

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6573405号
(P6573405)

(45) 発行日 令和1年9月11日(2019.9.11)

(24) 登録日 令和1年8月23日(2019.8.23)

(51) Int.Cl.		F I			
GO 1 L	1/24	(2006.01)	GO 1 L	1/24	A
GO 1 L	1/00	(2006.01)	GO 1 L	1/00	B
GO 1 L	5/00	(2006.01)	GO 1 L	5/00	A
			GO 1 L	1/00	G
			GO 1 L	5/00	1 O 1 Z

請求項の数 9 (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2017-509919 (P2017-509919)
 (86) (22) 出願日 平成28年3月25日 (2016.3.25)
 (86) 国際出願番号 PCT/JP2016/059673
 (87) 国際公開番号 W02016/158776
 (87) 国際公開日 平成28年10月6日 (2016.10.6)
 審査請求日 平成31年2月21日 (2019.2.21)
 (31) 優先権主張番号 特願2015-65790 (P2015-65790)
 (32) 優先日 平成27年3月27日 (2015.3.27)
 (33) 優先権主張国・地域又は機関
 日本国 (JP)

(73) 特許権者 504133110
 国立大学法人電気通信大学
 東京都調布市調布ヶ丘一丁目5番地1
 (74) 代理人 100107766
 弁理士 伊東 忠重
 (74) 代理人 100070150
 弁理士 伊東 忠彦
 (72) 発明者 古川 怜
 東京都調布市調布ヶ丘一丁目5番地1 国立大学法人電気通信大学内
 審査官 公文代 康祐

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 応力センサ、応力センサシステム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

発生した応力を光の波長変化に変換する応力センサであって、
 第1の色素を分散させたコアと、
 所定の励起光によって励起された前記第1の色素の発光波長を励起波長として発光する
 第2の色素を分散させたクラッドと、を有し、
 前記コアの入射端から入射した前記所定の励起光を含む照明光を、発生した応力の大き
 さに応じた波長の光に変換して前記コアの出射端で得ることを特徴とする応力センサ。

【請求項2】

前記第2の色素の発光波長は可視光域にあることを特徴とする請求項1に記載の応力センサ。

10

【請求項3】

前記第1の色素の発光波長は可視光域にあることを特徴とする請求項2に記載の応力センサ。

【請求項4】

前記コア及び前記クラッドは、一体としてファイバ型光導波路またはスラブ型光導波路を形成することを特徴とする請求項1乃至3の何れか1項に記載の応力センサ。

【請求項5】

前記照明光を、前記クラッドへ入射させず前記コアの入射端から入射させる照明光入射補助部材を有することを特徴とする請求項1乃至4の何れか1項に記載の応力センサ。

20

【請求項 6】

前記照明光入射補助部材は、

前記クラッドへの前記照明光の入射を防ぐ遮光マスク、または前記コアへ前記照明光が入射するように集光する集光レンズであることを特徴とする請求項 5 に記載の応力センサ。

【請求項 7】

発生した応力に応じた光の波長変化に基づいて前記応力を検知する応力センサシステムであって、

請求項 1 乃至 6 の何れか 1 項に記載の応力センサと、

前記照明光を前記コアの入射端に入射させる光源と、

前記コアの出射端で得られる光の波長を検出する光検出器と、を有することを特徴とする応力センサシステム。

【請求項 8】

前記光検出器は、

前記コアの出射端で得られる光を画像として取得する撮影手段と、

前記画像に基づいて前記コアの出射端で得られる光の波長を認識する画像処理手段と、を備えていることを特徴とする請求項 7 に記載の応力センサシステム。

【請求項 9】

前記応力センサを複数個備え、

前記光源は、複数個の前記応力センサのそれぞれの前記コアの入射端に前記照明光を入射させ、

それぞれの前記コアの出射端は 1 箇所に集められて観測部を形成し、

前記撮影手段は、前記観測部を形成するそれぞれの前記コアの出射端の画像を取得することを特徴とする請求項 8 に記載の応力センサシステム。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、応力センサ及び応力センサシステムに関する。

【背景技術】**【0002】**

応力センサシステムの 1 つとしての光ファイバ歪みセンシングシステムは、光ファイバケーブルを広い範囲にわたって神経のように敷設することにより、局所的な歪みを捉えることができるため、構造物のヘルスマニタリングに有効とされる。既に一部のトンネルでは、BOTDR (Brillouin Optical Time Domain Reflectometry) や FBG (Fiber Bragg Grating) などによる光ファイバ歪みセンシングシステムがヘルスマニタリングに使用されている。

【0003】

このセンシングシステムは、多地点の歪みを示すセンサの情報を 1 本の線で収集する構成になっているため、受光部に近い箇所で光ファイバが断線してしまうと、それ以降の範囲の情報が全く入らなくなる。また、断線や停電などで送電が途切れてトンネル内の電力が確保できなくなった場合は機能が失われる。

【0004】

さらに、仮にセンサの情報を、ネットワークを通じて遠方の監視室で挙動を感知した場合であっても、その情報が現場に伝えられるためにはトンネルラジオなどといった通信手段が機能していなければならない。これらの送電及びネットワークが 1 つでも途切れると、BOTDR や FBG による監視システムは機能を失う。

【0005】

また、これらの従来の技術では、パルス光を用いた応力位置の特定や温度補償などといった複雑な技術が使用されており、取り扱うためには高い専門性が要求され機器自体も高価である。このような理由で、BOTDR や FBG による監視システムは、普及に至って

10

20

30

40

50

いない。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2011-53145号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

上述した従来の光ファイバによるヘルスマモニタリング技術は、歪みによる異常を光の変化で検知し、電気信号として処理するものであるが、取り扱いに高い専門性が要求され機器自体も高価である。

10

【0008】

本発明の課題は、安価で、取り扱いが簡単な応力センサ及び応力センサシステムを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本応力センサは、発生した応力を光の波長変化に変換する応力センサであって、第1の色素を分散させたコアと、所定の励起光によって励起された前記第1の色素の発光波長を励起波長として発光する第2の色素を分散させたクラッドと、を有し、前記コアの入射端から入射した前記所定の励起光を含む照明光を、発生した応力の大きさに応じた波長の光に変換して前記コアの出射端で得ることを特徴とする。

20

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、安価で、取り扱いが簡単な応力センサ及び応力センサシステムを提供できる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本発明の実施例1に係る応力センサで使用される光導波路を示す図である。

【図2】本発明の実施例1に係る応力センサの構成を示す図である。

【図3】本発明の実施例1に係る応力センサの変形例の構成を示す図である。

30

【図4A】本発明の実施例1に係る応力センサの光導波路に応力がかかった状態を説明するための図(その1)である。

【図4B】本発明の実施例1に係る応力センサの光導波路に応力がかかった状態を説明するための図(その2)である。

【図5】本発明の実施例1に係る応力センサによって応力の発生が検知される様子を示す図である。

【図6】本発明の実施例1に係る応力センサにおける吸光分布と発光色の関係を説明するための図である。

【図7】本発明の実施例1に係る応力センサにおいて、応力の変化に伴う光ファイバの端面の色調の変化を説明するための図である。

40

【図8】本発明の実施例1に係る応力センサを用いた光ファイバ歪みセンシングシステムの構成を示す図である。

【図9】本発明の実施例1に係る応力センサを構成する光導波路の他の構成例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下、本発明の実施の形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。

[実施例1]

図1は、本発明の実施例1に係る応力センサで使用される光導波路1の構造を示す図である。この光導波路1は、コア11とクラッド12とからなる。コア11は、その内部に

50

第1の色素であるドナー色素21を分散させて構成され、クラッド12は、その内部に第2の色素であるアクセプタ色素22を分散させて構成される。ドナー色素21及びアクセプタ色素22としては、それぞれ光を吸収し発光する蛍光色素（発光材料）を用いることができる。ドナー色素21は、所定の励起光によって発光し、アクセプタ色素22は、ドナー色素21の発光光を励起光として発光する関係（以下、ペアという）にある。これらの色素としては、量子発光効率が高く、熱耐性が高く、経年退色しにくく、母材への相溶性が高いものが望ましい。

【0013】

ペアとなるドナー色素21とアクセプタ色素22としては、下記の物質の組み合わせを用いるのが好ましい。候補の物質例を以下に挙げる。

10

[色素（蛍光体）として使える材料]

- ・ シアニン誘導体
- ・ フタロシアニン誘導体
- ・ ローダミン誘導体
- ・ ペリレン誘導体
- ・ クマリン誘導体
- ・ フルオレセイン誘導体
- ・ ピラン誘導体
- ・ 半導体量子ドット蛍光体（GaAs, CdSe, InP, CuInS/ZnSなどを原料とする数nm～数十nmの直径の粒子）
- ・ 希土類蛍光体（一般的に白色LEDに使われているEu²⁺, Ce³⁺, Mg⁴⁺などの発光イオンを持つ蛍光体である。主に青色を吸収するためドナー色素としての使用が現実的である。）

20

[ペアの例]

ペアの例を表1に示す。

【0014】

【表 1】

ドナー色素	アクセプタ色素	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ 2,3,6,7-tetrahydro-11-oxo-1H,5H,11H-[1]benzopyrano[6,7,8-ij]quinolizine-10-carboxylic acid, ethyl ester ➤ 2,3,6,7-tetrahydro-1,1,7,7-tetramethyl 11-oxo-1H,5H,11H-[1]benzopyrano[6,7,8-ij]quinolizine-10-carboxylic acid, ethyl ester ➤ 2,3,6,7-tetrahydro-10-(3-pyridinyl)-1H,5H,11H-[1]benzopyrano[6,7,8-ij]quinolizin-11-one ➤ 7-(diethylamino)-3-(1-methyl-1H-benzimidazol-2-yl)-2H-1-benzopyran-2-one ➤ 2,3,6,7-tetrahydro-11-oxo-1H,5H,11H-[1]benzopyrano[6,7,8-ij]quinolizine-10-carboxylic acid; ➤ 10-acetyl-2,3,6,7-tetrahydro-1H,5H,11H-[1]benzopyrano[6,7,8-ij]quinolizin-11-one ➤ 10-Acetyl-2,3,6,7-tetrahydro-1,1,7,7-tetramethyl-1H,5H,11H-[1]benzopyrano[6,7,8-ij]quinolizin-11-one ➤ Coumarine 522 β ➤ 2,3,6,7-tetrahydro-11-oxo-1H,5H,11H-[1]benzopyrano[6,7,8-ij]quinolizin-10-carbonitrile ➤ 3-(1H-benzimidazol-2-yl)-7-(diethylamino)-2H-1-benzopyran-2-one; ➤ Coumarine 540A ➤ 2,3,6,7-tetrahydro-9-(trifluoromethyl)-1H,5H,11H-[1]benzopyrano[6,7,8-ij]quinolizin-11-one ➤ Fluorescein-5-isothiocyanate ➤ Y₃Al₅O₁₂:Ce³⁺ ➤ Si_{6-z}Al_zO₂N_{8-z}:Eu²⁺ ➤ Ba₂SiO₄:Eu²⁺ ➤ La₃Si₆N₁₁:Ce³⁺ 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 2-(6-amino-3-imino-3H-xanthen-9-yl)-benzoic acid, monochloride ➤ 2-(6-amino-3-imino-3H-xanthen-9-yl)-benzoic acid, monohydrochloride, perchlorate ➤ 2-[6-(ethylamino)-3-(ethylimino)-2,7-dimethyl-3H-xanthen-9-yl]-benzoic acid ➤ 2-[6-(ethylamino)-3-(ethylimino)-2,7-dimethyl-3H-xanthen-9-yl]-benzoic acid, perchlorate ➤ Rhodamine 6G ➤ (2-[6-(ethylamino)-3-(ethylimino)-2,7-dimethyl-3H-xanthen-9-yl]-benzoic acid, methyl ester, chloride ➤ 2-[6-(ethylamino)-3-(ethylimino)-2,7-dimethyl-3H-xanthen-9-yl]-benzoic acid, methyl ester, tetrafluoroborate ➤ 2-[6-(ethylamino)-3-(ethylimino)-2,7-dimethyl-3H-xanthen-9-yl]-benzoic acid, perchlorate 	<p>10</p> <p>20</p> <p>30</p>

光導波路 1 は、導波路構造であれば形状は問わないが、例えば、1メートル以上の長距離の検知を行う応力センサを構成する場合は、光ファイバ構造が望ましい。以下においては、光導波路 1 は光ファイバ構造を有するものとして説明する。

【0015】

光導波路 1 の材料としては、屈折率の調整が可能であって、かつ、色素の添加に適した透明材料、例えば、石英、高分子またはシリコンゴムなどを用いることができる。光導波路 1 を構成するためには、コア 11 の屈折率をクラッド 12 の屈折率よりも高くする必要がある。そのため、コア 11 には比較的屈折率が大きい材料が用いられ、クラッド 12 には比較的屈折率が小さい材料が用いられる。また、同一の材料に対して添加剤を加えることで屈折率を調整しても良い。

【0016】

これにより、光導波路 1 の一方の端面（以下、「入射端」という）から入った光が、コア 11 からクラッド 12 へ漏れ出ることなく、コア 11 内で反射しながら進行し、他方の端面（以下、「出射端」という）から放出される。

【0017】

光導波路 1 として用いられる光ファイバは、視認性の点で、その直径は 1 ミリメートル

40

30

50

前後またはそれ以上が望ましい。

【 0 0 1 8 】

図 2 は、本発明の実施例 1 に係る応力センサの構成を示す図である。この応力センサは、光導波路 1 の一端側に、その入射端を照明する光源 3 1 が配設され、同軸にクラッド用の遮光マスク 4 1 が付けられて構成されている。

【 0 0 1 9 】

光源 3 1 は、コア 1 1 に添加されたドナー色素 2 1 の吸収波長（励起波長）範囲を含む波長領域の光を照射する。光源 3 1 としては、レーザー、LED またはハロゲンランプなどの人工光源、または、蛍光灯や太陽光などの環境光（光が物体などによって散乱された間接光）を用いることができる。

10

【 0 0 2 0 】

遮光マスク 4 1 は、光源 3 1 からの光をコア 1 1 へ透過させつつ、クラッド 1 2 に入射するのを防ぐためのものである。本構成は遮光マスク 4 1 に限定させず、クラッド 1 2 への光の入射を防ぐことができ、コア 1 1 へのみ光を入射させることができればどのような構成であってもよい。例えば、遮光マスク 4 1 の代わりに図 3 に示すように、集光レンズ 4 3 を用いてコア 1 1 のみに光を入射させてもよい。

【 0 0 2 1 】

図 4 は、実施例 1 に係る応力センサの光導波路 1 に応力がかかった状態を説明するための図である。図 4 B は、光導波路 1 の一部に外力 F が加えられた場合に、その内部に応力 S が生じることを示し、図 4 A は、色素が添加された光導波路 1 に応力 S がかけると、コア 1 1 からクラッド 1 2 へと顕著に光 L が漏れ出すことを示している。この実施例 1 に係る応力センサは、この漏れ出した光 L の色調によって、応力 S の有無や大きさの検知を行う。

20

【 0 0 2 2 】

図 5 は、ユーザが応力センサによって応力の発生を検知する様子を示す図である。照明光が光導波路 1 の入射端に照射されると、照明光は遮光マスク 4 1 によってその一部が遮られてコア 1 1 にのみ照射される。ユーザは、出射端に現れる色調を視認することで応力の発生の有無や大きさを検知する。すなわち、光導波路 1 の一部に応力が発生すると、コア 1 1 から光 L が漏れ出してクラッド 1 2 へ入り、光導波路 1 の出射端（ユーザが観測する側の端面）の色調が変化する。ユーザは、この出射端の色調を見て応力の発生の有無や大きさを検知する。

30

【 0 0 2 3 】

図 6 (a) は、光源 3 1 として、疑似白色光を発する白色 LED が使用される場合の照明光の強度 (arbitrary unit、以下 a . u .) と波長 (n m) の関係を示す図である。この光源 3 1 で発生された疑似白色の照明光に含まれる青色成分によってコア 1 1 に分散されたドナー色素 2 1 が励起される。

【 0 0 2 4 】

図 6 (b) は、ドナー色素 2 1 によって発生される光の強度 (a . u .) と波長 (n m) の関係を示す図である。図中の破線は、ドナー色素 2 1 の吸光分布を示しており、ドナー色素 2 1 が、破線によって示される波長の範囲の光を吸収することを示している。また、図中の実線は、ドナー色素 2 1 の発光分布（蛍光分布）を示しており、ドナー色素 2 1 が、実線によって示される波長の範囲の光を発光することを示している。よって、応力がなければ、コア 1 1 からクラッド 1 2 へ光が漏れ出すことがなく、図中に実線で示すようなドナー色素 2 1 による発光色（緑色）が見られる。

40

【 0 0 2 5 】

図 6 (c) は、アクセプタ色素 2 2 によって発生される光の強度 (a . u .) と波長 (n m) の関係を示す図である。図中に示す破線は、アクセプタ色素 2 2 の吸光分布を示している。応力があるとコア 1 1 においてドナー色素 2 1 によって発生される光（発光光がクラッド 1 2 へ漏れ出して、破線によって示される波長の範囲において、クラッド 1 2 のアクセプタ色素 2 2 に渡る。これにより、実線で示すようなアクセプタ色素 2 2 による発

50

光色（黄色）が見られる。

【0026】

図7は、応力の変化に伴って光導波路1を構成する光ファイバの出射端の色調の変化を説明するための図である。応力がない場合は、図7のaに示すように、出射端のコア11の部分のみが「緑色」になり、クラッド12の部分は変化しない。応力が大きくなると、図7のcに示すように、出射端のコア11の部分が「暗色」になり、クラッド12の部分は「黄色」に変化する。応力が上記の間である場合は、図7のbに示すように、出射端のコア11の部分が応力の大きさに応じた「淡緑色」になり、クラッド12の部分は応力の大きさに応じた「淡黄色」になる。

【0027】

上記のように構成される実施例1に係る応力センサの動作を説明する。色素が添加された光導波路1に応力が発生すると、コア11からクラッド12へ顕著に光が漏れ出す。その漏光は、励起光によって励起されたドナー色素21の発光光である。ドナー色素21の発光光の発光波長はアクセプタ色素22の吸収波長に合致しているため、アクセプタ色素22が励起されて発光し、その結果、アクセプタ色素22の発光光がクラッド12を伝搬する。そして、出射端において、この変化がドナー色素21による発光光の発光波長からアクセプタ色素22による発光光の発光波長への変換という形で視覚によって捉えられる。

【0028】

すなわち、上述した応力センサは、応力によってコア11内の伝搬光が漏洩してクラッド12内の伝搬光となることに伴い、光導波路1の出射端の色がコア11内に分散されたドナー色素21の発光色からクラッド12に分散されたアクセプタ色素22の発光色へと変化する現象を目視により検知する。

【0029】

次に、上述した応力センサを複数用いて構成された応力センサシステムについて説明する。図8は、構造物の1つとしてのトンネルに、応力センサシステムを適用して光ファイバ歪みセンシングシステムを構成した例を示す図である。この光ファイバ歪みセンシングシステムは、トンネルの内表面または内部の周方向に、各々が光ファイバから成る複数の光導波路1が配置（接着または埋め込み）され、長距離の測定が可能になっている。

【0030】

また、各光導波路1の入射端には光源31が設けられ、他方の端部は1箇所に集められて出射端が見えるように結束されて観測部51が形成されている。この観測部51に色調を検出する光検出器を配置すれば、応力の発生の有無及び大きさを自動的に検出するように構成できる。この場合、光検出器は、撮影手段であるカメラと画像処理装置（画像処理手段）で構成し、カメラによって得られた画像を画像処理装置で処理して色調を認識することにより、応力の発生の有無及び大きさを自動的に検出するように構成できる。

【0031】

この光ファイバ歪みセンシングシステムにおいて、トンネルの特定箇所に応力が発生した場合、その特定箇所を経由するように配置された応力センサの光導波路1の出射端の色調変化が観測部にて検知される。これにより、ユーザは、トンネル内の応力が発生している箇所を把握できるので、不具合の発生を事前に防止することができる。

【0032】

なお、図8に示した例では、トンネルの内表面または内部の周方向に複数の光導波路1を配置した例を示したが、トンネルの内表面または内部の軸方向に複数の光導波路1を配置するように構成できる。また、トンネルの内表面または内部の周方向および軸方向の双方に複数の光導波路1を配置するように構成することもできる。この構成によれば、不具合の発生箇所を細かい精度で確認することができる。

【0033】

上述した実施例1に係る応力センサでは、光導波路1として光ファイバを用いたが、光ファイバのようなファイバ型光導波路に代えて、図9に示すような、フィルム状の薄膜が

10

20

30

40

50

らなるスラブ型光導波路を使用することもできる。

【0034】

以上説明したように、本発明の実施例1に係る応力センサによれば、

- (1) 環境光を利用して応力を検知できる。
- (2) 従来は必要であったスペクトラムアナライザを省くことができる。
- (3) 従来は必要であった温度補償の必要がなくなる。
- (4) 人の色覚で応力の検知を行うことができる。
- (5) 現場で時間差なく応力の検知を行うことができる。

【0035】

以上、好ましい実施の形態及について詳説したが、上述した実施の形態に制限されることはなく、特許請求の範囲に記載された範囲を逸脱することなく、上述した実施の形態に種々の変形及び置換を加えることができる。

10

【0036】

本国際出願は2015年3月27日に出願した日本国特許出願2015-065790号に基づく優先権を主張するものであり、日本国特許出願2015-065790号の全内容を本国際出願に援用する。

【産業上の利用可能性】

【0037】

本発明は、人の侵入を検知する侵入検知システム、航空機のひずみをモニタリングする航空機モニタリングシステムまたは盛土の中の状態を監視する盛土計測システムなどとして利用できる。

20

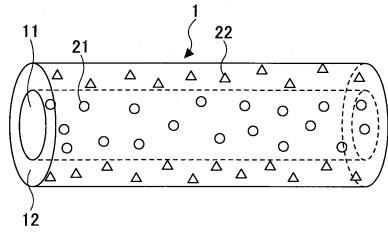
【符号の説明】

【0038】

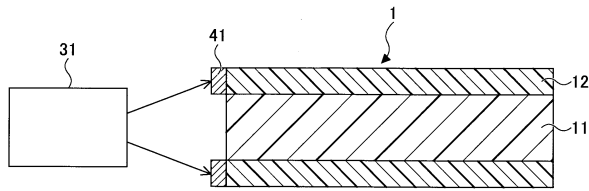
- 1 光導波路
- 11 コア
- 12 クラッド
- 21 ドナー色素
- 22 アクセプタ色素
- 31 光源
- 41 遮光マスク（照明光入射補助部材）
- 42 観測部（光検出器）
- 43 集光レンズ
- 51 観測部

30

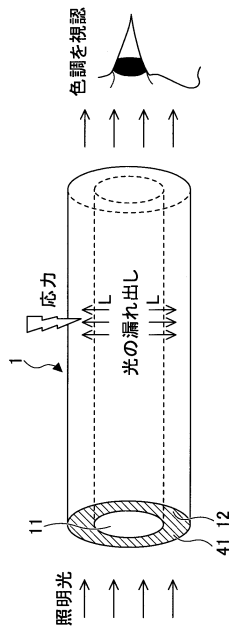
【図1】



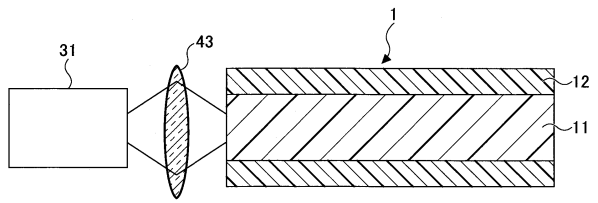
【図2】



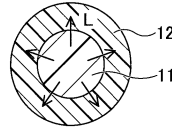
【図5】



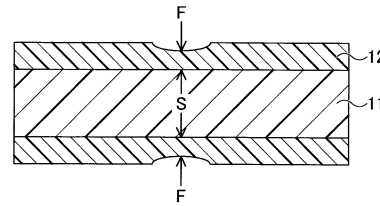
【図3】



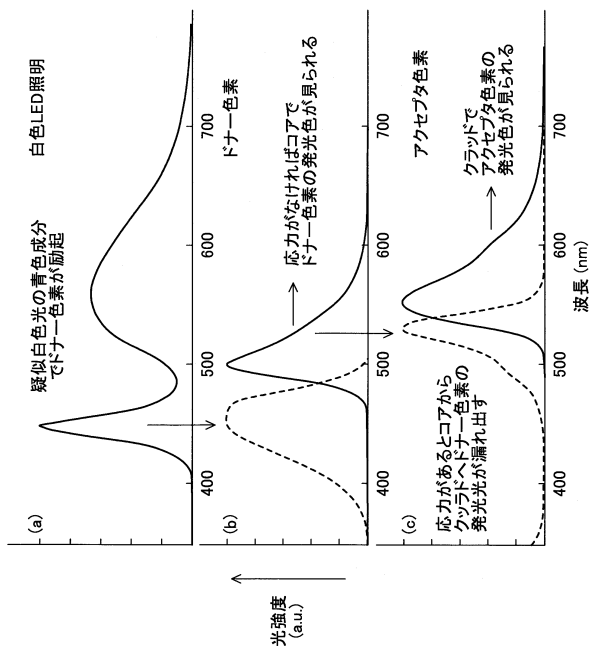
【図4A】



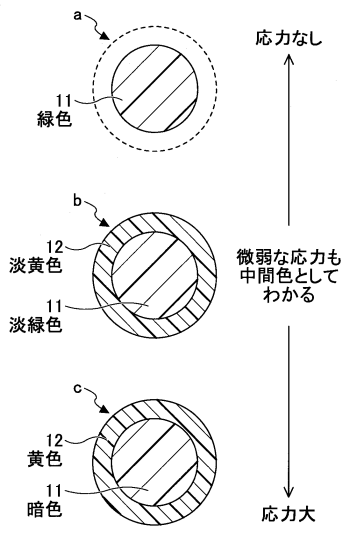
【図4B】



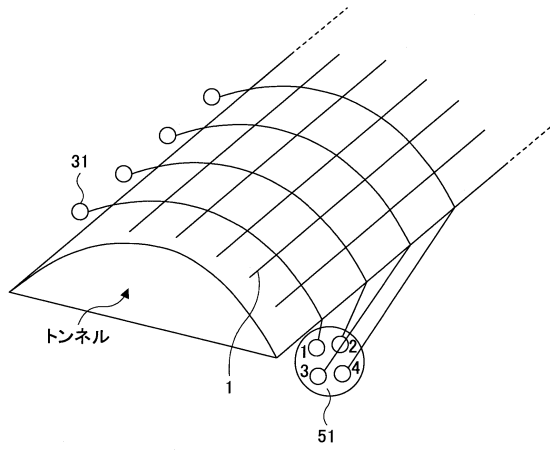
【図6】



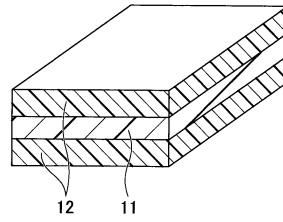
【図7】



【図8】



【図9】



フロントページの続き

(56)参考文献 米国特許第05499313 (US, A)

特開平01-219545 (JP, A)

特開平11-037799 (JP, A)

特開2016-075505 (JP, A)

溝呂木大地 ほか, 色素添加ポリマー光ファイバーの垂直応力下での出射光解析, 第62回応用物理学会春季学術講演会 講演予稿集, 日本, 東京: 応用物理学会, 2015年 2月26日, p. 11-427(13p-P15-20), ISBN 978-4-86348-483-2

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01L 1/24

G01L 1/00

G01L 5/00

G01B 11/16

G01N 21/00