 発行日：Sep 20, 2012 | 1 Ratings | 3.00 out of 5

特許文献1：特開2007-293215

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0013] しかし、従来のF B Gセンサは、熱や歪みの感度に限界があり、感度を高くすることが可能な構造のF B Gセンサが望まれる。

[0014] 本発明の課題は、熱や歪みなどの環境変化に対する感度を向上させることが可能なF B Gセンサ用の反射型光センサ素子を提供することである。

課題を解決するための手段

[0015] 本発明に係る反射型光センサ素子は、
支持基板、

前記支持基板上に設けられ、厚さ $0.5 \mu\text{m}$ 以上、 $3.0 \mu\text{m}$ 以下の光学材料層、

半導体レーザ光が入射する入射面と所望波長の出射光を出射する出射面を有するリッジ型光導波路、

このリッジ型光導波路内に形成された凹凸からなるブラッググレーティング、および

前記入射面と前記ブラッググレーティングとの間に設けられている伝搬部を備えており、下記式（１）～式（３）の関係が満足されることを特徴とする。

$$0.8 \text{ nm} \leq \Delta\lambda_g \leq 6.0 \text{ nm} \cdots (1)$$

$$20 \text{ nm} \leq t_d \leq 250 \text{ nm} \cdots (2)$$

$$n_b \geq 1.8 \cdots (3)$$

（式（１）において、 $\Delta\lambda_g$ は、ブラッグ反射率のピークにおける半値全幅である。

式（２）において、 t_d は、前記ブラッググレーティングを構成する凹凸の深さである。

式（３）において、 n_b は、前記ブラッググレーティングを構成する材質の屈折率である。）

発明の効果

[0016] 本願構造は、非常に薄い、屈折率 1.8 以上の高屈折率材料からなる光学材料層を使用し、これに特定深さの凹凸を設けることでグレーティングを形成したものをFBGに適用したものである。

[0017] これにより、グレーティング部に温度変化、歪み変化が生じたときにブラッグ反射波長の変化を大きくでき、従来のFBGよりも高感度化することができる。また、短いグレーティング長で大きな反射率を得ることができるので、小型なセンサが実現できる。

図面の簡単な説明

- [0018] [図1]反射型光センサ素子 9 を模式的に示す正面図である。
- [図2]反射型光センサ素子を示す斜視図である。
- [図3]図 1 の素子の横断面を模式的に示す図である。
- [図4]他の形態に係る反射型光センサ素子の横断面を模式的に示す図である。
- [図5]グレーティング長 $30 \sim 70 \mu\text{m}$ までの反射特性結果を示す。
- [図6]グレーティング長 $10 \mu\text{m} \sim 1000 \mu\text{m}$ までの反射率と反射光ピークの半値全幅との結果を示す。
- [図7]グレーティング溝深さが 200nm と 350nm のグレーティング長 $100 \mu\text{m}$ 以上での反射率と半値全幅の結果を示す。
- [図8]グレーティング溝深さを 20 、 40 、 60nm にした場合のグレーティング長 $50 \sim 1000 \mu\text{m}$ での反射率と半値全幅の結果を示す。
- [図9]グレーティング溝深さを $20 \sim 100\text{nm}$ で変化させ、グレーティング長を $100 \mu\text{m}$ としたときの、反射率と半値全幅の結果を示す。
- [図10]FBGセンサの構成例を示すブロック図である。
- [図11]リッジ溝の深さ T_r を $0.1 \mu\text{m}$ から $1.2 \mu\text{m}$ にしたときの、光導波路の横モード：基本モードの実効屈折率（等価屈折率）の計算結果である。
- [図12]図 11 で計算した光導波路の基本モードの水平方向と垂直方向のスポットサイズの計算結果である。

発明を実施するための形態

- [0019] 図 1 ～図 3 に示すように、反射型光センサ素子 9 には、半導体レーザ光 A が入射する入射面 11 a と所望波長の出射光 B を出射する出射面 11 b を有する光学材料層 11 が設けられている。C は反射光である。光学材料層 11 の光導波路 18 内には、ブラッググレーティング 12 が形成されている。光学材料層 11 の入射面 11 a とブラッググレーティング 12 との間には、回折格子のない伝搬部 13 が設けられている。7 B は、光学材料層 11 の入射面側に設けられた無反射膜であり、7 C は、光学材料層 11 の出射面側に設けられた無反射膜である。光導波路 18 はリッジ型光導波路であり、基板 1

0上に設けられている。光導波路18は、ブラッググレーティング12と同一面に形成されていてもよく、相対する面に形成されていてもよい。

[0020] 無反射層7B、7Cの反射率は、グレーティング反射率よりも小さい値であればよく、さらに0.1%以下が好ましい。しかし、端面における反射率がグレーティング反射率よりも小さい値であれば、無反射層はなくてもよい。

[0021] 図2、図3に示すように、本例では、支持基板10上に接着層15、下側バッファ層16を介して光学材料層11が形成されており、光学材料層11上に上側バッファ層17が形成されている。光学材料層11には例えば一對のリッジ溝19が形成されており、リッジ溝の間にリッジ型の光導波路18が形成されている。

[0022] 本例では、リッジ溝が完全に切り込まれていない。すなわち、各リッジ溝19下にはそれぞれ肉薄部11eが形成されており、各肉薄部11eの外側に延在部11fが形成されている。本発明においては、リッジ溝19は光学材料層11を完全に切り込まず、リッジ溝19の底面とバッファ層との間に肉薄部11eを残留させる。

[0023] この場合、ブラッググレーティングは平坦面11c面に形成していてもよく、11d面に形成していてもよい。ブラッググレーティング、およびリッジ溝の形状ばらつきを低減するという観点では、ブラッググレーティングを11c面上に形成することによって、ブラッググレーティングとリッジ溝19とを基板の反対側に設けることが好ましい。

[0024] また、図4に示す素子9Aでは、基板10上に接着層15、下側バッファ層16を介して光学材料層11が形成されており、光学材料層11上に上側バッファ層17が形成されている。光学材料層11の支持基板10側には、例えば一對のリッジ溝19が形成されており、リッジ溝19の間にリッジ型の光導波路18が形成されている。この場合、ブラッググレーティングは平坦面11c側に形成していてもよく、リッジ溝のある11d面に形成していてもよい。ブラッググレーティング、およびリッジ溝の形状ばらつきを低減

するという観点では、ブラッググレーティングを平坦面 11c 面側に形成することによって、ブラッググレーティングとリッジ溝 19 とを基板の反対側に設けることが好ましい。また、上側バッファ層 17 はなくてもよく、この場合、空気層が直接グレーティングに接することができる。これによりグレーティング溝が有る無しで屈折率差を大きくすることができ、短いグレーティング長で反射率を大きくすることができる。

[0025] このようなリッジ型の光導波路は、リッジ溝を完全に切り込んだ構造（肉薄部 11e が設けられておらず、延在部 11f が形成されている構造）と比較して、光の閉じ込めを弱くすることができる。このため光のスポット形状が大きくなっても横モード：マルチモードが励振されにくく、基本モードを励振することができる。このためマルチモードの影響がなくノイズの小さいセンサを実現できる。

[0026] FBG センサは、温度や歪の変化を光波長の変化として検出するものである。図 10 に一般的な構成を示す。

[0027] まず、センサ本体 23 内に本発明の反射型光センサ素子 24 を設置する。広帯域光 21 を反射型光センサ素子 24 に入射する。入射側には、ブラッグ波長の反射光 22 が反射され、また出射側にもブラッグ波長の出射光 25 が出射する。この際、屈折率が周期的に変化している部分の反射は、前述したように、(1) 式に示したブラッグ波長で反射し (λ_0)、その他の波長は透過するという特性を持つ。そして、測定対象の温度、歪みなどに応じて反射光の波長が変化するので、この波長変化から測定対象の温度、歪みなどの環境変化をセンシングできる。

[0028] 以下、本発明の前記条件について更に述べる。

本発明では、厚さ T_s （図 3、図 4 参照）が $0.5 \mu m$ 以上、 $3.0 \mu m$ 以下の極めて薄く、光の閉じ込めの強い光学材料層を前提とする。

[0029] この上で、光導波路の材質の屈折率 n_b は 1.8 以上とする。これにより屈折率の温度変化を大きくでき、温度センサとして高感度化可能である。また、前記 (8) 式の応力による屈折率の変化を大きくすることができ、湿度

センサとして高感度化できる。この観点からは、 n_b は1.9以上であることが更に好ましい。また、 n_b の上限は特にはないが、グレーティングピッチが小さくなりすぎて形成が困難になることから4以下であるが、さらに3.6以下であることが好ましい。また、同じ観点で光導波路の等価屈折率は3.3以下であることが好ましい。

[0030] グレーティング素子をセンサに使用する場合には、出力光がガウス分布の光スポット形状が必要であり、横モードが基本モードとなることが望まれる。したがって、グレーティング素子の光導波路は、レーザ光によってマルチモードが励振されないように、基本モード導波路であることが好ましい。

[0031] 図11は、光学材料層を Ta_2O_5 として屈折率2.08、厚み $T_s = 1.2 \mu m$ 、リッジ幅 $W_m = 3 \mu m$ の場合に溝深さ T_r を $0.1 \mu m$ から $1.2 \mu m$ にしたとき、波長800nmにおける光導波路の横モード：基本モードの実効屈折率（等価屈折率）の計算結果である。

[0032] この結果から、 T_r が 0.1 から $0.4 \mu m$ までは基板に光が漏れ基板モードで光伝搬している。 T_r が 0.5 から $1.1 \mu m$ までは実効屈折率が変化せず、リッジ導波モードで伝搬する。しかし、完全に切り込まれた T_r が $1.2 \mu m$ では、実効屈折率が増加して閉じ込めが強くなることがわかる。

[0033] 図12は、図11で計算した光導波路の基本モードの水平方向と垂直方向のスポットサイズの計算結果である。この結果から、 T_r を大きくすると、水平方向のスポットサイズは小さくなり、閉じ込めが強くなることがわかる。その後、 T_r が $0.5 \mu m$ から完全に切り込まれた $1.2 \mu m$ まで水平方向のスポット形状はほとんど変化しない。また、垂直方向は T_r に依存せず、ほぼ一定値になることがわかる。

[0034] センサの場合、レーザ光がグレーティング素子の基本モードを効率よく励振するために、グレーティング素子の光スポット形状はレーザ光のスポット形状よりも大きくすることが好ましく、光学材料層の厚みは $0.5 \mu m$ 以上が好ましい。また、厚みが大きいとマルチモードの影響を抑えることが難しくなり、この観点で光学材料層の厚みは $3 \mu m$ 以下が好ましく、さらに2.

5 μm 以下が好ましい。

[0035] 溝深さ T_r は、前述した観点からは、光学材料層の材質を変更した場合にも、光学材料層の厚み T_s で規格化することができることを確認した。すなわち、 T_r/T_s は 0.4 以上が好ましく、0.9 以下であることが好ましい。

[0036] センサにグレーティング素子を使用する場合には、前述のように横モード：基本モードが好ましい。しかし、レーザ光の導波路への結合を高効率にするためには光学材料層の厚みは 0.5 μm 以上が好ましく、導波路はマルチモード化しやすくなる。

[0037] 光導波路が横モード：マルチモードであるときに、それぞれの導波モードの実効屈折率に対応して複数のグレーティング反射波長が存在する。このためマルチモードに対応したレーザ発振が起こってしまう。しかし、基本モードと高次モードの実効屈折率の差を大きくし、高次モードの反射波長が光源のレーザの発振波長外にシフトできれば励振されることなく基本モード光でセンシング動作することができる。この観点で基本モードと高次モードの反射波長の差は 2.5 nm 以上が好ましく、さらに 3 nm 以上が好ましい。

[0038] 光源 2 として半導体レーザを使用する場合には、レーザのゲイン範囲が小さく発振波長範囲が狭いので基本モード光をさらに容易に得ることができる。

[0039] 一对のリッジ溝を形成した光導波路をグレーティング素子は閉じ込めを弱くすることができるので横モード：マルチモードが発生しにくい。またマルチモードが発生しても基本モードとの差を大きくできマルチモードの励振を抑えることができる。この観点において、 T_r/T_s は下限値として 0.4 以上が好ましく、さらに 0.55 が好ましい。上限値については 0.9 以下が好ましく、さらに 0.75 以下であることが好ましい。

[0040] 表 1 には、各種材料の α_n と α_Λ の特性を示す。この結果、FBG に比べて大きく高感度化可能であることがわかる。歪みセンサの場合にも応力による屈折率の変動は、FBG より大きく、高感度化可能である。

[0041]

[表1]

	n	$\frac{\partial n}{\partial T} \cdot \frac{1}{n}$	α_{Λ}	$\frac{\partial \lambda_G}{\partial T}$
FBG	1.49	9×10^{-6}	3	0.01
GaAs	3.62	1.1×10^{-4}	6.9	0.08
zLN	2.17	1.4×10^{-4}	5	0.1
xLN	2.25	4.4×10^{-5}	16	0.05
単位	—	—	ppm/°C	nm/°C

- [0042] 本発明の反射型光センサ素子では、ブラッグ反射率のピークにおける半値全幅 $\Delta\lambda_g$ は、0.8 nm以上、6.0 nm以下とする。ブラッグ反射波長を容易に判定するためには、半値全幅 $\Delta\lambda_g$ が広い方がよく、このため0.8 nm以上とし、1.5 nm以上が好ましい。また、半値全幅が広くなりすぎると、ピークとなる反射率がフラットになり、反射波長を判定できにくくなる。この観点からは、半値全幅 $\Delta\lambda_g$ を6 nm以下とするが、4 nm以下が好ましい。
- [0043] なお、 λ_g はブラッグ波長である。すなわち、横軸にブラッググレーティングによる反射波長をとり、縦軸に反射率をとったとき、反射率が最大となる波長をブラッグ波長とする。またブラッグ波長を中心とするピークにおいて、反射率がピークの半分になる二つの波長の差を半値全幅 $\Delta\lambda_g$ とする。
- [0044] 本発明では、ブラッググレーティングを構成する凹凸の深さ t_d は、20 nm以上、250 nm以下とする。ブラッグ反射の反射率を大きくしセンシングの信頼性を上げるという観点からは、凹凸深さ t_d を20 nm以上とするが、30 nm以上が更に好ましい。また、光の伝搬損失を低減する観点からは、 t_d は250 nm以下とするが、200 nm以下が更に好ましい。グレーティングの深さを深くするほど、グレーティング長が短くても大きな反射率を得ることが可能である。
- [0045] 本発明の反射型光センサ素子では、例えば、反射率は3%以上あれば検知が可能であるので、グレーティング長は10 μm 以上とすることが好ましい。またグレーティング長が1000 μm を超えると、反射率は100%以上となるので、これ以上にする必要はなく、グレーティングの損失が大きくなる。したがって、グレーティング長さは1000 μm 以下とすることが好ましく、小型化するという観点ではグレーティング長が300 μm 以下であることが更に好ましい。半値全幅を6 nm以下とするという観点からは、グレーティング長は200 μm 以下がいっそう好ましい。
- [0046] リッジ型の光導波路は、例えば外周刃による切削加工やレーザアブレーション

オン加工することによって物理的に加工し、成形することによって得られる。

[0047] ブラッググレーティングは以下のようにして物理的、あるいは化学的なエッチングにより形成することができる。

具体例として、Ni、Tiなどの金属膜を光学材料層に成膜し、フォトリソグラフィーにより周期的に窓を形成しエッチング用マスクを形成する。その後、反応性イオンエッチングなどのドライエッチング装置で周期的なグレーティング溝を形成する。最後に金属マスクを除去することにより形成できる。

[0048] 光学材料層中には、光導波路の耐光損傷性を更に向上させるために、マグネシウム(Mg)、亜鉛(Zn)、スカンジウム(Sc)及びインジウム(In)からなる群より選ばれる1種以上の金属元素を含有させてもよく、この場合、マグネシウムが特に好ましい。また結晶中には、ドーパ成分として、希土類元素を含有させることができる。希土類元素としては、特にNd、Er、Tm、Ho、Dy、Prが好ましい。

[0049] 接着層の材質は、無機接着剤であってよく、有機接着剤であってよく、無機接着剤と有機接着剤との組み合わせであってよい。

[0050] また、光学材料層11は、支持基体上に薄膜形成法によって成膜して形成してもよい。こうした薄膜形成法としては、スパッタ、蒸着、CVDを例示できる。この場合には、光学材料層11は支持基体に直接形成されており、上述した接着層は存在しない。

[0051] 支持基体の具体的材質は特に限定されず、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、石英ガラスなどのガラスや水晶、Si、サファイア、窒化アルミニウム、SiCなどを例示することができる。

[0052] 無反射層の反射率は、グレーティング反射率以下である必要があり、無反射層に成膜する膜材としては、二酸化珪素、五酸化タンタルなどの酸化物で積層した膜や、金属類も使用可能である。

[0053] また、グレーティング素子の各端面は、それぞれ、端面反射を抑制するた

めに斜めカットしていてもよい。また、グレーティング素子と支持基板の接合は、図3の例では接着固定だが、直接接合でもよい。

[0054] 好適な実施形態においては、感度向上という観点からは、反射型光センサ素子の反射率は3%以上、40%以下に設定することが好ましい。この反射率は、5%以上が更に好ましく、また、25%以下が更に好ましい。

[0055] 好適な実施形態においては、伝搬部の長さ L_m は、 $100\mu m$ 以下とする（図1参照）。さらに外部共振器の長さを短くするという観点で $40\mu m$ 以下が好ましい。これによって安定した発振が促進される。また、伝搬部の長さ L_m の下限値は特にないが、 $10\mu m$ 以上が好ましく、 $20\mu m$ 以上が更に好ましい。

実施例

[0056] （実施例1）

図1～図3に示すような素子を作製した。

具体的には、石英基板にスパッタ装置にてTa205を $1.2\mu m$ 成膜して導波路層を形成した。次に、Ta205上にTiを成膜して、フォトリソグラフィー技術によりy軸方向にグレーティングパターンを作製した。その後、Tiパターンをマスクにしてフッ素系の反応性イオンエッチングにより、ピッチ間隔 $\Lambda 232nm$ 、長さ $L_b 5\sim 100\mu m$ 、 $300\mu m$ 、 $500\mu m$ 、 $1000\mu m$ のグレーティング溝を形成した。グレーティングの溝深さは20、40、60、100、160、200、350nmとした。さらにy軸伝搬の光導波路を形成するために、上記と同様な方法で反応性イオンエッチングにより、幅 $W_m 3\mu m$ 、 $Tr 0.5\mu m$ の溝加工を実施した。

[0057] その後、ダイシング装置にてバー状に切断し、両端面を光学研磨し、両端面を0.1%のARコートを形成し、最後にチップ切断を行い、反射型光センサ素子を作製した。素子サイズは幅1mm、長さ $L_{wg} 500\mu m$ とした。

[0058] グレーティング素子の光学特性は、広帯域波長光源であるスーパー・ルミネッセンス・ダイオード（SLD）を使用して、グレーティング素子にTEモードの光を入力して出力光を光スペクトルアナライザで分析することにより、その

透過特性から反射特性を評価した。測定した反射の中心波長はすべて 945 ± 1 nmであった。

[0059] 溝深さが200nmの場合、グレーティング長 $30 \mu\text{m} \sim 70 \mu\text{m}$ までの反射特性結果を図5に示す。この結果からグレーティング長が短くなるにつれ、反射率が小さくなることがわかった。

[0060] さらにグレーティング長 $10 \mu\text{m} \sim 1000 \mu\text{m}$ までの反射率と反射半値全幅の結果を図6に示す。この結果から、グレーティング長 $9 \mu\text{m}$ では、反射率2%、半値全幅7nmとなるが、 $10 \mu\text{m}$ ($17 \mu\text{m}$) 以上では、反射率3% (20%) 以上となり、半値全幅は6nm (5nm) 以下となる。

[0061] グレーティング溝深さが200nmと350nmのグレーティング長 $100 \mu\text{m}$ 以上での反射率と半値全幅の結果を図7に示す。この結果から、この深さ、長さでは反射率は100%、半値全幅も一定値となった。

[0062] また、グレーティング溝深さ20、40、60nmにした場合のグレーティング長 $50 \sim 1000 \mu\text{m}$ の反射率と半値全幅の結果を図8に示す。この溝深さの領域では、グレーティング長によって大きく反射率を制御できることがわかる。半値全幅はグレーティング長が $400 \mu\text{m}$ 以下では単調増加する傾向がある。深さ20nmではグレーティング長 $200 \mu\text{m}$ 以上になると半値全幅が0.8nmよりも小さくなる。

[0063] (実施例2)

z板MgOドープのニオブ酸リチウム結晶基板にTiを成膜して、フォトリソグラフィー技術によりy軸方向にグレーティングパターンを作製した。その後、Tiパターンをマスクにしてフッ素系の反応性イオンエッチングにより、ピッチ間隔 $\Lambda 214\text{nm}$ 、長さ $L_b 100 \mu\text{m}$ のグレーティング溝を形成した。グレーティングの溝深さは20、40、60nmとした。また、y軸伝搬の光導波路を形成するために、エキシマレーザにて、グレーティング部に、幅 $W_m 3 \mu\text{m}$ 、 $T_r 0.5 \mu\text{m}$ の溝加工を実施した。さらに、溝形成面に SiO_2 からなるバッファ層17をスパッタ装置で $0.5 \mu\text{m}$ 成膜し、支持基板としてブラックLN基板を使用してグレーティング形成面を接着した。

[0064] 次に、ブラックLN基板側を研磨定盤に貼り付け、グレーティングを形成したLN基板の裏面を精密研磨して $1.2\mu\text{m}$ の厚み(Ts)とした。その後、定盤からはずし研磨面をスパッタにてSiO₂からなるバッファ層17を $0.5\mu\text{m}$ 成膜した。

[0065] その後、ダイシング装置にてバー状に切断し、両端面を光学研磨し、両端面を0.1%のARコートを形成し、最後にチップ切断を行い、図1および図4に示すグレーティング素子を作製した。素子サイズは幅1mm、長さLwg $500\mu\text{m}$ とした。

[0066] グレーティング素子の光学特性は、広帯域波長光源であるスーパー・ルミネッセンス・ダイオード(SLD)を使用して、グレーティング素子にTEモードの光を入力して出力光を光スペクトルアナライザで分析することにより、その透過特性から反射特性を評価した。結果を図9に示す。

[0067] この結果から、LN、Ta₂O₅はほぼ同じことがわかる。TEモードに対して中心波長945nm、最大反射率は20%で、半値全幅 $\Delta\lambda_0$ は2nmの特性を得た。

[0068] (実施例3)

y板MgOドープのニオブ酸リチウム結晶基板にTiを成膜して、フォトリソグラフィ技術によりy軸方向にグレーティングパターンを作製した。その後、Tiパターンをマスクにしてフッ素系の反応性イオンエッチングにより、ピッチ間隔 Λ 224nm、長さLb $100\mu\text{m}$ のグレーティング溝を形成した。グレーティングの溝深さは20、40、60nmとした。また、x軸伝搬の光導波路を形成するために、エキシマレーザにて、グレーティング部に、幅Wm $3\mu\text{m}$ 、Tr $0.5\mu\text{m}$ の溝加工を実施した。さらに、溝形成面にSiO₂からなるバッファ層16をスパッタ装置で $0.5\mu\text{m}$ 成膜し、支持基板としてブラックLN基板を使用してグレーティング形成面を接着した。

[0069] 次に、ブラックLN基板側を研磨定盤に貼り付け、グレーティングを形成したLN基板の裏面を精密研磨して $1.2\mu\text{m}$ の厚み(Ts)とした。その後、定盤からはずし研磨面をスパッタにてSiO₂からなるバッファ層17を $0.5\mu\text{m}$ 成膜した。

[0070] その後、ダイシング装置にてバー状に切断し、両端面を光学研磨し、両端面を0.1%のARコートを形成し、最後にチップ切断を行いグレーティング素子を作製した。素子サイズは幅1mm、長さ L_{wg} 500 μ mとした。

[0071] グレーティング素子の光学特性は、広帯域波長光源であるスーパ・ルミネッセンス・ダイオード（SLD）を使用して、グレーティング素子にTEモードの光を入力して出力光を光スペクトルアナライザで分析することにより、その透過特性から反射特性を評価した。

[0072] この結果から、反射率と半値全幅は素子実施例2と同じ結果となった。LN、Ta2O5はほぼ同じ反射率と半値全幅になることがわかる。このときTEモードに対して中心波長945nm、最大反射率は20%で、半値全幅 $\Delta\lambda_g$ は2nmの特性を得た。

また、波長が変わっても600~1.55 μ mの波長領域ではほとんど同じ反射率、半値全幅が得られることがわかった。

請求の範囲

[請求項1]

支持基板、

前記支持基板上に設けられ、厚さ $0.5 \mu\text{m}$ 以上、 $3.0 \mu\text{m}$ 以下の光学材料層、

半導体レーザ光が入射する入射面と所望波長の出射光を出射する出射面を有するリッジ型光導波路、

このリッジ型光導波路内に形成された凹凸からなるブラッググレーティング、および

前記入射面と前記ブラッググレーティングとの間に設けられている伝搬部を備えており、下記式(1)～式(3)の関係が満足されることを特徴とする、反射型光センサ素子。

$$0.8 \text{ nm} \leq \Delta \lambda_g \leq 6.0 \text{ nm} \cdots (1)$$

$$20 \text{ nm} \leq t_d \leq 250 \text{ nm} \cdots (2)$$

$$n_b \geq 1.8 \cdots (3)$$

(式(1)において、 $\Delta \lambda_g$ は、ブラッグ反射率のピークにおける半値全幅である。

式(2)において、 t_d は、前記ブラッググレーティングを構成する凹凸の深さである。

式(3)において、 n_b は、前記ブラッググレーティングを構成する材質の屈折率である。)

[請求項2]

前記リッジ型光導波路が前記光学材料層に一对のリッジ溝によって形成されていることを特徴とする、請求項1記載の素子。

[請求項3]

前記リッジ溝の深さ T_r の前記光学材料層の厚さ T_s に対する比率 (T_r / T_s) が 0.4 以上、 0.9 以下であることを特徴とする、請求項2記載の素子。

[請求項4]

下記式(4)の関係が満足されることを特徴とする、請求項1～3

のいずれか一つの請求項に記載の素子。

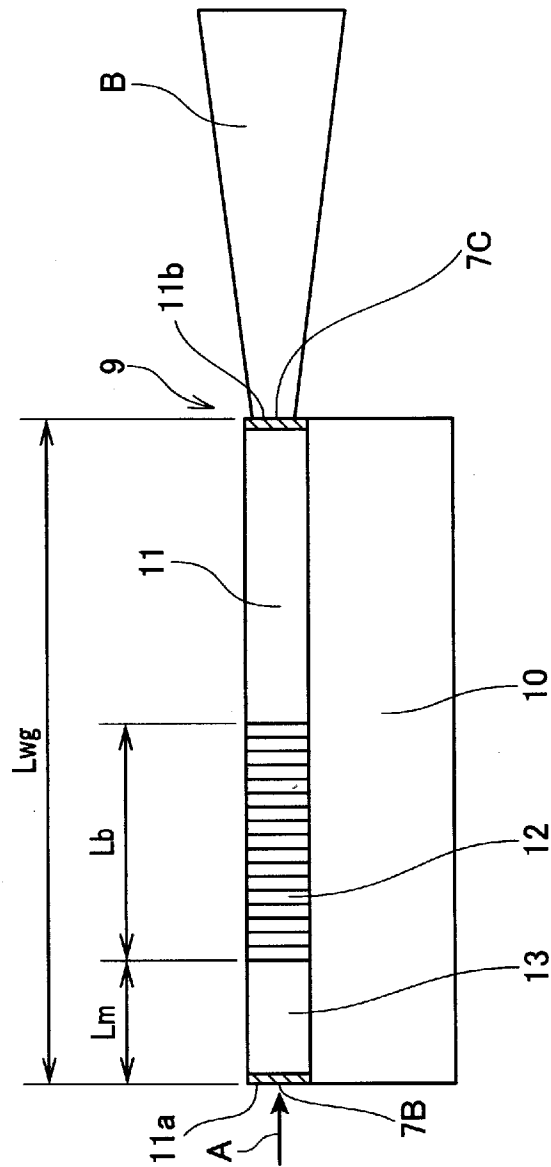
$$10\mu\text{m} \leq L_b \leq 1000\mu\text{m} \quad \cdots (4)$$

(式(4)において、 L_b は、前記ブラッググレーティングの長さである。)

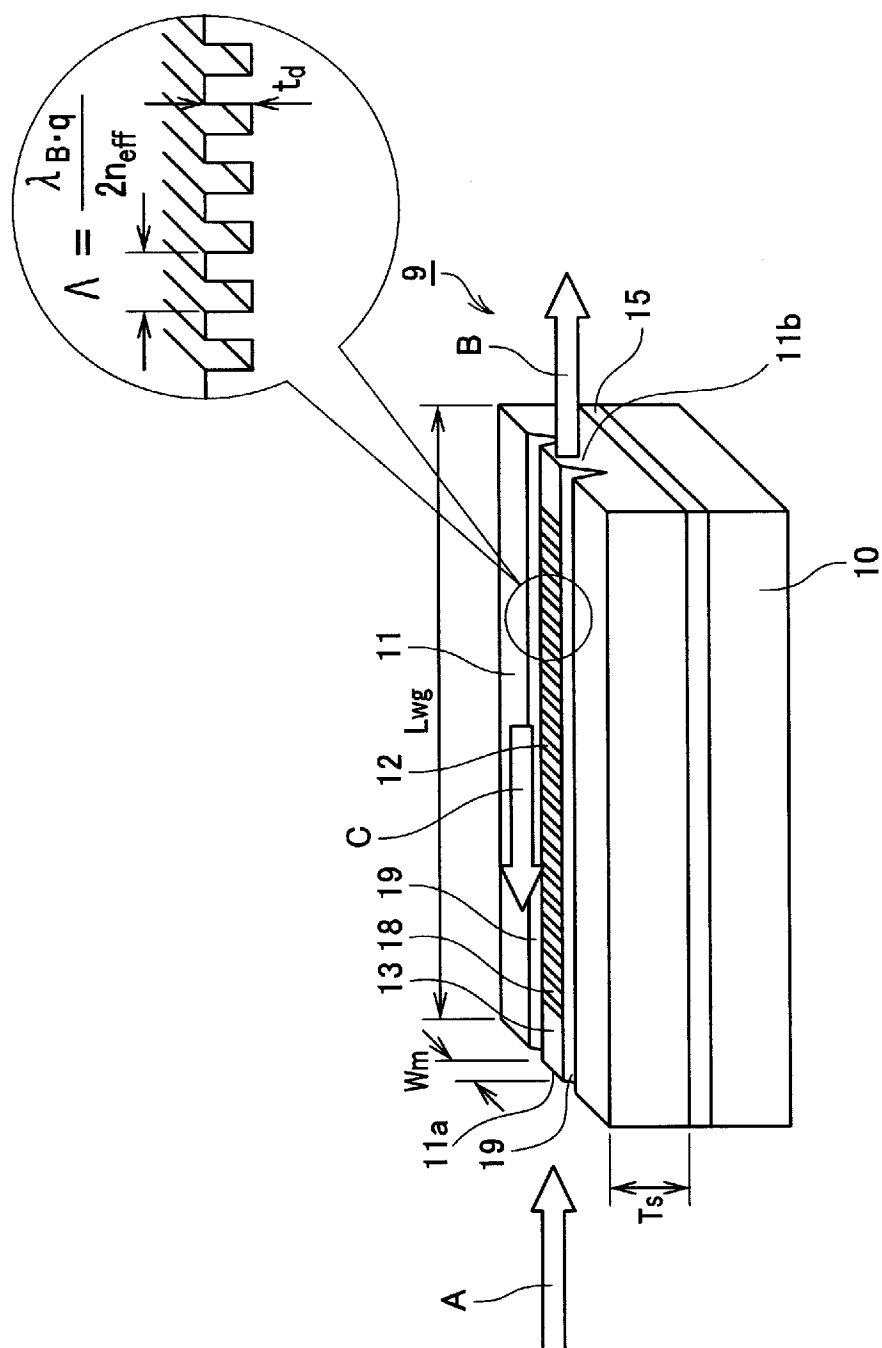
[請求項5] 前記ブラッググレーティングを構成する前記材質が、ガリウム砒素、ニオブ酸リチウム単結晶、タンタル酸リチウム単結晶、酸化タンタル、酸化亜鉛、酸化ニオブ、リン化インジウムおよび酸化アルミナからなる群より選択されることを特徴とする、請求項1～4のいずれか一つの請求項に記載の素子。

[請求項6] 前記リッジ型光導波路の横モードがマルチモードであって、前記反射型光センサを構成した場合に出力する光の横モードが基本モードであることを特徴とする、請求項1～5のいずれか一つの請求項記載の素子。

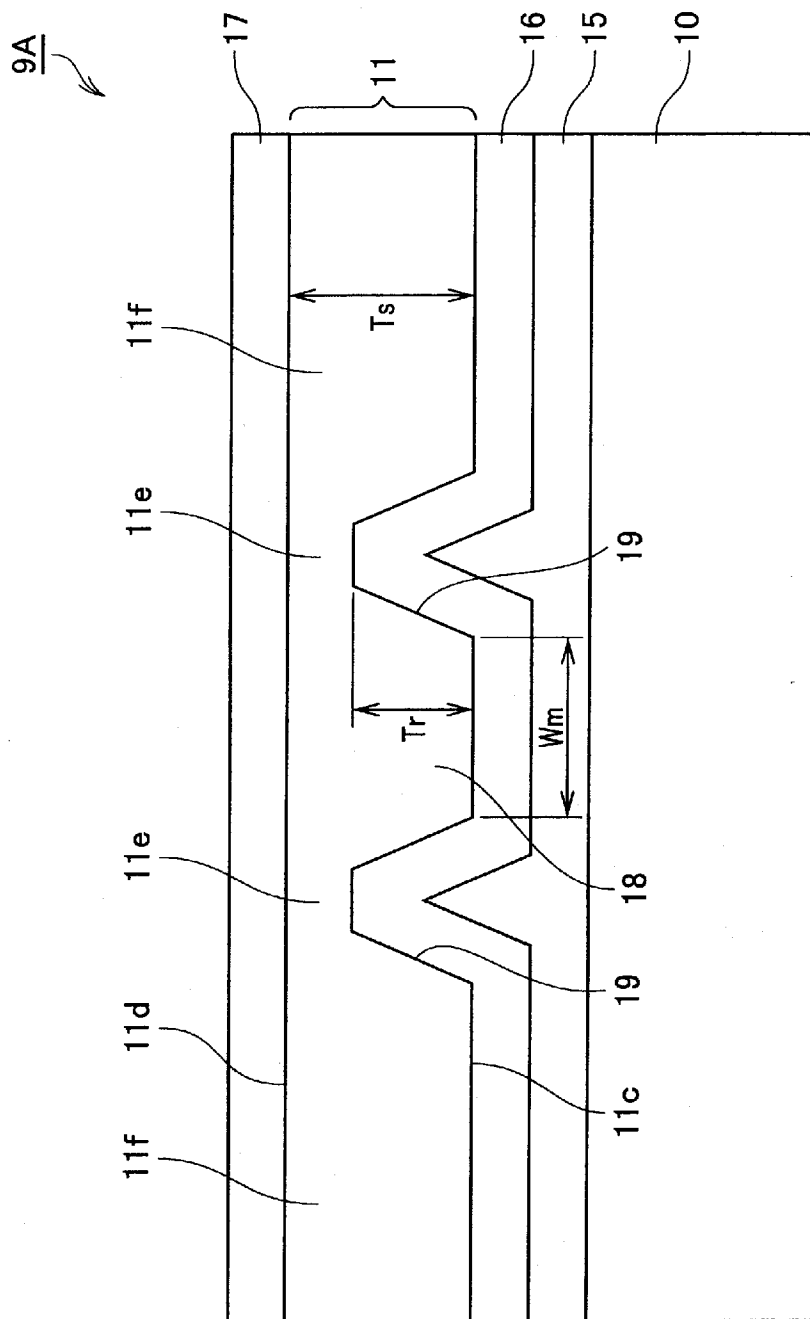
[図1]



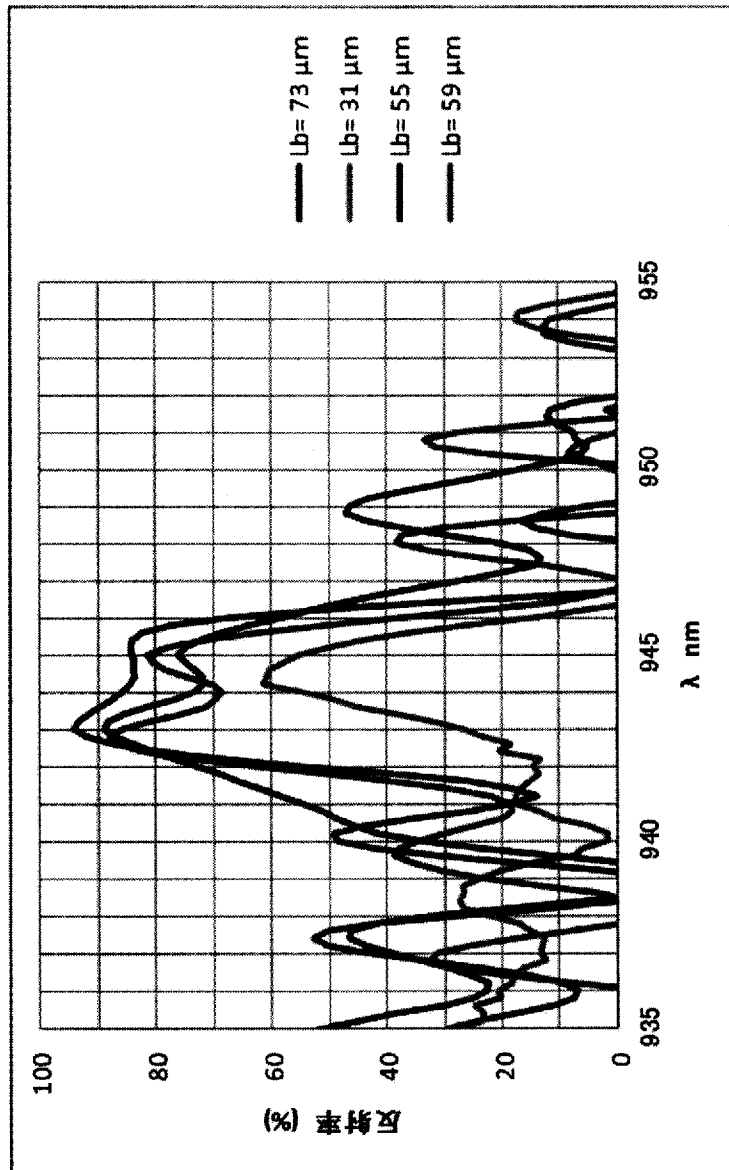
[図2]



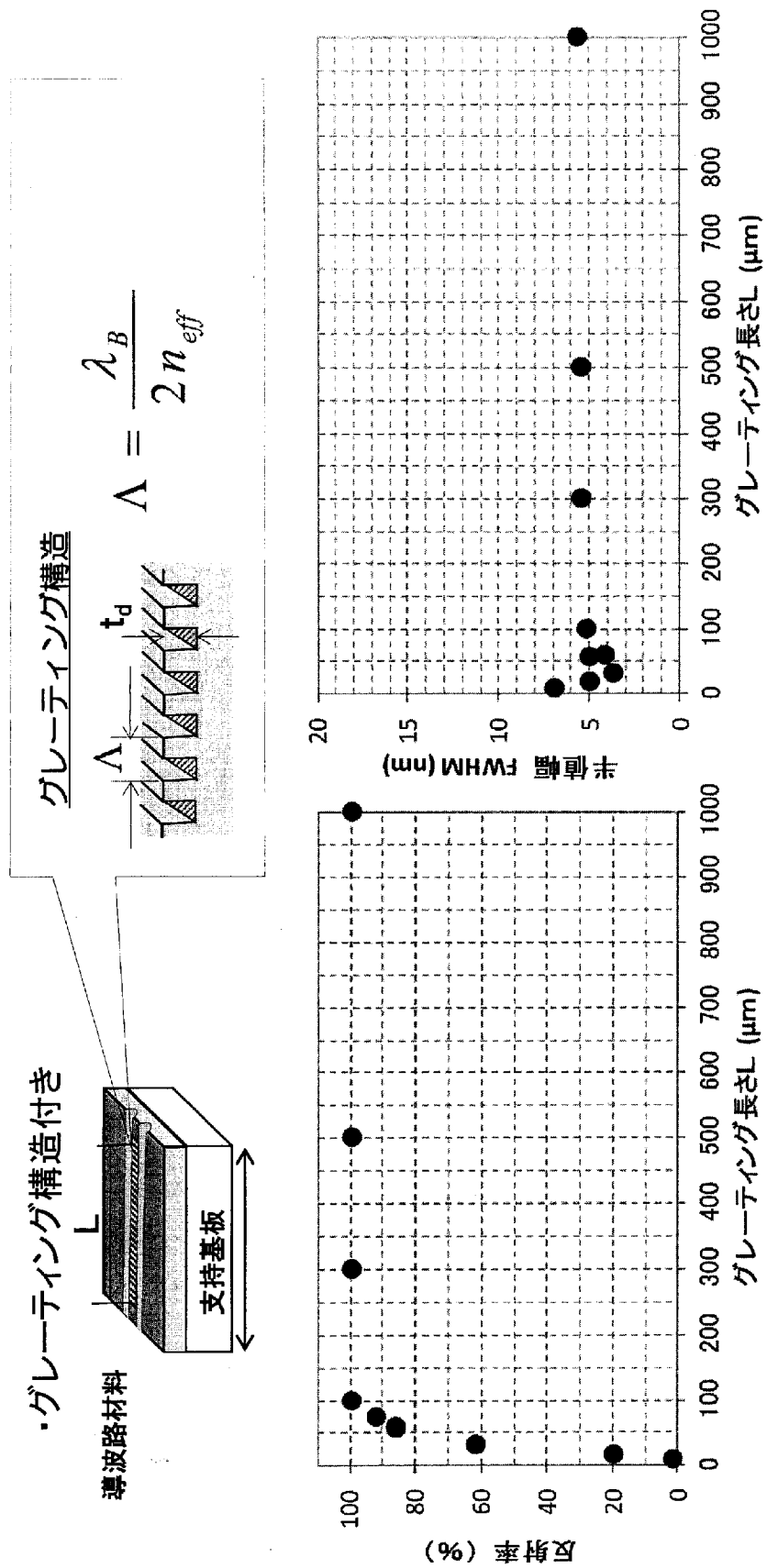
[図4]



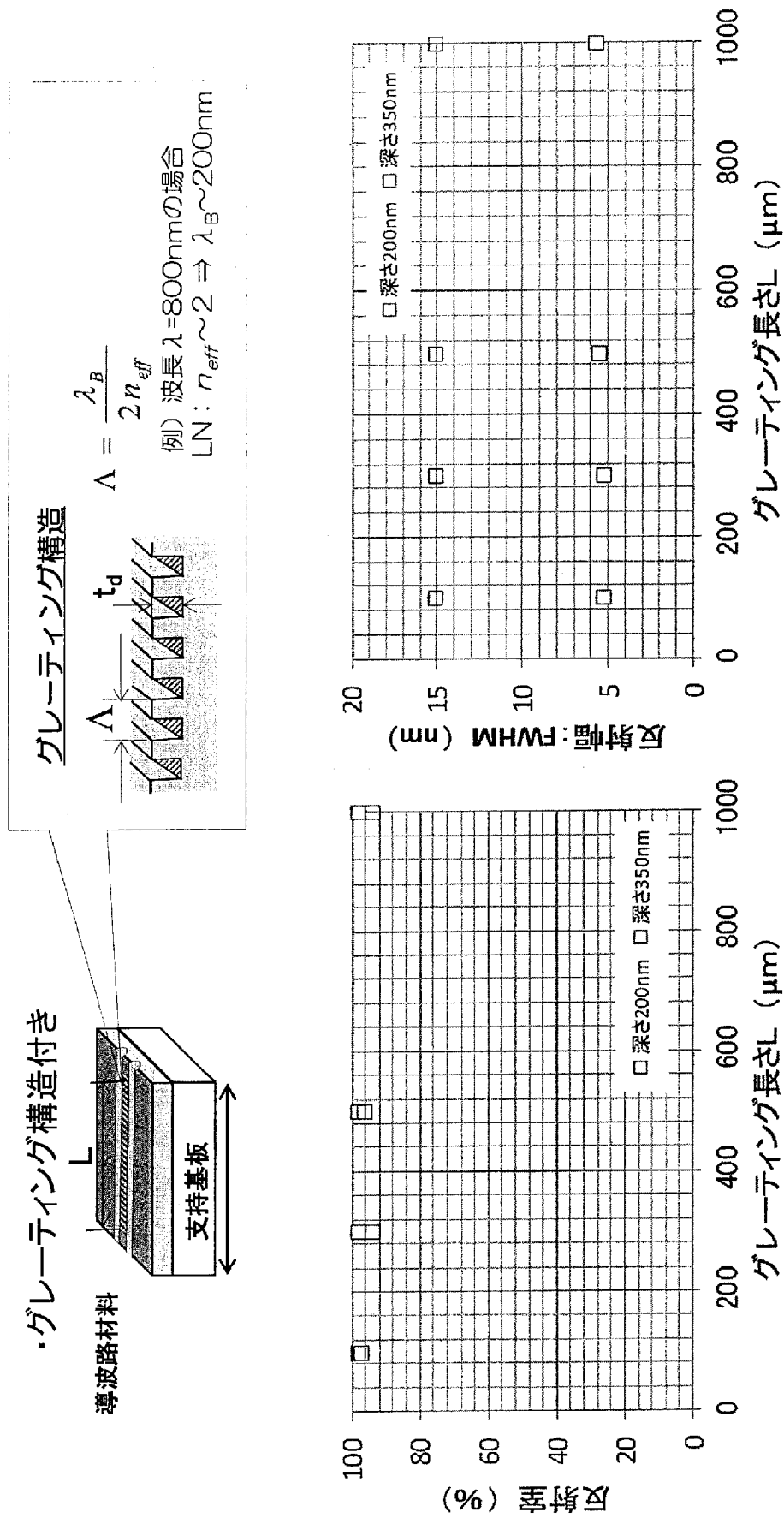
[図5]



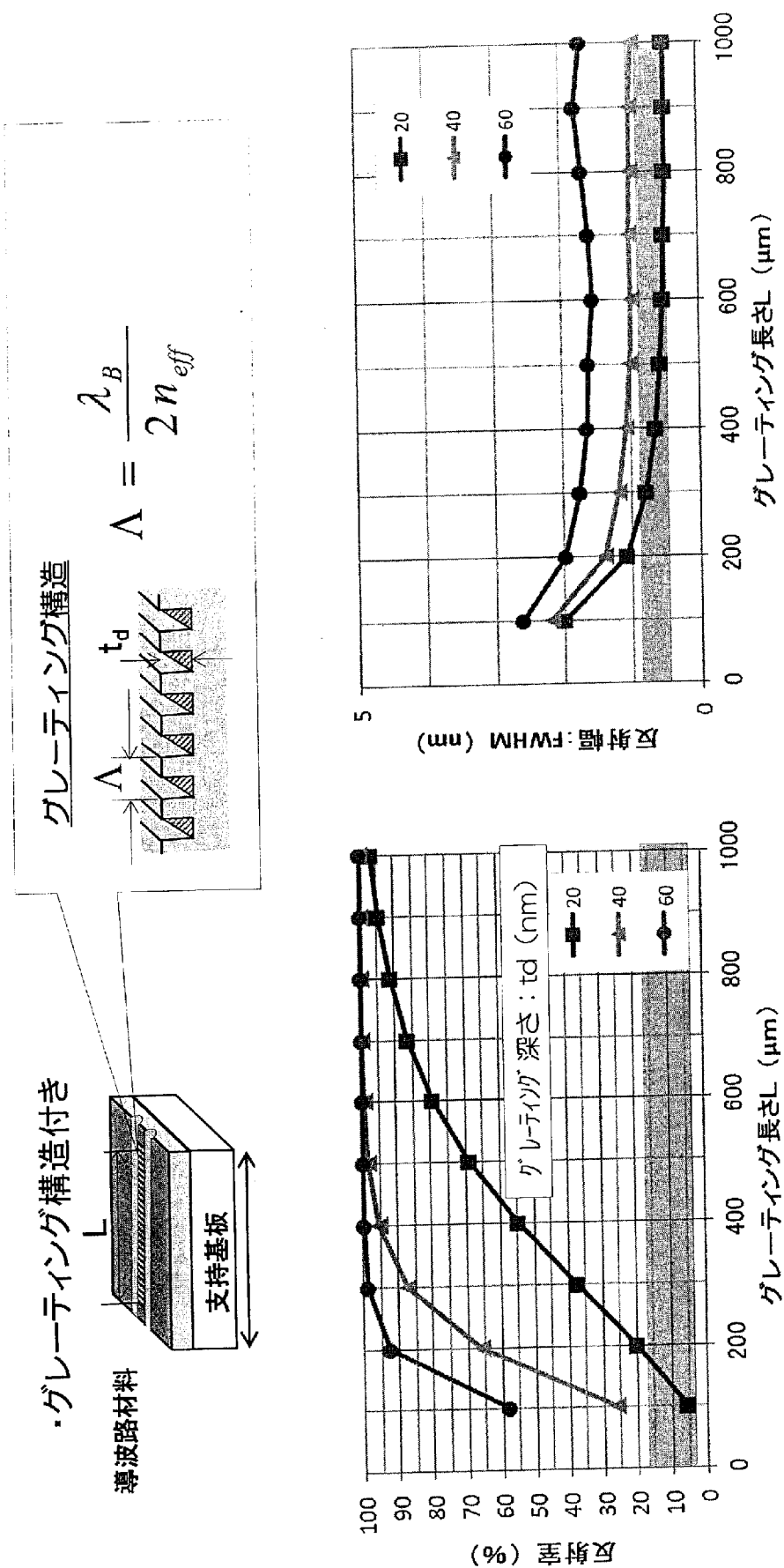
[図6]



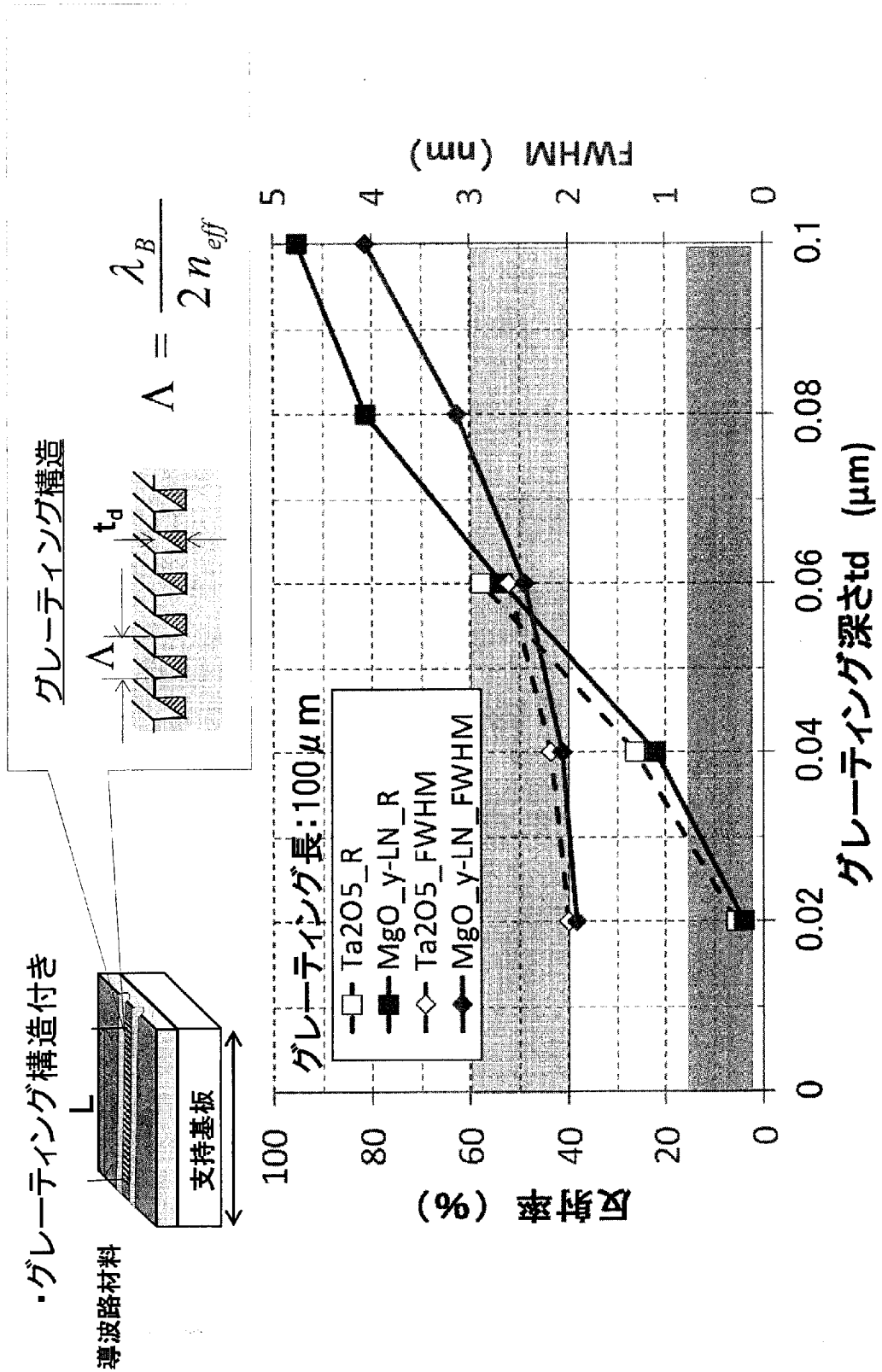
[図7]



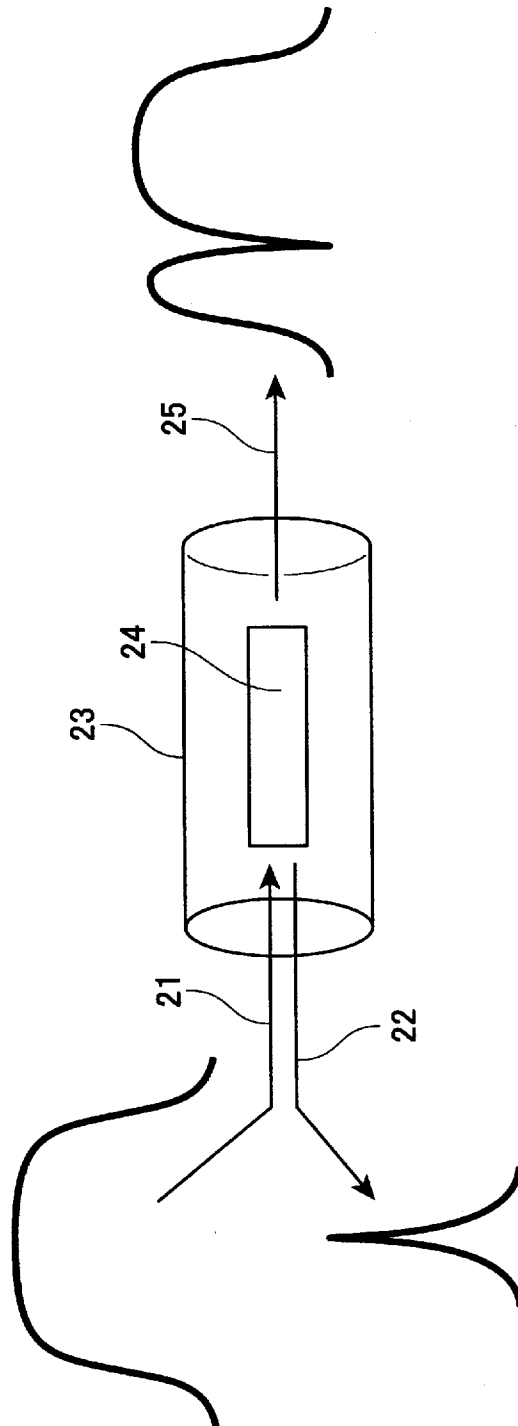
[図8]



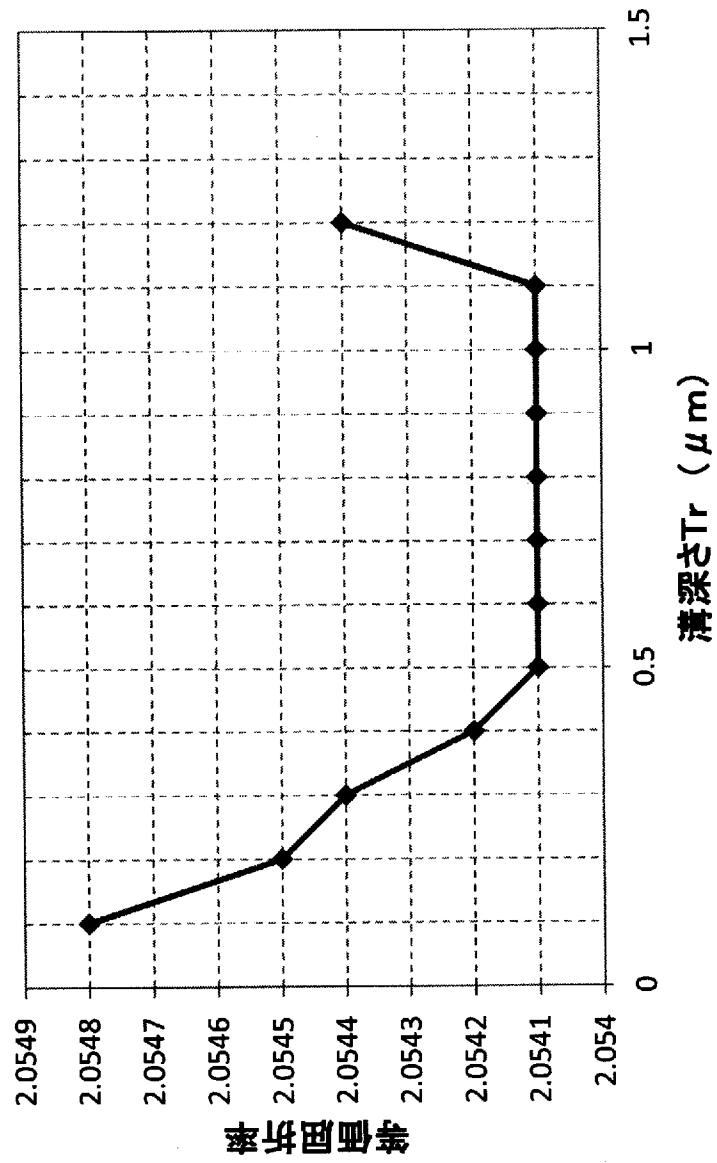
[図9]



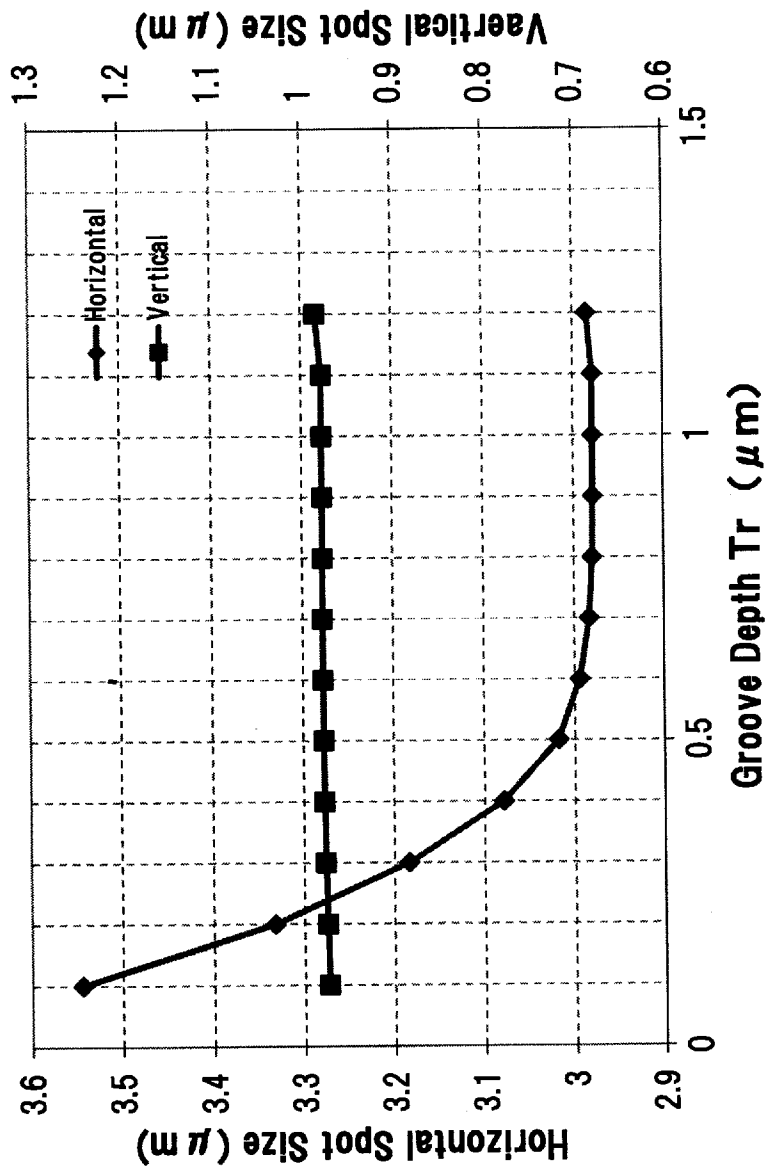
[図10]



[図11]



[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/080579

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01D5/26(2006.01)i, G01K11/12(2006.01)i, G02B6/124(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01D5/26, G01D5/353, G01K11/12, G02B6/124

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2007-78395 A (Denso Corp.), 29 March 2007 (29.03.2007), entire text; all drawings & US 2007/0058901 A1 & DE 102006040235 A	1-6
A	JP 2000-221085 A (Fuji Electric Co., Ltd.), 11 August 2000 (11.08.2000), entire text; all drawings (Family: none)	1-6
A	JP 11-326966 A (NGK Insulators, Ltd., Pioneer Corp.), 26 November 1999 (26.11.1999), entire text; all drawings & EP 962809 A2 & DE 69924424 D & DE 69924424 T	1-6

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search
27 January 2015 (27.01.15)

Date of mailing of the international search report
10 February 2015 (10.02.15)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/080579

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 11-326967 A (NGK Insulators, Ltd., Pioneer Corp.), 26 November 1999 (26.11.1999), entire text; all drawings & US 6204957 B1 & EP 957395 A2 & DE 69927633 D & DE 69927633 T	1-6

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01D5/26(2006.01)i, G01K11/12(2006.01)i, G02B6/124(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01D5/26, G01D5/353, G01K11/12, G02B6/124

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 5 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 5 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 5 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2007-78395 A（株式会社デンソー）2007.03.29, 全文全図 & US 2007/0058901 A1 & DE 102006040235 A	1-6
A	JP 2000-221085 A（富士電機株式会社）2000.08.11, 全文全図（ファミリーなし）	1-6
A	JP 11-326966 A（日本碍子株式会社, パイオニア株式会社）1999.11.26, 全文全図 & EP 962809 A2 & DE 69924424 D & DE 69924424 T	1-6

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

2 7 . 0 1 . 2 0 1 5

国際調査報告の発送日

1 0 . 0 2 . 2 0 1 5

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

櫻井 仁

2 F

9 0 0 8

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 1 6

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 11-326967 A (日本碍子株式会社, パイオニア株式会社) 1999. 11. 26, 全文全図 & US 6204957 B1 & EP 957395 A2 & DE 69927633 D & DE 69927633 T	1-6