

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公表特許公報(A)

(11)公表番号
特表2022-542383
(P2022-542383A)

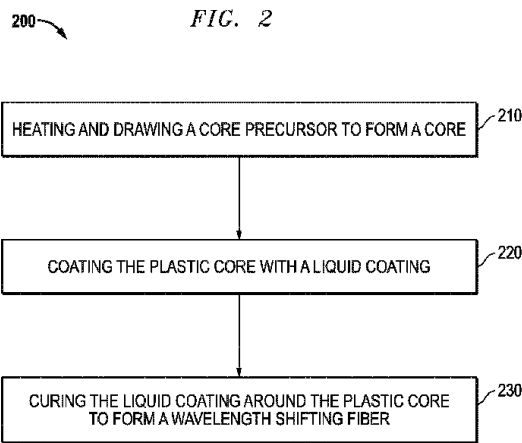
(43)公表日 令和4年10月3日(2022.10.3)

(51)国際特許分類		F I		テーマコード (参考)	
G 0 2 B	6/02 (2006.01)	G 0 2 B	6/02	A	2 G 1 8 8
G 0 1 T	1/00 (2006.01)	G 0 2 B	6/02	3 9 1	2 H 2 5 0
G 0 1 T	1/203(2006.01)	G 0 2 B	6/02	4 0 1	
		G 0 2 B	6/02	3 6 6	
		G 0 1 T	1/00	A	
		審査請求	有	予備審査請求	未請求 (全15頁) 最終頁に続く
(21)出願番号 特願2022-506016(P2022-506016)		(71)出願人 593150863			
(86)(22)出願日 令和2年7月28日(2020.7.28)		サン - ゴバン セラミックス アンド プ			
(85)翻訳文提出日 令和4年1月28日(2022.1.28)		ラスティクス , インコーポレイティド			
(86)国際出願番号 PCT/US2020/043874		S A I N T - G O B A I N C E R A M			
(87)国際公開番号 WO2021/021808		I C S A N D P L A S T I C S , I			
(87)国際公開日 令和3年2月4日(2021.2.4)		N C .			
(31)優先権主張番号 62/880,036		アメリカ合衆国 , マサチューセッツ , ワ			
(32)優先日 令和1年7月29日(2019.7.29)		ーセスター , ニュー ボンド ストリート			
(33)優先権主張国・地域又は機関		1			
米国(US)		O n e N e w B o n d S t r e e t ,			
(81)指定国・地域 AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA		W o r c e s t e r , M A 0 1 6 1 5			
,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(		, U n i t e d S t a t e s o f A			
AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,A		m e r i c a			
T,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR		(74)代理人 110003281			
,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,		特許業務法人大塚国際特許事務所			
		最終頁に続く			

(54)【発明の名称】 プラスチック波長シフトファイバおよびその作製方法

(57)【要約】

波長シフトファイバおよびその作製方法が開示されて
いる。波長シフトファイバは、プラスチックコアおよび
プラスチックコアを囲むコーティングを含むことができ
る。波長シフトファイバの開口数は、少なくとも約0 .
5 3 であることができる。波長シフトファイバを作製す
る方法は、プラスチックコア前駆体を加熱および延伸し
てプラスチックコアを形成することと、プラスチックコ
アを液体コーティングでコーティングすることと、プラ
スチックコアの周りの液体コーティングを硬化させて波
長シフトファイバを形成することと、を含み得る。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

波長シフトファイバであって、
 プラスチックコアと、
 前記プラスチックコアを囲むクラッドと、を備え、前記波長シフトファイバの開口数が少なくとも約 0.53 である、波長シフトファイバ。

【請求項 2】

波長シフトファイバであって、
 プラスチックコアと、
 前記プラスチックコアを囲むクラッドと、を備え、前記波長シフトファイバの開口数が 10
 少なくとも約 0.53 であり、前記波長シフトファイバの光減衰長が少なくとも 3 メートルである、波長シフトファイバ。

【請求項 3】

前記開口数が

【数 1】

$$NA = \sqrt{(n_{\text{core}})^2 - (n_{\text{clad}})^2}$$

で定義され、式中、 n_{core} が、前記プラスチックコアの屈折率であり、 n_{clad} が、 20
 前記クラッドの屈折率である、請求項 1 または請求項 2 に記載の波長シフトファイバ。

【請求項 4】

前記波長シフトファイバの前記開口数が、少なくとも約 0.6 である、請求項 1 または請求項 2 に記載の波長シフトファイバ。

【請求項 5】

前記波長シフトファイバの前記開口数が、少なくとも約 0.7 である、請求項 1 または請求項 2 に記載の波長シフトファイバ。

【請求項 6】

前記クラッドが、少なくとも 3 μm の厚さを有する、請求項 1 または請求項 2 に記載の 30
 波長シフトファイバ。

【請求項 7】

前記プラスチックコアを囲む前記クラッドが、UV 硬化クラッドである、請求項 1 または請求項 2 に記載の波長シフトファイバ。

【請求項 8】

前記クラッドが、間に介在する物質なしに前記コアと直接接触している、請求項 7 に記載の波長シフトファイバ。

【請求項 9】

前記プラスチックコアが、ポリスチレン (PS)、ポリビニルトルエン (PVT)、ポリメチルメタクリレート (PMMA)、ポリカーボネート、およびそれらの任意の組み合わせからなる群から選択される材料を含む、請求項 1 または請求項 2 に記載の波長シフト 40
 ファイバ。

【請求項 10】

前記プラスチックコアが、蛍光ドーパントを含む、請求項 9 に記載の波長シフトファイバ。

【請求項 11】

前記コーティングが、有機材料を含む、請求項 1 または請求項 2 に記載の波長シフトファイバ。

【請求項 12】

前記プラスチックコアが、少なくとも約 0.01 mm、かつ約 5 mm 以下の直径を有する、請求項 1 または請求項 2 に記載の波長シフトファイバ。 50

【請求項 13】

前記クラッドが、グリセロールエーテルアクリレート、メタクリレート化ポリマー、フルオロアクリレート、多官能アクリレート、またはそれらの組み合わせを含む、請求項 12 に記載の波長シフトファイバ。

【請求項 14】

波長シフトファイバを作製する方法であって、前記方法が、

プラスチックコア前駆体を加熱および延伸して、プラスチックコアを形成することと

液体コーティングで前記プラスチックコアをコーティングすることと、

前記プラスチックコアの周りの前記液体コーティングを硬化させて、波長シフトファイバを形成することと、を含む、方法。 10

【請求項 15】

請求項 13 に記載の波長シフトファイバを作製する方法であって、前記波長シフトファイバが、少なくとも約 0.53 の開口数を含み、前記開口数が、

【数 2】

$$NA = \sqrt{(n_{\text{core}})^2 - (n_{\text{clad}})^2}$$

で定義され、式中、 n_{core} が、前記プラスチックコアの屈折率であり、 n_{clad} が、前記コーティングの屈折率である、方法。 20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、シンチレーション物品およびそれを形成する方法、より具体的には、光導波路を備えたプラスチック波長シフトファイバに関する。

【背景技術】

【0002】

放射線検出装置は、様々な用途で使用されている。例えば、シンチレータは、医療画像、ならびに環境モニタリング、セキュリティ用途のために石油およびガス業界の検層にも使用することができ、核物理学の分析および用途のために使用できる。波長シフトファイバの製造は、従来、使用される材料の特性によって制限されていたため、非常に困難な場合がある。波長シフトファイバの製造のさらなる改善が望まれる。 30

【図面の簡単な説明】

【0003】

実施形態は、例として示されており、添付の図に限定されない。

【図 1】一実施形態によるプラスチック波長シフトファイバの断面図の例示を示す。

【図 2】一実施形態による波長シフトファイバの製造の方法を示す。

【図 3】さらに別の実施形態による本体および波長シフトファイバを含む物品の端面図の例示を含む。 40

【0004】

当業者は、図中の要素が単純化および明瞭化のために示されており、必ずしも縮尺どおりに描かれていないことを理解している。例えば、図中の要素のいくつかの寸法は、本発明の実施形態の理解を改善するのに助けるために、他の要素に対して誇張されている場合がある。

【発明を実施するための形態】

【0005】

図面と組み合わせた以下の説明は、本明細書に開示される教示を理解するのに助けるために提供される。以下の考察は、本教示の具体的な実装および実施形態に焦点を合わせるであろう。この焦点は、本教示を説明するのに助けるために提供されており、本教示の範 50

囲または適用性に対する限定として解釈されるべきではない。

【0006】

本明細書で使用されているように、元素の周期表内の列に対応するグループ番号は、*RC Handbook of Chemistry and Physics*、第81版(2000-2001)に見られる「新しい表記法」の規則を使用している。

【0007】

波長シフトファイバの光減衰長は、ファイバの端で検出可能な光の量を特徴付け、その量に直接関係する。光減衰長は、波長シフトファイバを保持および支持する光学台で測定される。光学台には、レールが含まれ、レール上には、(1)UV-Vis(紫外可視)フォトダイオード、(2)励起キャビティ、および(3)ファイバの後端を支持するための機械的ホルダが取り付けられている。波長シフトファイバの前端は、UV-Visフォトダイオードに取り付けられている。励起キャビティは、等間隔に離間した390nmLEDおよびフォトランジスタを使用して、励起光の強度を測定する。キャビティは、光学レール上を移動するキャリッジに取り付けられている。キャリッジの位置は、光学台レールに取り付けられた目盛りで±5mmより良い精度で読み取ることができる。光学台のセットアップおよび操作の詳細は、「*A set-up to measure the optical attenuation length of scintillating fibers*」と題され、2015年5月12日に公開されたCERN(欧州原子核研究機構)の出版物LHCb-PUB-2015-011に記載されている。

【0008】

本明細書で使用される場合、「含む(comprise)」、「含む(comprising)」、「含む(include)」、「含む(including)」、「有する(has)」、「有する(having)」という用語、またはこれらの任意の他の変形語は、非排他的な包含を含むことを意図している。例えば、特徴のリストを含むプロセス、方法、物品、または装置は、必ずしもそれらの特徴だけに限定されず、明示的に列記されていない、またはそのようなプロセス、方法、物品、または装置に固有でない他の特徴を含み得る。さらに、そうではないと明示的に述べられていない限り、「または(or)」は、包含的な「または」を指し、排他的な「または」を指さない。例えば、条件AまたはBは、以下のいずれか1つによって満たされる：Aは真(または存在する)かつBは偽(または存在しない)、Aは偽(または存在しない)かつBは真(または存在する)、およびAとBの両方が真(または存在する)である。

【0009】

「1つ(a)」または「1つ(an)」の使用は、本明細書に記載の要素および構成要素を説明するために使用される。これは、単に便宜上および本発明の範囲の一般的な意味を与えるために行われている。この説明は、他を意味することが明確でない限り、1つまたは少なくとも1つおよび複数も含む単数形、またはその逆を含むように読む必要がある。

【0010】

他に定義されない限り、本明細書において使用されるすべての技術的および科学的用語は、本発明が属する当技術分野の当業者によって一般的に理解されるのと同じ意味を有する。材料、方法、および例は、例示的なものにすぎず、限定的であることを意図しない。本明細書に記載されていない範囲で、特定の材料および処理行為に関する多くの詳細は従来とおりであり、シンチレーション技術、放射線検出技術内の教科書およびその他の情報源に見られ得る。

【0011】

波長シフトファイバは、プラスチックコアおよびプラスチックコアを囲む、ファイバに沿った光の透過を改善するためのコーティングを含み、波長シフトファイバを含む放射線検出器に到達できる光の量を最終的に増やすことができる。

【0012】

一実施形態では、波長シフトファイバは、重合された固体プラスチックシンチレーショ

10

20

30

40

50

ンコアと、コアを囲むクラッドとを含み、波長シフトファイバの開口数は、少なくとも 0.53 であり得る。開口数が大きいほど、検出器でより多くの光を検出できる。コア内により多くの光を含むことにより、波長シフトファイバは、より多くの光が最終的に検出器に到達することを可能にし、出力を向上させる。高い開口数を得るのは難しい。さらに、コアおよびクラッドのために選択される材料は、コアおよびクラッドの両方を同時に延伸するために同様の融点および熱特性を有する必要があるため、これまで制限され、それによって波長シフトファイバの開口数が制限されてきた。特定のクラッドの選択は、望まれる特定のシンチレーション特性に依存し得る。さらに、潤滑剤またはダスト粒子などの汚染物質は、ファイバの長さに沿った光子の透過を妨害し、さらに光の損失を増やす。本明細書で使用されるように、クラッドは、2 つ以上の異なる要素または層を含むことができる。

10

【0013】

以下に説明する波長シフトファイバのいずれも、様々な用途で 사용할 ことができる。例示的な用途には、ガンマ線分光法、同位体同定、単一光子放出コンピュータ断層撮影 (SPECT) または陽電子放出断層撮影 (PET) 分析、X 線画像化、油井検層検出器、医療画像化デバイス、ネットワーク通信デバイス、高エネルギー物理学、小型検出器、ネットワーク通信、放送受信機、無線伝送、拡張現実デバイス、放送ネットワーク、および放射能の存在の検出が含まれる。波長シフトファイバは他の用途に使用できるため、このリストは単なる例示であり、限定的なものではない。以下に、いくつかの特定の用途について説明する。

20

【0014】

以下に説明され、例示される実施形態は、本明細書に規定される概念を理解するのを助けるために提供される。実施形態は、単に例示的なものであり、添付の特許請求の範囲に規定されているように、本発明の範囲を限定することを意図するものではない。

【0015】

図 1 は、一実施形態によるプラスチック波長シフトファイバ 100 の例示を示す。プラスチック波長シフトファイバ 100 は、コア 102 およびクラッド 104 を含むことができる。一実施形態では、クラッド 104 は、コーティングによって形成することができ、それによって、コーティングと称され得る。一実施形態では、コア 102 は、プラスチックコアとすることができる。コア 102 は、ポリスチレン (PS)、ポリビニルトルエン (PVT)、およびポリメチルメタクリレート (PMMA)、ポリカーボネート、およびそれらの任意の組み合わせからなる群から選択される材料を含むことができる。一実施形態では、コア 102 は、蛍光ドーパントと含むことができる。コア 102 は、円形、正方形、三角形、多角形、または六角形などの様々な幾何学的形状であり得る。コア 102 は、0.01 mm から 5 mm の直径を有し得る。一実施形態では、コア 102 は、少なくとも 0.01 mm の直径、例えば、0.1 mm の直径、または 0.2 mm の直径、または 0.5 mm の直径、または 1 mm の直径、または 2 mm の直径を有し得る。一実施形態では、コア 102 は、最大で 5 mm、例えば、最大で 4.5 mm、または最大で 4 mm、または最大で 3.5 mm の直径を有し得る。

30

【0016】

コーティング 104 は、コア 102 を囲み得る。一実施形態では、コーティング 104 は、コア 102 全体を囲み得る。一実施形態では、コーティング 104 は、コア 102 と直接接触することができる。一実施形態では、コーティング 104 は、間に介在する材料、例えば、潤滑剤なしで、コア 102 と直接接触することができる。一実施形態では、コーティング 104 は、単一層を含むことができる。別の実施形態では、コーティング 104 は、少なくとも 2 つの層を含むことができる。一実施形態では、コーティング 104 の少なくとも 2 つの層は、異なる組成の材料を有することができる。別の実施形態では、コーティング 104 の少なくとも 2 つの層は、同じ材料であり得る。さらに別の実施形態では、コーティング 104 の少なくとも 2 つの層は、異なる材料であり得る。コーティング 104 は、有機材料を含み得る。一実施形態では、コーティング 104 は、グリセロール

40

50

エーテルアクリレート、メタクリレート化ポリマー、フルオロアクリレート、多官能アクリレート、またはそれらの組み合わせから選択される材料を含むことができる。別の実施形態では、コーティング 104 は、ドーパントを含むことができる。別の実施形態では、コーティング 104 は、コーティング 104 をより反射性にするための添加剤を含むことができる。

【0017】

一実施形態では、コーティング 104 は、コア 102 と同じ形状を有することができる。別の実施形態では、コーティング 104 は、コア 102 と異なる形状を有することができる。例えば、一実施形態では、コア 102 は円形であり得、コーティング 104 は正方形であり得る。別の実施形態では、コーティング 104 は、放射線硬化され得る液体コーティングとすることができる。一実施形態では、コーティング 104 は、放射線硬化コーティングとすることができる。一実施形態では、コーティング 104 は、紫外線硬化コーティングとすることができる。一実施形態では、コーティング 104 は、熱硬化コーティングとすることができる。一実施形態では、コーティング 104 は、約 $3\ \mu\text{m}$ ~ 約 $1\ \text{mm}$ の厚さを有することができる。一実施形態では、コーティング 104 は、少なくとも $3\ \mu\text{m}$ 、例えば $25\ \mu\text{m}$ 、または例えば $50\ \mu\text{m}$ 、または例えば $75\ \mu\text{m}$ 、または例えば $100\ \mu\text{m}$ 、または例えば $500\ \mu\text{m}$ などの厚さを有することができる。一実施形態では、コーティング 104 は、最大で $600\ \mu\text{m}$ の厚さ、例えば $700\ \mu\text{m}$ 、または例えば $800\ \mu\text{m}$ 、または例えば $1\ \text{mm}$ などの厚さを有することができる。プラスチックファイバ 100 は、少なくとも 0.53 の開口数、例えば少なくとも 0.6 の開口数、または少なくとも 0.7 の開口数などを有することができる。一実施形態では、プラスチックファイバ 100 は、波長シフトファイバとすることができる。

【0018】

図 2 は、一実施形態による、波長シフトファイバ 100 を製造する方法 200 を示す。一実施形態では、波長シフトファイバ 100 は、シンチレーションファイバであり得る。一実施形態では、液体モノマーおよびシンチレーション添加剤を含むことができる混合物を重合して、コア前駆体を形成する。一実施形態では、コア前駆体は、プラスチックコア前駆体であり得る。一実施形態では、コア前駆体は、ポリスチレン (PS)、ポリビニルトルエン (PVT)、およびポリメチルメタクリレート (PMMA)、ポリカーボネート、およびそれらの任意の組み合わせからなる群から選択される材料を含むことができる。一実施形態では、コア前駆体は、蛍光ドーパントを含むことができる。一実施形態では、重合は、幾何学的成形管内で行うことができる。例えば、一実施形態では、重合は、円筒形の管内で行われて、丸いシンチレーションコアを形成することができる。一実施形態では、コア前駆体は、1.60 未満の屈折率、例えば、1.59 未満の屈折率、または 1.57 未満の屈折率、または 1.55 未満の屈折率、または 1.50 未満の屈折率を有することができる。一実施形態では、コア前駆体は、0.2 を超える屈折率を有することができる。

【0019】

動作 210 で、コア前駆体を加熱および延伸してコアを形成することができる。一実施形態では、コアは、プラスチックコアとすることができる。一実施形態では、プラスチックコアは、上記のコア 102 と同様であり得る。一実施形態では、プラスチックコアは、 $8\ \text{mm}$ を超える直径、例えば $10\ \text{mm}$ を超えるか、または $12\ \text{mm}$ を超える直径などを有することができる。一実施形態では、プラスチックコア前駆体は、プラスチックコアよりも大きな直径を有することができる。一実施形態では、コア前駆体は、 240 を超える温度、例えば、 260 を超えるか、または 270 を超えるか、または 300 を超える温度などに加熱することができる。

【0020】

動作 220 で、プラスチックコアは、液体コーティングでコーティングすることができる。一実施形態では、液体コーティングは、グリセロールエーテルアクリレート、メタクリレート化ポリマー、フルオロアクリレート、多官能アクリレート、またはそれらの組み

10

20

30

40

50

合わせから選択される材料を含むことができる。別の実施形態では、液体コーティングは、ドーパントを含むことができる。別の実施形態では、液体コーティングは、液体コーティングの反射率を高めるための添加剤を含むことができる。一実施形態では、液体コーティングは、コア前駆体とは異なる融点を有することができる。一実施形態では、液体コーティングは、コア前駆体の融点よりも少なくとも 80 高い融点、例えば、コア前駆体の融点よりも少なくとも 100 高い融点、または少なくとも 150 高い融点などを有することができる。一実施形態では、液体コーティングは、250 を超える融点、例えば、300 を超える、または 350 を超える、または 400 を超える、または 500 を超える融点などを有することができる。一実施形態では、液体コーティングは、1.50 未満の屈折率、例えば、1.48 未満の屈折率、または 1.45 未満の屈折率、または 1.42 未満の屈折率、または 1.40 未満の屈折率、または 1.35 未満の屈折率などを有することができる。

10

【0021】

動作 230 で、プラスチックコアを囲む液体コーティングを硬化させて、波長シフトファイバを形成することができる。一実施形態では、プラスチックコアをその最終的な長さに成形した後、プラスチックコアを囲む液体コーティングを硬化させて保護クラッドを形成することができる。一実施形態では、液体コーティングは、熱を加えることなくプラスチックコアに塗布することができる。一実施形態では、液体コーティングは、液体コーティングとプラスチックコアとの間に介在物質がないように、プラスチックコアに直接塗布することができる。一実施形態では、液体コーティングは、放射線を使用して硬化させることができる。一実施形態では、液体コーティングは、紫外線放射を使用して硬化させることができる。別の実施形態では、液体コーティングは、熱放射を使用して硬化させることができる。液体コーティングは、30 秒を超えない期間、例えば、5 秒未満、または 3 秒未満、または 1 秒未満、または 0.5 秒未満の期間、硬化され得る。一実施形態では、第 1 の液体コーティングが硬化された後、第 2 の液体コーティングを第 1 の液体コーティングに塗布してもよい。複数の液体コーティングが塗布される場合、各コーティングは別々に硬化されてもよい。一実施形態では、第 1 の液体コーティングは、第 2 の液体コーティングよりも短い期間で硬化されてもよい。一実施形態では、複数の液体コーティングをプラスチックコアに塗布してもよい。例えば、3 つ以上の液体コーティングがプラスチックコアに塗布されてもよい。一実施形態では、第 1 の液体コーティングは、第 2 の液体コーティングとは異なってもよい。別の実施形態では、第 1 の液体コーティングは、第 2 の液体コーティングよりも薄くてもよい。さらに別の実施形態では、第 1 の液体コーティングは、第 2 の液体コーティングよりも厚くてもよい。別の実施形態では、第 1 の液体コーティングは、第 2 の液体コーティングと同じ厚さを有してもよい。さらに別の実施形態では、第 1 の液体コーティングは、第 2 の液体コーティングとは異なる種類の放射線を使用して硬化させてもよい。一実施形態では、プラスチックコアが加熱されてその最終的な長さに延伸された後、複数の液体コーティングを塗布してもよい。プラスチックコアに液体コーティングを塗布することで、従来のコアとクラッド方法との間に蓄積する可能性のあるダストの蓄積を直接排除する。従来のコアおよびクラッドのインタフェースに閉じ込められたダストまたは汚染は、ファイバに沿った光の透過を低下させる可能性がある。しかしながら、液体コーティングをプラスチックコアに直接塗布して硬化させることにより、波長シフトファイバのファイバに沿った光の透過効率が向上する。

20

30

40

【0022】

波長シフトファイバが形成された後、波長シフトファイバは、少なくとも 0.53 の開口数を有することができる。一実施形態では、波長シフトファイバは、少なくとも 0.6、例えば少なくとも 0.7 などの開口数を有してもよい。開口数は、

【数 1】

$$NA = \sqrt{(n_{\text{core}})^2 - (n_{\text{clad}})^2}$$

50

で定義され、式中、 n_{core} は、プラスチックコアの屈折率、 n_{clad} は、波長589nmの25で測定されたコーティングの屈折率である。開口数が多いほど、検出器でより多くの光を検出できる。コア内により多くの光を含むことにより、波長シフトファイバは、より多くの光が最終的に検出器に到達することを可能にし、出力を向上させる。一実施形態では、波長シフトファイバは、少なくとも3メートル、例えば、少なくとも4メートル、または少なくとも5メートルの光減衰長を有することができる。一実施形態では、波長シフトファイバは、10メートル未満、例えば、9メートル未満、または8メートル未満、または7メートル未満の光減衰長を有することができる。

【0023】

図3は、単一光子放出コンピュータ断層撮影(SPECT)またはステップスルーX線装置などのガンマ線分析に使用することができる放射線検出装置300の実施形態を例示している。図3に示されるように、本明細書に説明される実施形態によれば、放射線検出装置300は、フォトセンサ301、光インタフェース303、およびシンチレーションデバイス305を含み得る。フォトセンサ301、光インタフェース303、およびシンチレーションデバイス305が、互いに分離しているように図3に例示されているが、特定の実施形態によれば、フォトセンサ301およびシンチレーションデバイス305は、光インタフェース303がフォトセンサ301とシンチレーションデバイス305との間に配置された状態で、光インタフェース303に結合され得ることが理解されよう。さらに他の実施形態によれば、シンチレーションデバイス300およびフォトセンサ301は、光学ゲルまたは結合剤の使用などの他の既知の結合方法を用いて、または光学的に結合された元素の分子付着を介して直接、光インタフェース303に光学的に結合され得る。

【0024】

さらに他の実施形態によれば、フォトセンサ301は、光電子増倍管(PMT)、半導体ベースの光電子増倍管、ハイブリッド光センサ、アバランシェフォトダイオード、またはそれらの組み合わせであり得る。本明細書で使用される場合、半導体ベースの光電子増倍管は、各フォトダイオードが1mm未満のセルサイズを有し、ガイガーモードで動作する複数のフォトダイオードを含む光電子増倍管を意味することを意図している。実際には、半導体ベースの光電子増倍管は、1000を超えるフォトダイオードを含むことができ、各フォトダイオードは、10ミクロンから100ミクロンの範囲のセルサイズと固定ゲインを有する。半導体ベースの光電子増倍管の出力は、すべてのガイガーモードフォトダイオードの合計信号である。半導体ベースの光電子増倍管には、シリコン光電子増倍管(SiPM)または別の半導体材料に基づく光電子増倍管を含めることができる。より高温(例えば、125より高い)用途の場合、他の半導体材料は、シリコンよりも広いバンドギャップエネルギーを有することができる。例示的な材料は、SiC、Ga族V化合物(例えば、GaN、GaP、Ga₂O₃、またはGaAs)などを含むことができる。アバランシェフォトダイオードは、少なくとも1mm²の受光面積など、より大きなサイズを有し、比例モードで動作する。

【0025】

フォトセンサ301は、入力ウィンドウ316を介して、シンチレーションデバイス305によって放出された光子を受信し、受信した光子の数に基づいて電気パルスを生成することができる。フォトセンサ301は、電子モジュール330に電氣的に結合されている。電気パルスは、電子モジュール330によって成形、デジタル化、分析、またはそれらの任意の組み合わせを行うことができ、フォトセンサ301で受信された光子または他の情報のカウントを提供することができる。電子モジュール330は、アンプ、プリアンプ、弁別器、アナログ-デジタル信号変換器、光子カウンタ、パルス波形分析器もしくは弁別器、別の電子部品、またはそれらの任意の組み合わせを含むことができる。フォトセンサ301は、金属、金属合金、他の材料、またはそれらの任意の組み合わせなどの、フォトセンサ301、電子モジュール330、またはそれらの組み合わせを保護することができる材料で作られた管または筐体内に収容することができる。

【0026】

10

20

30

40

50

シンチレーションデバイス 305 は、波長シフトファイバ 100 などの、前述のような波長シフトファイバを含み得る。シンチレーションデバイス 305 は、ガンマ線分光デバイス、同位体識別デバイス、単一光子放出コンピュータ断層撮影 (SPECT) デバイス、陽電子放出断層撮影 (PET) 分析デバイス、X 線画像化デバイス、油井検層検出器、医療画像化デバイス、ネットワーク通信デバイス、小型検出器、ネットワーク通信デバイス、放送受信機、無線伝送デバイス、拡張現実デバイス、および放送ネットワークシステムなどのより大きなシステムに含めることができる。波長シフトファイバ 100 は、ケーシング 313 によって実質的に囲まれ得る。シンチレーションデバイス 305 は、波長シフトファイバ 100 と、光インタフェース 303、ケーシング 313、またはそれらの任意の組み合わせなどの放射線検出装置 300 の他の要素との間の相対運動を低減するように適合された少なくとも 1 つの安定化機構を含み得る。

【0027】

光インタフェース 303 は、フォトセンサ 301 とシンチレーションデバイス 305 との間に結合されるように適合され得る。光インタフェース 303 はまた、フォトセンサ 301 とシンチレーション装置 305 との間の光結合を容易にするように適合され得る。光インタフェース 303 は、波長シフトファイバ 100 および入力ウィンドウ 316 の屈折率を整合させるために偏光されたシリコーンゴムなどのポリマーを含むことができる。他の実施形態では、光インタフェース 303 は、ポリマーおよび追加の要素を含むゲルまたはコロイドを含むことができる。

【0028】

本明細書で説明されている概念は、前述の特定の用途に限定されない。放射線検出器は、別の種類の放射線用に構成することができる。多くの異なる態様および実施形態が可能である。それらの態様および実施形態のいくつかは本明細書に記載される。実施形態は、以下にリスト化される実施形態のうちのいずれか 1 つ以上に従い得る。

実施形態 1。波長シフトファイバは、プラスチックコアおよびプラスチックコアを囲むコーティングを含むことができる。波長シフトファイバの開口数は、少なくとも約 0.53 にすることができる。

実施形態 2。開口数は、

【数 2】

$$NA = \sqrt{(n_{\text{core}})^2 - (n_{\text{clad}})^2}$$

で定義され、式中、 n_{core} は、プラスチックコアの屈折率であり、 n_{clad} は、コーティングの屈折率である、実施形態 1 の波長シフトファイバ。

実施形態 3。波長シフトファイバの開口数は、少なくとも約 0.6 であり得る、実施形態 1 の波長シフトファイバ。

実施形態 4。波長シフトファイバの開口数は、少なくとも約 0.7 であり得る、実施形態 1 の波長シフトファイバ。

実施形態 5。コーティングが少なくとも $3\ \mu\text{m}$ の厚さ、例えば $25\ \mu\text{m}$ 、または例えば $50\ \mu\text{m}$ 、または例えば $75\ \mu\text{m}$ 、または例えば $100\ \mu\text{m}$ 、または例えば $500\ \mu\text{m}$ などの厚さを有する、実施形態 1 の波長シフトファイバ。

実施形態 6。プラスチックコアを囲むコーティングが、放射線硬化コーティングである、実施形態 1 の波長シフトファイバ。

実施形態 7。放射線硬化コーティングが、UV 硬化コーティングであり得る、実施形態 6 の波長シフトファイバ。

実施形態 8。プラスチックコアが、ポリスチレン (PS)、ポリビニルトルエン (PVT)、ポリメチルメタクリレート (PMMA)、ポリカーボネート、およびそれらの任意の組み合わせからなる群から選択される材料を含むことができる、実施形態 1 の波長シフトファイバ。

実施形態 9。プラスチックコアが、蛍光ドーパントを含むことができる、実施形態 8 の波長シフトファイバ。

実施形態 10。コーティングが、有機材料を含むことができる、実施形態 1 の波長シフトファイバ。

実施形態 11。プラスチックコアが、少なくとも約 0.01 mm、かつ約 5 mm 以下の直径を有することができる、実施形態 1 の波長シフトファイバ。

実施形態 12。コーティングが、グリセロールエーテルアクリレート、メタクリレート化ポリマー、フルオロアクリレート、多官能アクリレート、またはそれらの組み合わせを含むことができる、実施形態 10 の波長シフトファイバ。

実施形態 13。波長シフトファイバを作製する方法は、プラスチックコア前駆体を加熱および延伸してプラスチックコアを形成し、プラスチックコアを液体コーティングでコーティングし、プラスチックコアの周りの液体コーティングを硬化させて波長シフトファイバを形成することを含み得る。 10

実施形態 14。プラスチックコアの周りの液体コーティングが紫外線 (UV) 放射を使用して硬化され得る、実施形態 13 の波長シフトファイバを作製する方法。

実施形態 15。プラスチックコアの周りの液体コーティングを 30 秒未満、例えば 5 秒未満、または 3 秒未満、または 0.5 秒未満で硬化させることができる、実施形態 13 の波長シフトファイバを作製する方法。

実施形態 16。波長シフトファイバが、少なくとも約 0.53 の開口数を含むことができ、開口数が、 20

【数 3】

$$\text{式 } N A = \sqrt{(n_{\text{core}})^2 - (n_{\text{clad}})^2}$$

で定義され、式中、 n_{core} が、プラスチックコアの屈折率であり、 n_{clad} が、コーティングの屈折率である、実施形態 13 の波長シフトファイバを作製する方法。

実施形態 17。波長シフトファイバの開口数が、少なくとも約 0.6 であり得る、実施形態 16 の波長シフトファイバを作製する方法。

実施形態 18。波長シフトファイバの開口数が、少なくとも約 0.7 であり得る、実施形態 16 の波長シフトファイバを作製する方法。 30

実施形態 19。プラスチックコアが、ポリスチレン (PS)、ポリビニルトルエン (PVT)、ポリメチルメタクリレート (PMMA)、ポリカーボネート、およびそれらの任意の組み合わせからなる群から選択される材料を含むことができる、実施形態 13 の波長シフトファイバを作製する方法。

実施形態 20。プラスチックコア前駆体を 240 を超えて加熱することができる、実施形態 13 の波長シフトファイバを作製する方法。

実施形態 21。方法は、液体コーティングが硬化した後に液体コーティング上に第 2 の液体コーティングを塗布し、第 2 の液体コーティングを硬化させることをさらに含むことができる、実施形態 13 の波長シフトファイバを作製する方法。 40

実施形態 22。波長シフトファイバを作製する方法であって、少なくとも液体モノマーとシンチレーション添加剤の混合物を重合してプラスチックコア前駆体を形成することと、プラスチックコア前駆体を加熱および延伸してプラスチックコアを形成することと、液体コーティングをプラスチックコアの周りに塗布し、プラスチックコアの周りの液体コーティングを硬化させて波長シフトファイバを形成することとを含むことができる、方法。

実施形態 23。プラスチックコアおよびプラスチックコアを囲むコーティングを含む波長シフトファイバであって、波長シフトファイバの開口数が少なくとも約 0.53 であり、波長シフトファイバの光減衰長が、少なくとも 3 メートル、例えば少なくとも 4 メートル、または少なくとも 5 メートルなどである、波長シフトファイバ。

実施形態 24。波長シフトファイバの光減衰長が、10 メートルを超えない、実施形態 50

23の波長シフトファイバ。

【実施例】

【0029】

ドープされたポリスチレン前駆体ロッドを、3mm/分の速度で240の延伸オープンに供給し、1mmのファイバ径に延伸させた。ファイバ径は、市販の多軸レーザ径コントローラを使用して制御した。コーティングプロセスは、直径公差 $+/-0.010$ mmに達した直後に開始させた。コーティングダイは、35に予熱された市販のDesolite UVアクリル樹脂で満たした。コーティングプロセスの直後に、コーティングされたファイバを市販の100W/cmのUV硬化オープンで硬化させ、直径24インチのスプールにスプールして波長シフトファイバを形成した。波長シフトファイバは、開口数(NA)が0.53であると測定された。

【0030】

本明細書に説明されている実施形態は、貨物、車両、または他の大きな物体の検査、ならびに高エネルギー物理学、医療画像化、小型検出器、ネットワーク通信、放送受信機、無線伝送、拡張現実デバイス、および放送ネットワークに関する研究に使用できる比較的大きな放射線検出器を可能にすることができる。上記の一般的な説明または例で説明した機能のすべてが必要なわけではなく、特定の機能の一部は必要でない場合があり、説明した機能に加えて1つ以上の機能を実施することができることに留意されたい。さらにまた、機能が記載される順序は、必ずしも実施される順序ではない。

【0031】

利益、他の利点、および問題に対する解決策は、特定の実施形態に関して上記で説明されている。しかしながら、利益、利点、問題の解決策、および任意の利益、利点、もしくは解決策が発生またはより顕著になる可能性のある任意の特徴は、いずれかまたはすべての特許請求の範囲の重要な、必須の、または本質的な特徴として解釈されるべきではない。

【0032】

本明細書に記載された実施形態の明細書および例示は、様々な実施形態の構造の一般的な理解を提供することを意図している。明細書および例示は、本明細書に記載の構造または方法を使用する装置およびシステムのすべての要素および特徴の網羅的かつ包括的な説明として役立つことを意図するものではない。別個の実施形態はまた、単一の実施形態において組み合わせて提供されてもよく、逆に、簡潔にするために、単一の実施形態の文脈で説明されている様々な特徴もまた、別個にまたは任意のサブコンビネーションで提供されてもよい。さらに、範囲に記載されている値への言及は、言及された終了範囲の値を含む、その範囲内のすべての値を含む。本明細書を読んだ後であれば、他の多くの実施形態が当業者にとって明らかであろう。本開示の範囲から逸脱することなく、構造的置換、論理的置換、または別の変更を行うことができるように、本開示から他の実施形態が使用され、かつ導出され得る。したがって、本開示は、限定的ではなく例示的とみなされるべきである。

10

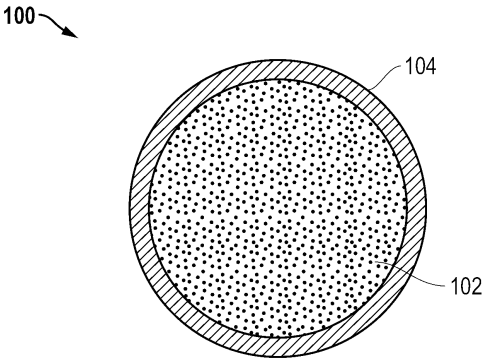
20

30

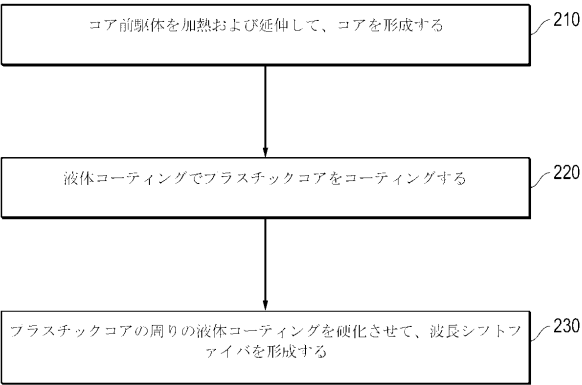
40

50

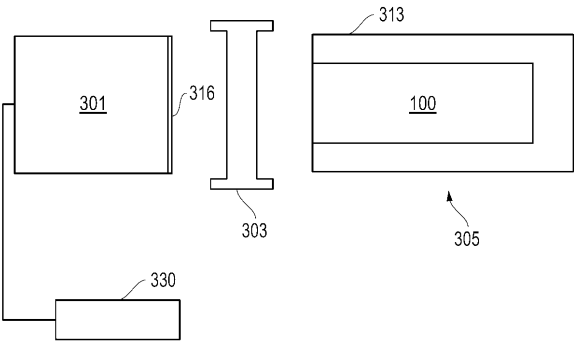
【 図 面 】
【 図 1 】



【 図 2 】
200



【 図 3 】
300



10

20

30

40

50

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US2020/043874
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G02B 6/02(2006.01)i, G01T 1/20(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) G02B 6/02; F21V 9/16; G01J 5/08; G01N 23/00; G01T 1/00; G01T 1/20; G01T 7/00; G02B 5/172		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Korean utility models and applications for utility models Japanese utility models and applications for utility models		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) eKOMPASS(KIPO internal) & Keywords: wavelength shifting fiber, plastic core, cladding, numerical aperture		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5588084 A (KURTIS F. JOHNSON) 24 December 1996 columns 4-5, claims 1-10 and figures 1-2	1-10, 12-13
Y		11, 14-15
Y	WO 2015-056025 A1 (FIBERCORE LIMITED) 23 April 2015 claim 1 and figures 1-3	11
Y	US 4788436 A (WALTER KOECHNER) 29 November 1988 column 3, claim 1 and figures 1a-5	14-15
A	KR 10-2014-0123996 A (AMERICAN SCIENCE AND ENGINEERING, INC.) 23 October 2014 claim 1 and figures 1a-7	1-15
A	JP 2010-091555 A (HONEYWELL INTERNATL INC) 22 April 2010 claim 1 and figures 1-4 (This international search report has been established on the assumption that claim 15 refers to claim 14.)	1-15
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "D" document cited by the applicant in the international application "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "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) "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 "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 "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 "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 "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 06 November 2020 (06.11.2020)		Date of mailing of the international search report 09 November 2020 (09.11.2020)
Name and mailing address of the ISA/KR International Application Division Korean Intellectual Property Office 189 Cheongsa-ro, Seo-gu, Daejeon, 35208, Republic of Korea Facsimile No. +82-42-481-8578		Authorized officer KANG MIN JEONG Telephone No. +82-42-481-8131

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 2019)

10

20

30

40

50

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/US2020/043874

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5588084 A	24/12/1996	None	
WO 2015-056025 A1	23/04/2015	GB 2519326 A	22/04/2015
US 4788436 A	29/11/1988	None	
KR 10-2014-0123996 A	23/10/2014	CA 3080221 A1	22/08/2013
		CN 104204854 A	10/12/2014
		CN 107193034 A	22/09/2017
		EP 2807474 A1	03/12/2014
		EP 2825904 A1	21/01/2015
		EP 2825904 B1	04/07/2018
		HK 1202633 A1	02/10/2015
		HK 1203632 A1	30/10/2015
		HK 1244541 A1	10/08/2018
		IL 234076 A	28/06/2018
		JP 2015-513075 A	30/04/2015
		JP 2017-040665 A	23/02/2017
		JP 2018-136343 A	30/08/2018
		JP 2018-155764 A	04/10/2018
		JP 2020-060590 A	16/04/2020
		JP 6203367 B2	27/09/2017
		KR 10-2020-0044997 A	29/04/2020
		KR 10-2020-0044998 A	29/04/2020
		MX 2014009790 A	12/09/2014
		RU 2014133352 A	10/04/2016
		US 10209372 B2	19/02/2019
		US 2016-0170044 A1	16/06/2016
		US 2017-0315242 A1	02/11/2017
		US 2019-0383953 A1	19/12/2019
		WO 2013-122763 A1	22/08/2013
JP 2010-091555 A	22/04/2010	EP 2166377 A1	24/03/2010
		EP 2166377 B1	07/11/2012
		US 2010-0067844 A1	18/03/2010
		US 8031989 B2	04/10/2011

フロントページの続き

(51)国際特許分類

F I

テーマコード (参考)

G 0 1 T

1/203

MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,ML,MR,N
E,SN,TD,TG),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,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IR,IS,IT,JO,JP,K
E,KG,KH,KN,KP,KR,KW,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,N
G,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,SC,SD,SE,SG,SK,SL,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,
TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,WS,ZA,ZM,ZW

(74)代理人 110000855弁理士法人浅村特許事務所

(72)発明者 バズニアク、ヤン ジェイ .

アメリカ合衆国、オハイオ、ソロン、セネカ ドライブ 3 3 0 0 7

F ターム (参考) 2G188 AA02 AA03 AA27 BB02 BB04 BB07 CC10 CC21 CC23 DD42
2H250 AA33 AA35 AB32 AB33 AB35 AD32 AH38