

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7629467号
(P7629467)

(45)発行日 令和7年2月13日(2025.2.13)

(24)登録日 令和7年2月4日(2025.2.4)

(51)国際特許分類

G 0 1 T	1/00 (2006.01)	G 0 1 T	1/00	A
G 0 1 T	1/20 (2006.01)	G 0 1 T	1/20	B
G 0 1 T	1/203(2006.01)	G 0 1 T	1/203	
G 0 2 B	6/02 (2006.01)	G 0 2 B	6/02	3 9 1
G 0 2 B	6/44 (2006.01)	G 0 2 B	6/44	3 0 1 A

請求項の数 12 (全18頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2022-556400(P2022-556400)
 (86)(22)出願日 令和3年7月1日(2021.7.1)
 (86)国際出願番号 PCT/JP2021/025032
 (87)国際公開番号 WO2022/079956
 (87)国際公開日 令和4年4月21日(2022.4.21)
 審査請求日 令和6年5月29日(2024.5.29)
 (31)優先権主張番号 特願2020-173825(P2020-173825)
 (32)優先日 令和2年10月15日(2020.10.15)
 (33)優先権主張国・地域又は機関
 日本国(JP)

(73)特許権者 000001085
 株式会社クラレ
 岡山県倉敷市酒津1621番地
 (74)代理人 100103894
 弁理士 家入 健
 藤田 勝洋
 新潟県胎内市倉敷町2番28号 株式会
 社クラレ内
 (72)発明者 橋爪 透
 新潟県胎内市倉敷町2番28号 株式会
 社クラレ内
 審査官 中尾 太郎

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 プラスチックシンチレーションファイバ及びその製造方法

(57)【特許請求の範囲】**【請求項1】**

シンチレーション性を有する透明樹脂と、当該透明樹脂が発するシンチレーション光を吸収して長波長に変換する少なくとも1種類の第1蛍光体と、を含むコアと、

前記コアの外周面を覆うと共に、前記コアよりも低い屈折率を有するクラッド層と、

前記クラッド層の外周面を覆うと共に、重金属元素の化合物を含有する最外周層と、を備え、

前記コア、前記クラッド層、及び前記最外周層が一体形成されており、

前記最外周層が、シンチレーション性を有する樹脂と、当該シンチレーション性を有する樹脂が発するシンチレーション光を吸収して長波長に波長変換する少なくとも1種類の第2蛍光体を含む、

プラスチックシンチレーションファイバ。

【請求項2】

前記重金属元素が、鉛である、

請求項1に記載のプラスチックシンチレーションファイバ。

【請求項3】

前記重金属元素が、ビスマスである、

請求項1に記載のプラスチックシンチレーションファイバ。

【請求項4】

シンチレーション性を有する透明樹脂と、当該透明樹脂が発するシンチレーション光を

吸収して長波長に変換する少なくとも1種類の蛍光体と、を含むコアと、
前記コアの外周面を覆うと共に、前記コアよりも低い屈折率を有するクラッド層と、
前記クラッド層の外周面を覆うと共に、重金属元素の化合物を含有する最外周層と、を
備え、

前記コア、前記クラッド層、及び前記最外周層が一体形成されており、

前記最外周層が、シンチレーション性を有する樹脂を含み、

前記最外周層において、前記重金属元素の化合物が、前記シンチレーション性を有する
樹脂に共重合している、

プラスチックシンチレーションファイバ。

【請求項5】

10

前記コア、前記クラッド層、及び前記最外周層が、線引き加工によって一体形成されて
いる、

請求項1～4のいずれか一項に記載のプラスチックシンチレーションファイバ。

【請求項6】

20

前記最外周層のさらに外側に、前記最外周層を保護する保護層が一体形成されている、
請求項1～5のいずれか一項に記載のプラスチックシンチレーションファイバ。

【請求項7】

シンチレーション性を有する透明樹脂と、当該透明樹脂が発するシンチレーション光を
吸収して長波長に変換する少なくとも1種類の蛍光体と、を含むコアと、

前記コアの外周面を覆うと共に、前記コアよりも低い屈折率を有するクラッド層と、

前記クラッド層の外周面を覆うと共に、重金属元素の化合物を含有する最外周層と、を
備え、

前記コア、前記クラッド層、及び前記最外周層が一体形成されており、

前記クラッド層が、

インナークラッド層と、

前記インナークラッド層の外周面を覆うと共に、前記インナークラッド層よりも低い屈
折率を有するアウタークラッド層と、を含むマルチクラッド構造を有している、
プラスチックシンチレーションファイバ。

【請求項8】

30

シンチレーション性を有する透明樹脂と、当該透明樹脂が発するシンチレーション光を
吸収して長波長に変換する少なくとも1種類の蛍光体と、を含むコアと、

前記コアの最外周面を覆うと共に、前記コアよりも低い屈折率を有するクラッド層と、

前記クラッド層の最外周面を覆うと共に、重金属元素の化合物を含有する最外周層と、
を備え、

前記コア、前記クラッド層、及び前記最外周層が一体形成されており、

前記最外周層よりも外側に反射層を有する、

プラスチックシンチレーションファイバ。

【請求項9】

40

シンチレーション性を有する透明樹脂と、当該透明樹脂が発するシンチレーション光を
吸収して長波長に変換する少なくとも1種類の蛍光体と、を含むコアと、

前記コアの最外周面を覆うと共に、前記コアよりも低い屈折率を有するクラッド層と、

前記クラッド層の最外周面を覆うと共に、重金属元素の化合物を含有する最外周層と、
を備え、

前記コア、前記クラッド層、及び前記最外周層が一体形成されており、

前記最外周層のさらに外側に、前記最外周層を保護する保護層が一体形成されており、

前記保護層よりも外側に反射層を有する、

プラスチックシンチレーションファイバ。

【請求項10】

前記反射層が金属膜である、

請求項8又は9に記載のプラスチックシンチレーションファイバ。

50

【請求項 1 1】

シンチレーション性を有する透明樹脂と、当該透明樹脂が発するシンチレーション光を吸収して長波長に変換する少なくとも 1 種類の第 1 蛍光体と、を含むコアと、

前記コアの外周面を覆うと共に、前記コアよりも低い屈折率を有するクラッド層と、

前記クラッド層の外周面を覆うと共に、重金属元素の化合物を含有する最外周層と、を備えたプラスチックシンチレーションファイバの製造方法であって、

前記最外周層用の第 1 円筒体の内部に前記クラッド層用の第 2 円筒体を挿入し、当該第 2 円筒体の内部に前記コア用のロッドを挿入し、プリフォームを作製する工程と、

前記プリフォームを加熱しつつ線引き加工する工程と、を備え、

前記最外周層が、シンチレーション性を有する樹脂と、当該シンチレーション性を有する樹脂が発するシンチレーション光を吸収して長波長に波長変換する少なくとも 1 種類の第 2 蛍光体を含む、

プラスチックシンチレーションファイバの製造方法。

【請求項 1 2】

シンチレーション性を有する透明樹脂と、当該透明樹脂が発するシンチレーション光を吸収して長波長に変換する少なくとも 1 種類の第 1 蛍光体と、を含むコアと、

前記コアの外周面を覆うと共に、前記コアよりも低い屈折率を有するクラッド層と、

前記クラッド層の外周面を覆うと共に、重金属元素の化合物を含有する最外周層と、を備えたプラスチックシンチレーションファイバの製造方法であって、

前記コアを覆う前記クラッド層の表面に、前記最外周層をコーティングし、

前記最外周層が、シンチレーション性を有する樹脂と、当該シンチレーション性を有する樹脂が発するシンチレーション光を吸収して長波長に波長変換する少なくとも 1 種類の第 2 蛍光体を含む、

プラスチックシンチレーションファイバの製造方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0 0 0 1】**

本発明は、プラスチックシンチレーションファイバ及びその製造方法に関する。

【背景技術】**【0 0 0 2】**

従来のプラスチックシンチレーションファイバ (P S F : Plastic Scintillating Fiber) は、シンチレータであるコアの外周面が、コアよりも低屈折率のクラッド層に覆われたプラスチックファイバであり、主に放射線検出に用いられる。通常、コアは、例えばポリスチレンやポリビニルトルエンなどの芳香環を有する基材に、有機系蛍光体を添加した高分子材から構成される。クラッド層は、例えばポリメチルメタクリレートやフッ素含有のポリメチルメタクリレートなどの低屈折率高分子材から構成される。

【0 0 0 3】

プラスチックシンチレーションファイバを用いた放射線検出の原理について説明する。シンチレーションファイバのコア基材は芳香環を有しており、照射された放射線がシンチレーションファイバを横断すると、コア内の二次粒子などの再放射などでエネルギーの一部を吸収し、紫外線として放出するという特徴を持つ。この紫外線は、コア基材に蛍光体が添加されていなければ、コア基材自身に自己吸収され、コア内で伝送されずに消失する。

【0 0 0 4】

プラスチックシンチレーションファイバでは、この紫外線がコア基材に添加された蛍光体に吸収され、より長波長の光が再放出される。そのため、適切な蛍光体を選択することにより、コア基材に自己吸収され難い、例えば青色などの長波長の光に変換し、ファイバ内で伝送する。ファイバ内で伝送された光は、一端又は両端に接続された検出器において検出される。

【0 0 0 5】

10

20

30

40

50

このように、シンチレーションファイバは、放射線検出による発光と光伝送の2つの機能を兼ね備えており、放射線の通過位置や量を算出する用途などで使用されている。このようなシンチレーションファイバでは、コアから放出される紫外光をいかに高効率に長波長に波長変換させ、長距離伝送するかが重要である。

【0006】

一方、シンチレーションファイバと並んで多用されるのがプラスチック波長変換ファイバ（WLSF：Wavelength Shifting Fiber）である。波長変換ファイバは、例えば青色発光するプラスチックシンチレータなどと組み合わせて使用される。板状又は棒状のプラスチックシンチレータに溝や穴を設けて、青色光を吸収し緑色光に変換する波長変換ファイバを埋め込む。

10

【0007】

大型で大面積の検出器では、個々のシンチレータから距離が離れた外部の光電検出器（例えば光電子増倍管など）まで光伝送するのは、光の減衰や空間的な制約から困難な場合がある。このような場合、細くて曲がり易く長距離伝送可能な波長変換ファイバが好適に用いられる。外部の光電検出器まで、多数本の波長変換ファイバを自由にレイアウトできる。

【0008】

波長変換ファイバのコアはポリスチレン樹脂やポリメチルメタクリレート樹脂からなり、波長変換用の蛍光体（以下、「波長変換蛍光体」ともいう）が溶解されている。波長変換ファイバでは、外部のシンチレータから入射したシンチレーション光をコア内の蛍光体によって吸収し、効率よく波長変換すると共に、ファイバ内で伝送する。波長変換ファイバと組み合わせるシンチレータとしては、プラスチックシンチレータに限らず、X線や線に対する検出感度が高い無機シンチレータなどが用いられる。

20

【0009】

このように、波長変換ファイバによって、大面積あるいは長尺のシンチレータや、X線や線検出用のシンチレータから発するシンチレーション光を簡単に集光できる。また、波長変換ファイバによって、コアで波長変換した光を伝送し、光電検出器まで自由に接続できる。

【0010】

ここで、X線や線の検出は、軽元素のみで構成されたプラスチックシンチレータでは、X線や線との相互作用確率が低いため検出感度が低く難しいため、例えば無機シンチレータが用いられる。無機シンチレータとしては、BaF₂、CsI、CaF₂、CeF₃、Bi₄Ge₃O₁₂、Y₂SiO₅、Y₃Al₁₅O₁₂、Bi₄Ge₃O₁₂、PbWO₄、CdWO₄、Gd₂SiO₅：Ce³⁺、Lu₂SiO₅：Ce³⁺など多数知られている。

30

【0011】

しかしながら、無機シンチレータは、減衰長が数mmと透明性が高くなく、発光光（すなわちシンチレーション光）を長距離伝送できない。また、結晶サイズの制約もあるため、無機シンチレータによって光電検出器まで光伝送することは難しい。

【0012】

また、非特許文献1などに開示されているように、プラスチックシンチレータにビスマス化合物などの重金属元素の化合物を添加することによりX線、線に対する検出感度を向上させる事例がある。しかしながら、重金属元素の添加濃度を高くするに伴い、プラスチックシンチレータの透過性が低下するため、大きいサイズでの使用には適さない。

40

【0013】

そのため、特許文献1-3などでは、波長変換ファイバをシンチレータの端面や表面に沿わせ、波長変換ファイバによって光電検出器まで光伝送している。波長変換ファイバを用いることによって、検出光をより長距離伝送できる。

ここで、特許文献1-3においてはいずれも、特に特許文献2に開示されたイメージ検出のような空間分解能を重視した検出では、シンチレータと波長変換ファイバとを組み合

50

わせる後加工が多数必要となる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0014】

【文献】国際公開第2015/064588号

【文献】特開2011-141239号公報

【文献】特開2015-72227号公報

【非特許文献】

【0015】

【文献】Japanese Journal of Applied Physics 54, 102202 (2015)

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0016】

従来のプラスチックシンチレーションファイバでは、コア自身においてシンチレーション発光させると共に、光電検出器まで光伝送するため、コアに高い透明性が要求される。そのため、X線や 線の相互作用確率を高めるために重金属元素の化合物をコアに含ませることによって、X線や 線に対する検出感度を高めたプラスチックシンチレーションファイバを得ることはできない。

【0017】

他方、波長変換ファイバを用いた従来のシンチレーション検出器では、シンチレータと波長変換ファイバとを組み合わせる後加工が必要である。さらに、イメージ検出する場合、多数の波長変換ファイバ毎にシンチレータも1つずつ分離して組み合わせる必要があり、加工が著しく難しくなる。

20

【0018】

本発明は、このような事情に鑑みなされたものであって、高感度でX線や 線を検出可能であって、生産性に優れたプラスチックシンチレーションファイバを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0019】

本発明の一態様に係るプラスチックシンチレーションファイバは、
シンチレーション性を有する透明樹脂と、当該透明樹脂が発するシンチレーション光を
吸収して長波長に変換する少なくとも1種類の蛍光体と、を含むコアと、

30

前記コアの外周面を覆うと共に、前記コアよりも低い屈折率を有するクラッド層と、

前記クラッド層の外周面を覆うと共に、重金属元素の化合物を含有する最外周層と、を
備え、

前記コア、前記クラッド層、及び前記最外周層が一体形成されている。

【0020】

プラスチックシンチレーションファイバに、X線や 線が照射されると、光電効果、コンプトン効果、電子対生成などの相互作用により、電子もしくは陽電子などの荷電粒子が生成され、シンチレーション発光する。

40

本発明の一態様に係るプラスチックシンチレーションファイバでは、最外周層が重金属元素の化合物を含有するため、上記相互作用の確率が向上し、従来のプラスチックシンチレーションファイバよりもX線や 線に対する検出感度が向上する。ここで、最外周層については、コアのように光を伝送するために必要な高い透明性が必要ではないため、重金属元素の化合物を高濃度で添加できる。

【0021】

また、コア、クラッド層、及び最外周層が一体形成されているため、後加工が不要となる。

すなわち、X線や 線に対する検出感度が高く、生産性に優れたプラスチックシンチレーションファイバを提供できる。

50

【0022】

前記最外周層が、シンチレーション性を有する樹脂を含んでもよい。これにより、シンチレーション光が増加し、X線や 線の検出感度がさらに向上する。

また、前記最外周層が、当該最外周層における前記シンチレーション性を有する樹脂が発するシンチレーション光を吸収して長波長に波長変換する少なくとも1種類の蛍光体を含んでもよい。これにより、前記シンチレーション性を有する樹脂によるシンチレーション光の自己吸収が抑制され、X線や 線の検出感度がさらに向上する。

【0023】

前記重金属元素が、鉛又はビスマスであってもよい。

また、前記最外周層において、前記重金属元素の化合物が、前記シンチレーション性を有する樹脂に共重合していてもよい。

10

【0024】

前記コア、前記クラッド層、及び前記最外周層が、線引き加工によって一体形成されていてもよい。これにより、生産性がより向上する。

前記最外周層のさらに外側に、前記最外周層を保護する保護層が一体形成されていてもよい。これにより、耐久性等が向上する。

【0025】

さらに、前記クラッド層が、インナークラッド層と、前記インナークラッド層の外周面を覆うと共に、前記インナークラッド層よりも低い屈折率を有するアウタークラッド層とを含むマルチクラッド構造を有していてもよい。これにより、全反射角が広くなり、より高発光となる。

20

【0026】

前記最外周層又は前記保護層よりも外側に反射層を有してもよい。最外周層やコアで発光したシンチレーション光が、反射層で反射することによって、ファイバ側面から外部に漏れ難くなり、高発光となる。

前記反射膜は金属膜でもよい。当該構成によって、薄い厚みで高い反射率が得られる。一方、金属膜はX線や 線との相互作用の確率が高いため、厚みを厚くすることによって、X線、 線に対する感度が向上すると共に、シンチレーション光の利用効率も上がり高発光とができる。

【0027】

30

本発明の一態様に係るプラスチックシンチレーションファイバの製造方法は、

シンチレーション性を有する透明樹脂と、当該透明樹脂が発するシンチレーション光を吸収して長波長に変換する少なくとも1種類の蛍光体と、を含むコアと、

前記コアの外周面を覆うと共に、前記コアよりも低い屈折率を有するクラッド層と、

前記クラッド層の外周面を覆うと共に、重金属元素の化合物を含有する最外周層と、を備えたプラスチックシンチレーションファイバの製造方法であって、

前記最外周層用の第1円筒体の内部に前記クラッド層用の第2円筒体を挿入し、当該第2円筒体の内部に前記コア用のロッドを挿入し、プリフォームを作製する工程と、

前記プリフォームを加熱しつつ線引き加工する工程と、を備える。

【0028】

40

本発明の一態様に係るプラスチックシンチレーションファイバの製造方法は、

シンチレーション性を有する透明樹脂と、当該透明樹脂が発するシンチレーション光を吸収して長波長に変換する少なくとも1種類の蛍光体と、を含むコアと、

前記コアの外周面を覆うと共に、前記コアよりも低い屈折率を有するクラッド層と、

前記クラッド層の外周面を覆うと共に、重金属元素の化合物を含有する最外周層と、を備えたプラスチックシンチレーションファイバの製造方法であって、

前記コアを覆う前記クラッド層の表面に、前記最外周層をコーティングする。

【発明の効果】**【0029】**

本発明により、高感度でX線や 線を検出可能であって、生産性に優れたプラスチック

50

シンチレーションファイバを提供できる。

【図面の簡単な説明】

【0030】

【図1】実施の形態1に係るプラスチックシンチレーションファイバの断面図である。

【図2】実施の形態1の変形例に係るプラスチックシンチレーションファイバの断面図である。

【図3】実施の形態1の他の変形例に係るプラスチックシンチレーションファイバの断面図である。

【図4】実施の形態1に係るプラスチックシンチレーションファイバの製造方法を示す斜視図である。

10

【図5】実施の形態1に係るシンチレーションファイバの応用例を示す斜視図である。

【発明を実施するための形態】

【0031】

以下、本発明を適用した具体的な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。但し、本発明が以下の実施の形態に限定される訳ではない。また、説明を明確にするため、以下の記載及び図面は、適宜、簡略化されている。

【0032】

(実施の形態1)

<プラスチックシンチレーションファイバの構成>

図1を参照して、本発明の実施の形態1に係るプラスチックシンチレーションファイバについて説明する。図1は、実施の形態1に係るプラスチックシンチレーションファイバの断面図である。

20

図1に示すように、実施の形態1に係るプラスチックシンチレーションファイバは、最外周層1、コア2、クラッド層3を備えている。

【0033】

最外周層1は、重金属元素の化合物を含有する透明樹脂からなる。例えば、最外周層1は、シンチレーション性を有する透明樹脂からなり、当該透明樹脂は、重金属元素の化合物に加え、当該透明樹脂から発せられたシンチレーション光を吸収し長波長に変換する蛍光体を含む。ここで、重金属元素とは、単体で比重が4以上の金属元素である。

【0034】

最外周層1がシンチレーション性を有する透明樹脂からなると、シンチレーション光が増加し、X線や 線の検出感度がさらに向上する。また、最外周層1が波長変換蛍光体を含むと、透明樹脂によるシンチレーション光の自己吸収が抑制され、X線や 線の検出感度がさらに向上する。

30

【0035】

最外周層1は、シンチレーション光がクラッド層3を貫通して中心部のコア2へ入射する程度に、十分に発光すると共に透明であればよく、高い透明性は要求されないが、できる限り透明であることが望ましい。最外周層1の厚みは、必要とするX線や 線に対する検出感度を得るために厚くしてもよい。仮にシンチレータ層である最外周層1の透明性は低くても、光伝送を担う中心部のコア2が高い透明性を有していれば、長距離伝送が可能となる。

40

【0036】

コア2は、最外周層1の内部に設けられており、最外周層1において発生した電子や陽電子等の荷電粒子によりシンチレーション光を発する高屈折率の透明樹脂からなる。また、当該透明樹脂は、そのシンチレーション光を吸収してより長波長に変換する少なくとも1種類の蛍光体を含む。コア2を構成する透明樹脂の屈折率は1.5以上が好ましい。

【0037】

クラッド層3は、コア2の外周面を覆うと共に、コア2よりも低屈折率の透明樹脂からなる。ここで、コア2、クラッド層3、及び最外周層1が一体形成されている。

光ファイバとして長距離伝送を行うためには、コア2の透明性と同じくクラッド層3の

50

透明性も重要である。長距離伝送のためには、最外周層 1 の透明性はさほど重要でない。

【 0 0 3 8 】

光ファイバとして長距離伝送を行うためには、クラッド層 3 の厚さは、伝送光がコアからクラッド層 3 に染み出すエバネッセント波の深さより十分厚い $3 \mu\text{m}$ から $100 \mu\text{m}$ が好ましい。クラッド層 3 の厚さがクラッド層 3 に染み出すエバネッセント波の深さより十分厚ければ、クラッド層 3 と最外周層 1 の屈折率は同じもの、さらには同一の透明樹脂でもよい。

【 0 0 3 9 】

コア 2 が含む波長変換蛍光体としては、コア 2 に含まれるシンチレーション性を有する樹脂から発生したシンチレーション光の波長に吸收スペクトルが適合すると共に、波長変換する蛍光スペクトルが吸收スペクトルからできる限り離れたものが望ましい。さらに、光電子増倍管 (PMT) やアバランシェフォトダイオード (APD) などの光電検出器の波長感度に合わせるなどのため、さらに波長変換させる第 2 の蛍光体をコア 2 が含んでもよい。なお、蛍光体の詳細については後述する。

10

【 0 0 4 0 】

実施の形態 1 に係るプラスチックシンチレーションファイバでは、最外周層 1 に、X 線や γ 線に対する相互作用確率が高い重金属元素の化合物が含まれる。そのため、X 線や γ 線の照射に伴い、最外周層 1 において、従来の炭素、水素、酸素等の軽元素のみで構成されたものよりも、光電効果、コンプトン効果、電子対生成などによる電子、陽電子などの荷電粒子が多く発生する。それにより、最外周層 1 の内側に設けられているコア 2 において、より多くシンチレーション光が発生し、当コア 2 内をシンチレーション光が伝送する。そのため、従来のプラスチックシンチレーションファイバよりも X 線や γ 線を高感度に検出できる。

20

【 0 0 4 1 】

また、コア 2、クラッド層 3、及び最外周層 1 が一体形成されている。そのため従来 X 線や γ 線の検出に必要であった、シンチレータと波長変換ファイバの組み合わせの加工が不要であり、飛躍的に生産性が向上すると共にコストも低減できる。

【 0 0 4 2 】

なお、最外周層 1 のさらに外側に、最外周層を保護する保護層（不図示）を一体形成してもよい。保護層によって、プラスチックシンチレーションファイバの耐久性等が向上する。

30

保護層の材料は特に限定されないが、生産性の観点からは最外周層 1 と一体成形することが可能な熱可塑性の樹脂であることが生産性の観点から好ましい。

【 0 0 4 3 】

<プラスチックシンチレーションファイバの変形例>

図 2 は、実施の形態 1 の変形例に係るプラスチックシンチレーションファイバの断面図である。図 2 に示すように、最外周層 1 もしくは保護層の表面に反射層 5 を設けてもよい。最外周層 1 やコア 2 で発光したシンチレーション光が、反射層 5 で反射することによって、ファイバ側面から外部に漏れ難くなり、高発光となる。ここで、反射層 5 を金属膜とすることによって、薄い厚みで高い反射率が得られる。一方、金属膜は X 線や γ 線との相互作用の確率が高いため、厚みを厚くすることによって、X 線、 γ 線に対する感度が向上すると共に、シンチレーション光の利用効率も上がり高発光とすることができます。

40

【 0 0 4 4 】

図 3 は、実施の形態 1 の他の変形例に係るプラスチックシンチレーションファイバの断面図である。他の変形例に係るプラスチックシンチレーションファイバは、クラッド層 3 をインナークラッド層として、さらにクラッド層 4 をアウタークラッド層として備えている。すなわち、クラッド層が、インナークラッド層（クラッド層 3）とアウタークラッド層（クラッド層 4）とを含むマルチクラッド構造を有している。クラッド層 4 は、クラッド層 3 の外周面を覆うと共に、クラッド層 3 よりも低屈折率の透明樹脂からなる。

【 0 0 4 5 】

50

ここで、コア2で発生するシンチレーション光はコア2内で立体角的に等方的に放射される。そのため、コア2とクラッド層3もしくはクラッド層4との屈折率差に基づいた全反射角以内の光しかファイバ方向に伝送できない。他の変形例に係るプラスチックシンチレーションファイバは、クラッド層3に加え、低屈折率のクラッド層4を備えるため、図1のプラスチックシンチレーションファイバよりも全反射角が広くなり（開口数NAが大きくなり）、より高発光になる。

【0046】

<最外周層1の材料>

最外周層1は、重金属元素の化合物を含有する透明樹脂からなる。

最外周層1を構成する透明樹脂は、加熱によって細く線引きが可能なように、熱可塑性であることが好ましい。このような透明樹脂としては、メチルメタクリレートなどで代表されるメタクリル酸エステルモノマー群、メチルアクリレートに代表されるアクリル酸エステルモノマー群及びスチレンに代表されるビニル基を持った芳香族モノマー群のいずれかからなる単独重合体、もしくは共重合体が好適である。

【0047】

最外周層1を構成する透明樹脂の屈折率は、光伝送性能の観点からは限定されないが、重金属元素の化合物が相溶する材料が好ましい。ここで、透明樹脂はシンチレーション性を有してもよい。コア2だけでなく、最外周層1においてもシンチレーション光が発生することによって、X線やγ線の検出感度が向上する。

最外周層1に含まれるシンチレーション性を有する透明樹脂としては、スチレンに代表されるビニル基を持った芳香族モノマー群のいずれかからなる単独重合体、もしくは共重合体が好適である。

【0048】

重金属元素の化合物は、安定でかつ最外周層1を構成するポリメチルメタクリレート、ポリスチレン、ポリビニルトルエンなどの透明樹脂の原料であるモノマーへの溶解性が高いことが望ましい。溶解性が高ければ、重金属元素の化合物をモノマーに溶解して重合した重合物の透明性が高くなる。溶解性が悪いと最外周層1中に均一に分散できなくなり、X線やγ線に対する検出感度のばらつきが生じるなどの不具合が生じる。また、粉体として分散した場合は加熱による線引きが困難になったりする。

あるいは、重金属元素の化合物は、透明樹脂の原料であるモノマーと共に重合可能なモノマーでもよい。

【0049】

鉛化合物としてはメタクリル酸鉛（II）、酢酸鉛（IV）、クエン酸鉛（II）、ナフテン酸鉛、オクチル酸鉛（II）、ステアリン酸鉛（II）、ギ酸鉛（II）、酒石酸鉛（II）、シクロヘキサン酸鉛（II）、2-エチルヘキシル酸鉛（II）、など鉛の各種カルボン酸塩等の他、鉛（II）アセチルアセトナート、鉛（II）ヘキサフルオロアセチルアセトナート、ビス（2,2,6,6テトラメチル-3,5ヘプタンジオナト）鉛、テトラフェニル鉛、二塩化ジフェニル鉛、テトラフェニル（フェニルエチニル）鉛（IV）、メタバナジン酸鉛（II）、チタン酸鉛（II）、ジルコン酸鉛（II）、ひ酸鉛（II）、ヘキサフルオロケイ酸鉛、などの各種鉛化合物が好適に用いられる。

【0050】

ビスマス化合物としては、次没食子酸ビスマス（III）、次サリチル酸ビスマス（II）、メタクリル酸ビスマス（III）、アクリル酸ビスマス（III）、ネオデカン酸ビスマス（III）、オキシ酢酸ビスマス（III）、安息香酸ビスマス（III）、クエン酸ビスマス（III）、トリス（2-エチルヘキサン酸）ビスマス（III）などのビスマスのカルボン酸塩や、トリフェニルビスマチン、トリ-パラ-トリルビスマチン、トリス（2-メトキシフェニル）ビスマチンなどのビスマス化合物、トリ-i-プロポキシビスマス、トリエトキシビスマス、トリ-t-アミロキシビスマスなどのビスマスのアルコキシド化合物、トリス（ジピバロイルメタナト）ビスマスなどのビスマスのキレート錯体などが好適に用いられる。なお、カルボン酸塩のカルボン酸、アルコキシドのア

10

20

30

40

50

ルコールはそれぞれ単一ではなく複数の組み合わせでもよい。

【0051】

最外周層1に含まれる波長変換蛍光体は、芳香環を有し、かつ共鳴可能な構造を有する有機蛍光体であって、コア2に単分子溶解することが好ましい。代表的な蛍光体としては、250～350nmを吸収する2-(4-t-ブチルフェニル)-5-(4-ビフェニル)-1,3,4-オキサジアゾール(b-PBD)、2-(4-ビフェニル)-5-フェニル-1,3,4-オキサジアゾール(PBD)、パラターフェニル(PTP)、パラクォーターフェニル(PQP)、2,5-ジフェニルオキサゾール(PPO)、1-フェニル-3-(2,4,6-トリメチルフェニル)-2-ピラゾリン(PMP)、3-ヒドロキシフラボン(3HF)、などが挙げられる。

10

【0052】

また、350～400nmを吸収する4,4'-ビス-(2,5-ジメチルスチリル)-ジフェニル(BDB)、2,5-ビス-(5-t-ブチル-ベンゾキサゾイル)チオフェン(BBOT)、1,4-ビス-(2-(5-フェニロキサゾリル))ベンゼン(POP)、1,4-ビス-(4-メチル-5-フェニル-2-オキサゾリル)ベンゼン(DMPOPOP)、1,4-ジフェニル-1,3-ブタジエン(DPB)、1,6-ジフェニル-1,3,5-ヘキサトリエン(DPH)なども好ましい。

【0053】

最外周層1の例としては、メチルメタクリレートとメタクリル酸鉛との共重合体が挙げられる。重金属元素である鉛が含まれることでX線、線を照射した際に光電効果、コンプトン効果、電子対生成などにより陽電子、電子などの荷電粒子が発生する確率が向上する。ここで発生した荷電粒子が最外周層1の内部に設けられたコア2に到達することでコア2がシンチレーション発光する。

20

【0054】

最外周層1としての他の例としては、ポリスチレンに、トリフェニルビスマス及びポリスチレンのシンチレーション光を長波長に変換する蛍光体を添加したものが挙げられる。重金属元素であるビスマスが含まれることでX線、線を照射した際に光電効果、コンプトン効果、電子対生成などにより陽電子、電子などの荷電粒子が発生する確率が向上する。ここで発生した荷電粒子は最外周層1に含まれるポリスチレンのシンチレーション発光により最外周層1自体を発光させると共に、当該最外周層1の内側に設けられたコア2に到達することでコア2もシンチレーション発光する。

30

【0055】

なお、重金属元素の化合物、透明樹脂、及び波長変換蛍光体の種類は上記に限定されない。また、上記材料の配合比率、濃度などは製造の難易度などによって適宜選択され、上記に限定されない。

【0056】

<コア2の材料>

コア2に用いられる材料は、シンチレーション性を有する透明樹脂であれば、制約はないが、中でもスチレンに代表されるビニル基を持った芳香族モノマー群のいずれかからなる単独重合体、もしくは共重合体が好適である。

40

【0057】

ビニル基を持った芳香族モノマーからなる重合体はより高い屈折率を有することが好ましい。コア2とクラッド層3との屈折率差が大きくなり、全反射角が広くなる。すなわち、コア2内で発生したシンチレーション光及び波長変換された光のうち、より広い角度の光を伝送できるため、より高発光のシンチレーションファイバが得られる。

【0058】

コア2に含まれる波長変換蛍光体は、芳香環を有し、かつ共鳴可能な構造を有する有機蛍光体であって、コア2に単分子溶解することが好ましい。代表的な蛍光体としては、250～350nmを吸収する2-(4-t-ブチルフェニル)-5-(4-ビフェニル)-1,3,4-オキサジアゾール(b-PBD)、2-(4-ビフェニル)-5-フェニル-1,3,4-オキサジアゾール(PBD)、パラターフェニル(PTP)、パラクォーターフェニル(PQP)、2,5-ジフェニルオキサゾール(PPO)、1-フェニル-3-(2,4,6-トリメチルフェニル)-2-ピラゾリン(PMP)、3-ヒドロキシフラボン(3HF)、などが挙げられる。

50

ル - 1 , 3 , 4 - オキサジアゾール (PBD) 、パラターフェニル (PT P) 、パラクオーターフェニル (PQP) 、2 , 5 - ジフェニルオキサゾール (PPO) 、1 - フェニル - 3 - (2 , 4 , 6 - トリメチルフェニル) - 2 - ピラゾリン (PMP) 、3 - ヒドロキシフラボン (3HF) 、などが挙げられる。

【 0059 】

また、350 ~ 400 nmを吸収する4 , 4' - ビス - (2 , 5 - ジメチルスチリル) - デフェニル (BDB) 、2 , 5 - ビス - (5 - t - ブチル - ベンゾキサゾイル) チオフェン (BBOT) 、1 , 4 - ビス - (2 - (5 - フェニロキサゾイル)) ベンゼン (POPOP) 、1 , 4 - ビス - (4 - メチル - 5 - フェニル - 2 - オキサゾリル) ベンゼン (DMPOPOP) 、1 , 4 - ジフェニル - 1 , 3 - ブタジエン (DPB) 、1 , 6 - ジフェニル - 1 , 3 , 5 - ヘキサトリエン (DPH) なども好ましい。

10

【 0060 】

波長変換蛍光体の濃度は、単独でも複数でも質量濃度で50 ~ 10000 ppmが好適であり、さらには100 ~ 1000 ppmが好ましい。濃度が低過ぎると、最外周層1からのシンチレーション光をコア2において効率よく吸収できない。逆に、濃度が高過ぎると、蛍光体自身が持つ自己吸収の影響が大きくなって、波長変換効率が低下したり、変換された光に対する透過率が低下して減衰長が悪化する。

【 0061 】

< クラッド層3の材料 >

クラッド層3に用いられる材料は、コア2より低屈折率を有する透明樹脂であれば、制約はない。中でも、メチルメタクリレートに代表されるメタクリル酸エステルモノマー群及びパーカルオロアルキルメタクリレート等のフッ素化モノマー群、メチルアクリレートに代表されるアクリル酸エステルモノマー群及びパーカルオロアルキルアクリレート等のフッ素化モノマー群のいずれかを原料とする単独重合体もしくは共重合体が好適である。

20

【 0062 】

< クラッド層4の材料 >

クラッド層4に用いられる材料は、クラッド層3よりさらに低屈折率を有する透明樹脂であればよい。クラッド層3のモノマー群などから選択できる。特に、低屈折率を有する含フッ素モノマー群から選択することが好ましい。

【 0063 】

30

これらのモノマー群は熱又は光照射により容易に重合体又は共重合体が得られるため、組成により容易に屈折率を調整でき、かつ取り扱い易いという利点がある。重合にあたっては有機過酸化物又はアゾ化合物を重合開始剤として加えてもよい。代表的な有機過酸化物としては1 , 1 , 3 , 3 - テトラメチルブチルパーオキシ - 2 - エチルヘキサンオート、n - ブチル - 4 , 4 - ビス (t - ブチルパーオキシ) バレレート、1 , 1 - ビス (t - ブチルパーオキシ) シクロヘキサン等が挙げられるが、熱又は光照射によってラジカルを生成するものであれば特に制限はない。

【 0064 】

また分子量調整のために連鎖移動剤としてメルカプタンを添加してもよい。代表的なメルカプタンとしてはオクチルメルカプタンがあるが、R - SH (ここでRは有機基を表す) の構造を有するものであれば特に制限はない。

40

【 0065 】

< 反射層の材料 >

反射層5を構成する材料は、ファイバ側面から出射する光を高反射率で反射できる材料であれば制約はない。中でも金属膜は、例えば白色の反射塗料等に比べ、より薄い厚みで高い反射率が得られると共に、X線やγ線に対する感度がさらに向上するため好ましい。

【 0066 】

金属膜は、アルミニウム、金、銀、ニッケル等、必要とする波長範囲の反射率が高ければ特に限定されない。可視光領域の反射率の高さからアルミニウムと銀が好適である。さらに、コストの観点からはアルミニウムが好適である。

50

【0067】

なお、金属膜の厚みは特に制限されないが、可視光領域で、できる限り薄い厚みで高い反射率を得ることが好ましい。例えば、アルミニウムでは、10～100 nmが好ましく、20～70 nmがさらに好ましい。銀では、35～150 nmが好ましく、50～100 nmがさらに好ましい。一方、ファイバの径に制限がない場合、可能な範囲で金属膜を厚くしてもよい。金属膜を厚くすることにより、X線や 線に対する感度がさらに向上する。

また、成膜方法についても、蒸着法、スパッタリング法など、特に制限はない。

【0068】

<プラスチックシンチレーションファイバの製造方法>

図4は、実施の形態1に係るプラスチックシンチレーションファイバの製造方法を示す斜視図である。図4は、図1に示したプラスチックシンチレーションファイバを製造するための母材(プリフォーム)を示す。

【0069】

第1円筒体11は、重金属元素の化合物を含む熱可塑性樹脂からなる円筒体である。第1円筒体11は、線引き加工後に最外周層1を構成する。

ロッド12は、シンチレーション光を吸収して長波長に波長変換する少なくとも1種類の蛍光体を溶解させた透明かつシンチレーション性を有する熱可塑性樹脂からなる円柱体である。ロッド12は、線引き加工後にコア2を構成する。

第2円筒体13は、ロッド12より低い屈折率を有し、透明な熱可塑性樹脂からなる円筒体である。第2円筒体13は、線引き加工後にクラッド層3を構成する。

【0070】

図4に示すように、第1円筒体11の内部に第2円筒体13を挿入すると共に、第2円筒体13の内部にロッド12を挿入し、プリフォームを作製する。図4は、ロッド12を第2円筒体13の内部に挿入している途中の様子を示している。作製されたプリフォームの先端を加熱しながら、例えば外径1mmに線引きすることによって、実施の形態1に係るプラスチックシンチレーションファイバが得られる。

【0071】

なお、図4に示すように、第1円筒体11、第2円筒体13、及びロッド12の間には隙間が形成されているが、減圧下において線引き加工を行うため、コア2、クラッド層3、及び最外周層1は、密着して一体形成される。

図3に示した変形例に係るプラスチックシンチレーションファイバも、同様の製造方法によって製造できる。

【0072】

実施の形態1に係るプラスチックシンチレーションファイバの製造方法では、重金属元素の化合物を含有する最外周層1を、コア2を覆うクラッド層3の外周面に一体形成する。そのため、当該プラスチックシンチレーションファイバは、コア2の光伝送性能を低下させることなく、X線や 線に対する検出感度を向上させることができ、単独でX線や 線を検出可能である。

【0073】

そのため、従来必要だったX線や 線用のシンチレータと波長変換ファイバとを組み合わせる後加工が不要であり、従来に比べ、生産性が向上すると共にコストも低減できる。特に、イメージ検出する場合、波長変換ファイバ毎にシンチレータも1つずつ分離して組み合わせる必要がなく、当該プラスチックシンチレーションファイバを並べるだけよい。そのため、従来に比べ、飛躍的に生産性が向上すると共にコストも低減できる。

【0074】

なお、コア2及びクラッド層3を一体形成した後、コア2を覆うクラッド層3の表面に重金属元素の化合物を含有する最外周層1をコーティング(塗装を含む)によって一体形成してもよい。

【0075】

10

20

30

40

50

<プラスチックシンチレーションファイバの応用例>

次に図5を参照して、実施の形態1に係るプラスチックシンチレーションファイバの応用例について説明する。図5は、実施の形態1に係るプラスチックシンチレーションファイバの応用例を示す斜視図である。当該応用例では、実施の形態1に係るプラスチックシンチレーションファイバPSFが、基板上にアレイ状に配列されている。

なお、当然のことながら、図5に示した右手系xyz直交座標は、構成要素の位置関係を説明するための便宜的なものである。通常、z軸正向きが鉛直上向き、xy平面が水平面である。

【0076】

各プラスチックシンチレーションファイバPSFには、光電子増倍管などの光電検出器が接続されており(不図示)、伝送された光を検出できる。このような構成によって、例えば1mm分解能で1次元のイメージ検出(位置検出)が可能となる。ここで、分解能はプラスチックシンチレーションファイバPSFの直径に等しい。さらに、このようなプラスチックシンチレーションファイバPSFのアレイを2段設け、互いに直交させて上下に重ねて配置すれば、2次元のイメージ検出も実現できる。

【0077】

このように、空間分解能が高いX線やγ線のイメージ検出も、本実施の形態に係るプラスチックシンチレーションファイバを用いることによって、簡易かつ低コストに実現できる。

【実施例】

【0078】

以下、本発明を実施例によりさらに詳細に説明するが、本発明は係る実施例により何ら限定されない。

【0079】

<実施例1>

メタクリル酸鉛(II)20質量%をメチルメタクリレートに添加して共重合させ、外径9.5mm、内径7.1mmの最外周層用円筒体(図4の第1円筒体11)を成形した。

【0080】

ポリスチレン(屈折率1.59)からなる直径6.5mmのコア用ロッド(図4のロッド12)と、ポリメチルメタクリレート(屈折率1.49)からなる外径7.0mm、内径6.6mmのクラッド層用円筒体(図4の第2円筒体13)とを準備した。コア用ロッドには、波長変換蛍光体として、蛍光体2-(4-t-ブチルフェニル)-5-(4-ビフェニル)-1,3,4-オキサジアゾール(b-PBD)を1質量%及び、2,5-ビス-(5-t-ブチル-ベンゾキサゾイル)チオフェン(BBOT)を200質量ppmの濃度で溶解させた。

【0081】

図4に示すように、最外周層用円筒体の内部にクラッド層用円筒体を挿入すると共に、クラッド層用円筒体の内部にコア用ロッドを挿入し、プリフォームを作製した。このプリフォームの先端を加熱しながら、減圧下で外径が1mmとなるように一体線引きし、実施例1に係るプラスチックシンチレーションファイバを得た。このプラスチックシンチレーションファイバは、図1に示した断面構成を有している。外径は1mm、クラッド層3の直径は0.72mm、コア2の直径は0.68mm、最外周層1の厚みは0.14mm、クラッド層3の厚みは0.02mmであった。

【0082】

実施例1に係るプラスチックシンチレーションファイバは、最外周層1に炭素、水素、酸素等の軽元素よりもX線及びγ線との相互作用確率が大きい鉛元素を含む。そのため、実施例1に係るプラスチックシンチレーションファイバは、従来のプラスチックシンチレーションファイバよりもX線及びγ線に対する検出感度が向上した。

【0083】

<実施例2>

10

20

30

40

50

実施例 1 と同様に、外径 9.5 mm、内径 7.6 mm の最外周層用円筒体（図 4 の第 1 円筒体 11）を成形した。また、実施例 1 と同様に、ポリスチレン（屈折率 1.59）からなる直径 6.5 mm のコア用ロッド（図 4 のロッド 12）と、ポリメチルメタクリレート（屈折率 1.49）からなる外径 7.0 mm、内径 6.6 mm のインナークラッド層用円筒体（図 4 の第 2 円筒体 13）とを準備した。コア用ロッドには、長変換蛍光体として、蛍光体 2 - (4-t-ブチルフェニル) - 5 - (4-ビフェニル) - 1,3,4-オキサジアゾール (b-PBD) を 1 質量% 及び、2,5-ビス - (5-t-ブチル-ベンゾキサゾイル) チオフェン (BBOT) を 200 質量 ppm の濃度で溶解させた。

【0084】

さらに、実施例 2 では、パーフルオロアルキルアクリレート等のフッ素化モノマーの共重合体（屈折率 1.42）からなる外径 7.5 mm、内径 7.1 mm のアウタークラッド層用円筒体（不図示）を準備した。アウタークラッド層用円筒体は、線引き加工後に図 3 に示したクラッド層 4 を構成する。

そして、最外周層用円筒体の内部にアウタークラッド層用円筒体を挿入し、その内部にインナークラッド層用円筒体を挿入し、その内部にコア用ロッドを挿入することによって、プリフォームを作製した。

【0085】

このプリフォームの先端を加熱しながら、減圧下で外径が 1 mm となるように一体線引きし、実施例 2 に係るプラスチックシンチレーションファイバを得た。このプラスチックシンチレーションファイバは、図 3 に示した断面構成を有している。外径は 1 mm、クラッド層 4 の外径は 0.76 mm、クラッド層 3 の外径は 0.72 mm、コア 2 の直径は 0.68 mm、最外周層 1 の厚みは 0.12 mm、クラッド層 4 の厚みは 0.02 mm、クラッド層 3 の厚みは 0.02 mm であった。

【0086】

実施例 2 に係るプラスチックシンチレーションファイバに X 線を入射したところ、10 m 離れた先端において実施例 1 より 30% ほど高い光量を観察できた。コア 2 の直径は実施例 1 より小さくなったものの、より低屈折のクラッド層 4 を設けたことによって、全反射角が広くなり、より高発光になったものと考えられる。

【0087】

<実施例 3 >

トリフェニルビスマス 5 質量%、蛍光体 2 - (4-t-ブチルフェニル) - 5 - (4-ビフェニル) - 1,3,4-オキサジアゾール (b-PBD) 1 質量% をスチレンモノマーに添加して重合し、それを外径 9.5 mm、内径 7.1 mm の最外周層用円筒体（図 4 の第 1 円筒体 11）を成形した。

【0088】

ポリスチレン（屈折率 1.59）からなる直径 6.5 mm のコア用ロッド（図 4 のロッド 12）と、ポリメチルメタクリレート（屈折率 1.49）からなる外径 7.0 mm、内径 6.6 mm のクラッド層用円筒体（図 4 の第 2 円筒体 13）とを準備した。コア用ロッドには、波長変換蛍光体として、2,5-ビス - (5-t-ブチル-ベンゾキサゾイル) チオフェン (BBOT) を 200 質量 ppm の濃度で溶解させた。

【0089】

図 4 に示すように、最外周層用円筒体の内部にクラッド層用円筒体を挿入すると共に、クラッド層用円筒体の内部にコア用ロッドを挿入し、プリフォームを作製した。このプリフォームの先端を加熱しながら、減圧下で外径が 1 mm となるように一体線引きし、実施例 3 に係るプラスチックシンチレーションファイバを得た。このプラスチックシンチレーションファイバは、図 1 に示した断面構成を有している。外径は 1 mm、クラッド層 3 の直径は 0.72 mm、コア 2 の直径は 0.68 mm、最外周層 1 の厚みは 0.14 mm、クラッド層 3 の厚みは 0.02 mm であった。

【0090】

実施例 3 に係るプラスチックシンチレーションファイバは、炭素、水素、酸素といった

10

20

30

40

50

軽元素よりもX線、 γ 線との相互作用確率が大きい重金属元素であるビスマスを含む。そのため、実施例3に係るプラスチックシンチレーションファイバは、従来のプラスチックシンチレーションファイバよりもX線及び γ 線に対する検出感度が向上した。

【0091】

<実施例4>

実施例1に係るプラスチックシンチレーションファイバの表面に蒸着法によりアルミニウム膜を約50nmの厚みで成膜した。

最外周層1やコア2で発光したシンチレーション光が、反射層5で反射することによって、ファイバ側面から外部に漏れ難くなり、高発光となった。

【0092】

10

本発明は上記実施の形態に限られず、趣旨を逸脱しない範囲で適宜変更可能である。

【0093】

この出願は、2020年10月15日に出願された日本出願特願2020-173825を基礎とする優先権を主張し、その開示の全てをここに取り込む。

【符号の説明】

【0094】

1 最外周層

2 コア

3 クラッド層（インナークラッド層）

4 クラッド層（アウタークラッド層）

20

5 反射層

11 第1円筒体

12 ロッド

13 第2円筒体

P S F プラスチックシンチレーションファイバ

30

40

50

【図面】

【図 1】

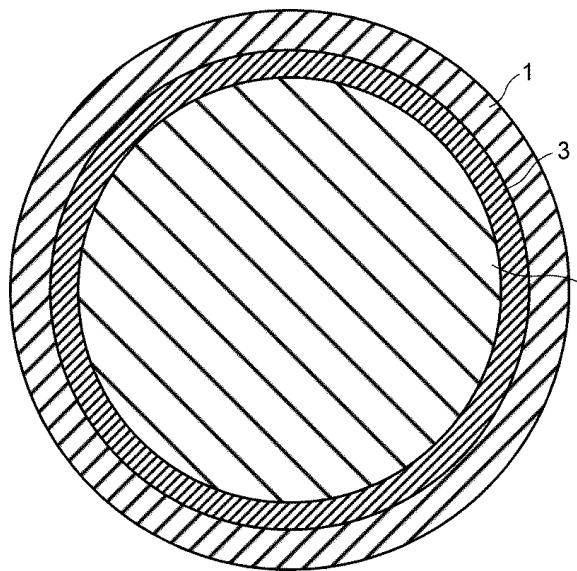


Fig. 1

【図 2】

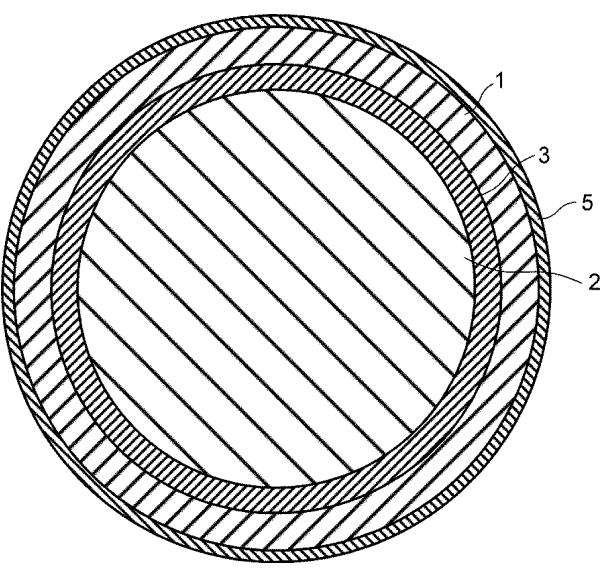


Fig. 2

10

20

【図 3】

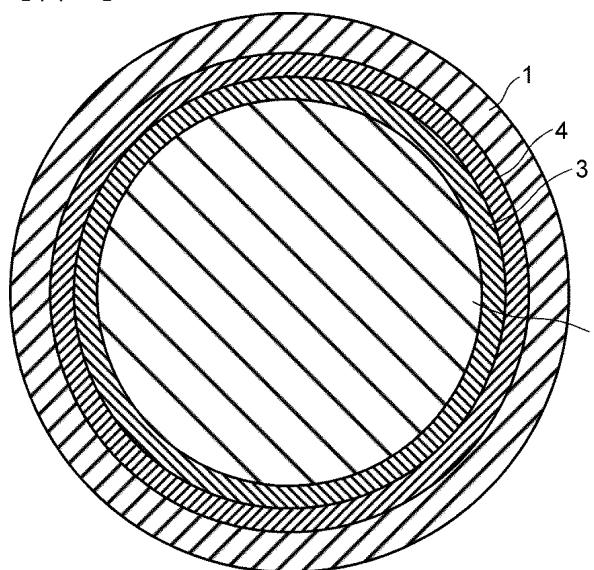
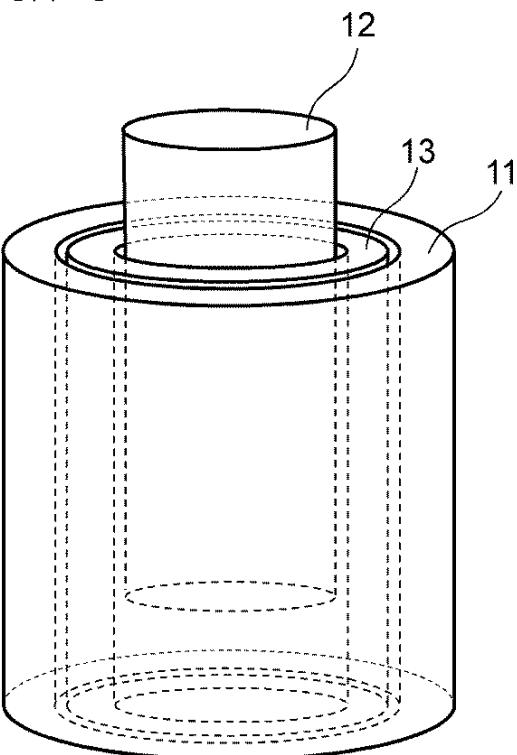


Fig. 3

【図 4】



30

40

Fig. 4

50

【図 5】

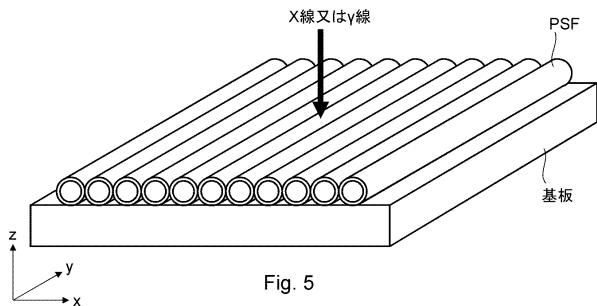


Fig. 5

10

20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類

G 0 2 B 6/036(2006.01)

F I

G 0 2 B	6/036	
G 0 2 B	6/02	3 6 6
G 0 2 B	6/44	3 3 1
G 0 2 B	6/44	3 0 1 B

(56)参考文献

特開2000-137122(JP,A)

特開2004-281439(JP,A)

特開2019-148538(JP,A)

米国特許第05308986(US,A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

G 0 1 T	1 / 0 0
G 0 1 T	1 / 2 0
G 0 1 T	1 / 2 0 3
G 0 2 B	6 / 0 2
G 0 2 B	6 / 4 4
G 0 2 B	6 / 0 3 6