



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

G02B 6/02295 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2013130320, 03.07.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
03.07.2013

Дата регистрации:
18.01.2018

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
31.07.2012 US 13/562832

(43) Дата публикации заявки: 10.01.2015 Бюл. № 1

(45) Опубликовано: 18.01.2018 Бюл. № 2

Адрес для переписки:

190000, Санкт-Петербург, ВОХ-1125,
ПАТЕНТИКА

(72) Автор(ы):

ХАНТ Джеффри Х. (US),
БЕЛК Джон Х. (US)

(73) Патентообладатель(и):

Зе Боинг Компани (US)

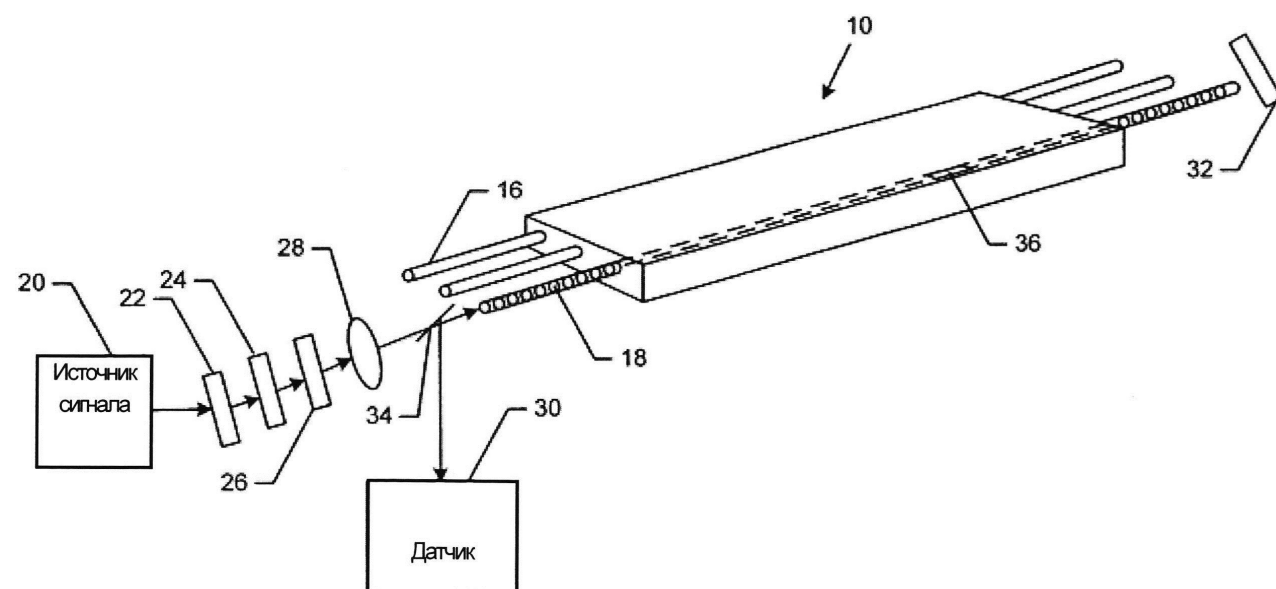
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: EP 1519181 A1, 30.03.2005. US
7362938 B1, 22.04.2008. US 7005669 B1,
28.02.2006. US 7326365 B2, 05.02.2008.

(54) КОМПОЗИТНАЯ КОНСТРУКЦИЯ СО ВСТРОЕННОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ

(57) Реферат:

Группа изобретений относится к измерительным системам для контроля состояния композитного материала. Композитная конструкция содержит композитный материал и оптическое волокно, размещенное в этом композитном материале. Оптическое волокно содержит множество квантовых точек для усиления его нелинейных оптических свойств. Квантовые точки могут быть размещены в сердечнике, в оболочке и/или на поверхности оптического волокна. Оптическое волокно выполнено с возможностью передачи сигналов

и выполнено чувствительным к дефекту в композитном материале. Квантовые точки создают нелинейный эффект, такой как эффект второго порядка, в ответ на наличие дефекта в композитном материале. На основании регистрации и анализа сигналов, имеющих нелинейный эффект, созданный квантовыми точками, может быть обнаружен дефект в композитном материале. Технический результат – возможность обнаружения дефектов в композитной конструкции. 3 н. и 9 з.п. ф-лы, 7 ил.



ФИГ. 3



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

G02B 6/02295 (2006.01)(21)(22) Application: **2013130320, 03.07.2013**(24) Effective date for property rights:
03.07.2013Registration date:
18.01.2018

Priority:

(30) Convention priority:
31.07.2012 US 13/562832(43) Application published: **10.01.2015** Bull. № 1(45) Date of publication: **18.01.2018** Bull. № 2

Mail address:

**190000, Sankt-Peterburg, VOKH-1125,
PATENTIKA**

(72) Inventor(s):

**KHANT Dzheffri KH. (US),
BELK Dzhon KH. (US)**

(73) Proprietor(s):

Ze Boing Kompani (US)(54) **COMPOSITE CONSTRUCTION WITH BUILT-IN MEASURING SYSTEM**

(57) Abstract:

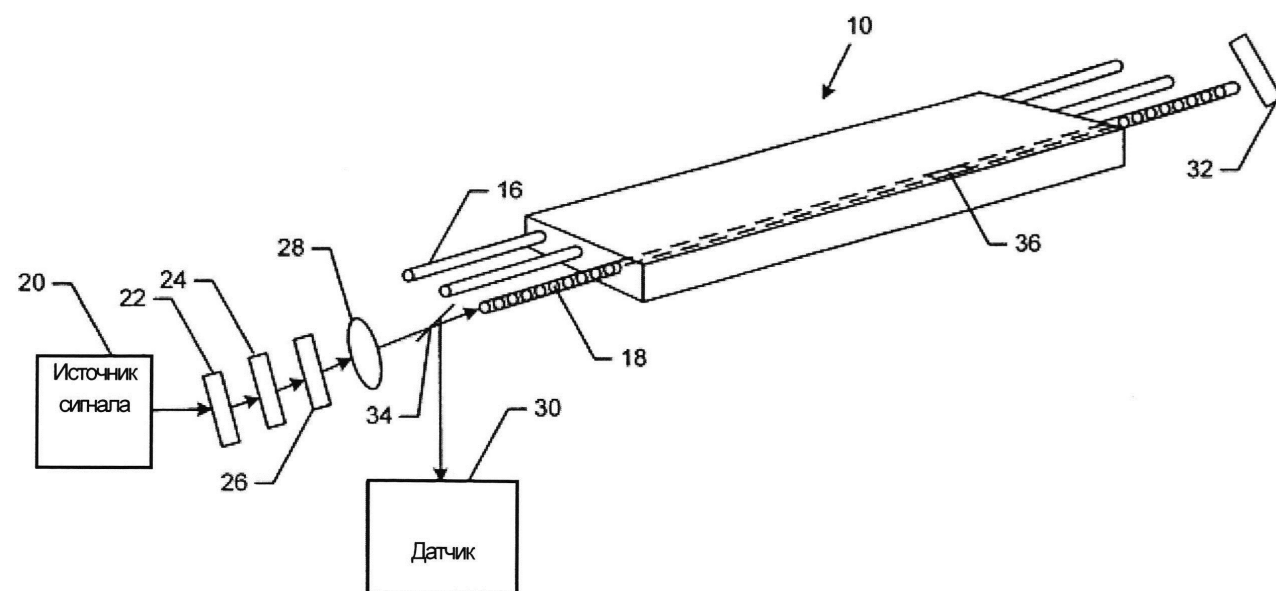
FIELD: measuring equipment.

SUBSTANCE: composite construction comprises a composite material and an optical fiber placed in this composite material. The optical fiber contains many quantum dots to enhance its nonlinear optical properties. The quantum dots may be located in the core, in the shell and/or on the surface of the optical fiber. The optical fiber is configured to transmit signals and is made sensitive to a defect in the composite material.

The quantum dots create a nonlinear effect, such as second order effect, in response to a defect in the composite material. On the basis of registration and analysis of signals having a nonlinear effect created by the quantum dots, a defect in the composite material may be detected.

EFFECT: possibility of detecting defects in a composite construction.

12 cl, 7 dwg



ФИГ. 3

ССЫЛКИ НА РОДСТВЕННЫЕ ЗАЯВКИ

Данная заявка представляет собой частичное продолжение патентной заявки США №13/215,969, поданной 23 августа 2011 года, которая полностью включена в настоящую заявку посредством ссылки.

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

Варианты реализации настоящего изобретения относятся, в целом, к композитным конструкциям и, в частности, к композитным конструкциям со встроенными измерительными системами для контроля состояния композитного материала.

Композитные конструкции представляют собой конструкции, которые содержат по меньшей мере два компонента часто с заданным порядком, которые используются в широком спектре применений. Например, в воздушных транспортных средствах, таких как самолеты, космические корабли или т.п., композитные конструкции могут применяться для того, чтобы использовать преимущества, связанные с повышенным отношением прочность - вес, обеспечиваемым композитными материалами. Другие области, в которых могут применяться композитные конструкции, включают другие типы транспортных средств, таких как автомобили, водные транспортные средства, велосипеды и т.п., а также большое множество других конструкций, таких как здания, мосты и т.д. Композитные конструкции могут также быть изготовлены и использованы с дополнительными функциональными возможностями, включающими измененные тепловые, электрические, акустические или механические свойства, путем надлежащей модификации использованных материалов, их структуры или способа, используемого для изготовления структуры.

Композитные конструкции могут быть изготовлены различными способами, направленными на обеспечение заданного порядка для множества элементов, диспергированных в смоле или другой преимущественно непрерывной среде, например полимере, стекле или цементе. Обычно композитная конструкция содержит множество структурных волокон, таких как стекловолокно или другие элементы, включающие углеродные волокна, металлизированные углеродные волокна, металлические или полимерные листы, углеродные или полимерные пленки, композитные листы с предварительной пропиткой, тканые листы из волокон, матрицы из беспорядочных или упорядоченных волокон, металлические или полимерные сетки, внедренные в матрицу из смолы. Матрица из смолы может представлять собой любое сочетание термопластических или термореактивных полимеров, клеящих веществ или других связывающих материалов, или цемент. После того как композитная конструкция уложена, например, путем размещения множества композитных слоев друг на друге или путем наложения множества композитных жгутов один рядом с другим таким образом, чтобы получить необходимую форму или сплетенных в двухмерную (2D) или трехмерную (3D) структуру, эта композитная конструкция может быть отверждена, расплавлена или соединена посредством одного или более этапов обработки.

Несмотря на то, что композитные конструкции обладают множеством преимуществ, они могут иногда иметь различные дефекты, такие как расслоение между композитными слоями, волнистость композитных слоев или изгибы, в которых происходит по меньшей мере частичное скручивание композитного жгута на верхней части, в результате чего образуются внутренние завитки в композитной конструкции. Несмотря на то, что некоторые из этих дефектов могут быть обнаружены в результате визуального осмотра композитной конструкции, множество дефектов может находиться во внутренней части композитной конструкции, поэтому они не могут быть обнаружены во время визуального осмотра композитной конструкции. В силу этого было разработано

множество технологий проверки, использующих, например, рентгеновские лучи, ультразвуковые сигналы или т.п. для детального исследования внутренней части композитной конструкции. Несмотря на то, что эти технологии проверки могут обнаруживать множество дефектов, таких как расслоение слоев, другие дефекты, которые могут быть вызваны дезориентацией или смещением структурных волокон в смоле композитной конструкции, обнаружить сложнее.

При этом множество структурных волокон или других элементов в композитной конструкции, в целом, располагается в предварительно заданном направлении, причем физические свойства композитной конструкции зависят по меньшей мере частично от направления структурных волокон или других элементов. В некоторых случаях, однако, структурные волокна или другие элементы в композитной конструкции могут принимать различную и непредполагаемую ориентацию или положение, что может приводить также к различию физических свойств композитной конструкции. Например, структурные волокна или другие содержащиеся элементы, которые проходят рядом с обогащенной смолой областью, могут мигрировать или совершать перемещение по направлению к обогащенной смолой области или в саму область, таким образом отклоняясь от их предполагаемой ориентации. Непредполагаемая ориентация или положение структурных волокон может быть результатом силы тяжести, гидростатического давления, химического или кипящего воздействия, или механического воздействия. Поскольку это отклонение в ориентации или положении структурных волокон, или других элементов может воздействовать на физические свойства композитной конструкции, то было бы желательным иметь возможность обнаруживать такие отклонения в ориентации или положении структурных волокон, или других элементов, а также обнаруживать другие дефекты в композитной конструкции надежным образом, так что при необходимости мог бы быть выполнен подходящий ремонт.

РАСКРЫТИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

В соответствии с одним вариантом реализации в настоящем описании раскрыта композитная конструкция со встроенной измерительной системой. При этом встроенная измерительная система может включать оптическое волокно, имеющее множество квантовых точек, которые усиливают нелинейные оптические свойства оптического волокна. В силу этого дефекты или любые текущие или прошлые изменения или состояния (здесь и далее - "дефектами") в композитной конструкции могут привести к созданию квантовыми точками нелинейного эффекта, который является легкоопределяемым, чем обеспечивается надежный индикатор наличия дефектов в композитной конструкции. В соответствии с вариантом реализации в настоящем описании раскрыты система и способ контроля состояния композитной конструкции. В данном контексте состояние композитной конструкции включает ее химическое состояние, например степень отверждения, ее механическое состояние, например поле деформаций, параметры ее окружения, например температуру или влагосодержание, наличие дефектов или пустот, например нарушения связей или смещение слоев, его тепловые или электрические свойства, или плотность ионов, любое из которых может оказывать влияние на способность конструкции выполнять свою задачу.

В одном варианте реализации раскрыта система для контроля состояния композитной конструкции, которая включает композитный материал, содержащий смолу и множество структурных элементов, внедренных в смолу, и оптическое волокно, размещенное в композитном материале и имеющее множество квантовых точек для усиления нелинейных оптических свойств оптического волокна. В одном из вариантов реализации, в котором оптическое волокно содержит сердечник и оболочку, окружающую этот

сердечник, сердечник может содержать множество квантовых точек для усиления сигналов, проходящих через сердечник, и/или увеличения чувствительности оптического волокна. Кроме того или в альтернативном варианте, оболочка оптического волокна может содержать множество квантовых точек для улучшения взаимодействия с
5 окружающей смолой посредством быстро затухающей волны волокна. Кроме того, множество квантовых точек может быть размещено на поверхности оптического волокна для обеспечения сильного взаимодействия с полем локальных деформаций, материалом и быстро затухающей волной. Система данного варианта реализации также содержит источник сигналов, выполненный с возможностью подачи сигналов на
10 оптическое волокно для прохождения вдоль него. Множество квантовых точек создают нелинейный эффект, такой как эффект второго порядка, например вторую гармонику, в ответ на дефект в композитном материале. Система данного варианта реализации также содержит датчик, выполненный с возможностью регистрации сигналов, имеющих нелинейный эффект после прохождения через оптическое волокно. Поскольку
15 нелинейный эффект может быть быстро идентифицирован, система данного варианта реализации может надежным образом обнаруживать дефекты в композитном материале для облегчения дальнейшей проверки или ремонта. Например, дефекты, такие как отклонения в пути волоконного жгута или композитном слое, могут быть обнаружены в некоторых вариантах реализации вместе с местоположением таких дефектов.

20 В одном варианте реализации датчик выполнен с возможностью регистрации сигналов после их отражения. Например, оптическое волокно может содержать решетку Брэгга или по меньшей мере одно частично отражающее зеркало для обеспечения отражения по меньшей мере некоторых сигналов. В другом варианте реализации, в котором оптическое волокно проходит между первым и вторым концами с источником сигнала,
25 расположенным рядом с первым концом оптического волокна, система может также содержать отражатель, расположенный на втором конце оптического волокна для отражения сигналов через это оптическое волокно от второго конца к первому концу. В данном варианте реализации датчик является чувствительным к сигналам, излученным первым концом оптического волокна после отражения этих сигналов через него.

30 В другом варианте реализации обеспечивается композитная конструкция, которая содержит встроенную измерительную систему. При этом композитная конструкция включает композитный материал, содержащий смолу и множество структурных элементов, внедренных в смолу. Композитная конструкция также содержит оптическое волокно, размещенное в композитном материале. Оптическое волокно содержит
35 множество квантовых точек для усиления нелинейных оптических свойств оптического волокна. В одном из вариантов реализации, в котором оптическое волокно содержит сердечник и оболочку, окружающую этот сердечник, сердечник может содержать множество квантовых точек для усиления сигналов, проходящих через сердечник, и/или для улучшения чувствительности оптического волокна. Кроме того или в
40 альтернативном варианте, оболочка оптического волокна может содержать множество квантовых точек для улучшения взаимодействия с окружающей смолой посредством быстро затухающей волны волокна. Кроме того, множество квантовых точек может быть размещено на поверхности оптического волокна для обеспечения более сильного взаимодействия с полем локальных деформаций, материалом и быстрозатухающей
45 волной. Оптическое волокно данного варианта реализации выполнено с возможностью передачи сигналов вдоль него и возможностью обеспечения чувствительности к дефектам в композитном материале. При этом множество квантовых точек создают нелинейный эффект, такой как эффект второго порядка, например вторую гармонику,

в ответ на дефект в композитном материале. В одном варианте реализации оптическое волокно может содержать решетку Брэгга или частично отражающее зеркало для отражения по меньшей мере части оптических сигналов.

В еще одном варианте реализации раскрыт способ контроля состояния композитной конструкции. Способ включает использование композитной конструкции, включающей композитный материал со смолой и множеством структурных элементов, внедренных в эту смолу, а также оптическое волокно, размещенное в композитном материале и имеющее множество квантовых точек для усиления нелинейных оптических свойств оптического волокна. В одном из вариантов реализации, в котором оптическое волокно содержит сердечник и оболочку, окружающую этот сердечник, сердечник может содержать множество квантовых точек для усиления сигналов, проходящих через сердечник, и/или для улучшения чувствительности оптического волокна. Кроме того или в альтернативном варианте, оболочка оптического волокна может содержать множество квантовых точек для улучшения взаимодействия с окружающей смолой посредством быстро затухающей волны волокна. Кроме того, множество квантовых точек может быть размещено на поверхности оптического волокна для обеспечения более сильного взаимодействия с полем локальных деформаций, материалом и быстро затухающей волной. Способ также включает подачу сигналов на оптическое волокно для прохождения вдоль него, например от первого конца оптического волокна к противоположному второму концу. Способ одного варианта реализации также включает создание нелинейного эффекта, такого как эффекта второго порядка, например второй гармоники, с множеством квантовых точек в ответ на дефект в композитном материале. Способ данного примера реализации также регистрирует сигналы, имеющие нелинейный эффект, после прохождения через оптическое волокно. Поскольку нелинейный эффект может быть легко идентифицирован, способ данного варианта реализации может надежным образом обнаруживать дефекты композитного материала для облегчения дальнейшей проверки или ремонта.

В одном варианте реализации, в котором источник сигналов расположен рядом с первым концом оптического волокна, способ может также включать отражение сигналов через оптическое волокно от второго конца к первому концу, от которого сигналы были первоначально посланы. В данном варианте реализации регистрация сигналов может включать регистрацию сигналов, излученных первым концом оптического волокна после отражения сигналов через него.

Также раскрыт способ контроля состояния композитной конструкции с внедренным в нее оптическим волокном, имеющим множество квантовых точек, метод, включающий подачу сигналов на оптическое волокно для прохождения вдоль него и регистрацию сигналов, которые выходят из оптического волокна.

Оптическое волокно может содержать сердечник и оболочку, окружающую этот сердечник, причем сердечник может содержать множество квантовых точек.

Оптическое волокно может содержать сердечник и оболочку, окружающую этот сердечник, причем оболочка может содержать множество квантовых точек.

Множество квантовых точек может быть размещено на поверхности оптического волокна.

Способ может дополнительно включать создание нелинейного эффекта с помощью множества квантовых точек в ответ на присутствие дефектов в композитном материале. Создание нелинейного эффекта может включать создание эффекта второго порядка в ответ на присутствие дефекта в композитном материале.

Также раскрыт способ контроля состояния композитной конструкции во время ее

изготовления, включающий внедрение оптического волокна в композитную конструкцию в неотвержденном состоянии, причем волокно содержит множество квантовых точек, подачу сигналов на оптическое волокно для прохождения вдоль него пока композитная конструкция не достигнет отвержденного состояния, и
5 регистрирование сигналов, которые выходят из оптического волокна, пока композитная конструкция не достигнет отвержденного состояния.

Оптическое волокно может содержать сердечник и оболочку, окружающую этот сердечник, причем сердечник содержит множество квантовых точек.

Оптическое волокно может содержать сердечник и оболочку, окружающую этот
10 сердечник, причем оболочка может содержать множество квантовых точек.

Множество квантовых точек может быть размещено на поверхности оптического волокна.

Способ может дополнительно включать создание нелинейного эффекта с помощью множества квантовых точек в ответ на наличие дефекта в композитном материале.

Создание нелинейного эффекта может включать создание эффекта второго порядка
15 в ответ на отклонение в композитном материале.

В соответствии с примерами реализации настоящего изобретения раскрыты системы, способы и композитные конструкции для идентификации надежным образом дефектов в композитном материале с обеспечением возможности выполнения дальнейшей
20 проверки или восстановления обоснованным и эффективным способом. Однако особенности, функции и преимущества, которые были описаны, могут быть достигнуты независимо друг от друга, и различные варианты реализации настоящего изобретения могут быть объединены в других вариантах реализации, дополнительные особенности которых могут быть видны на основании подробного описания и чертежей.

25 КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

Описав, таким образом, иллюстративные варианты реализации настоящего изобретения в общих терминах, теперь будет сделана ссылка на прилагаемые чертежи, которые не обязательно выполнены в масштабе.

На фиг. 1 показан вид в разрезе композитной конструкции в соответствии с одним
30 примером реализации настоящего изобретения, который показывает композитный материал и встроенную измерительную систему, включающую оптическое волокно, имеющее множество квантовых точек, которое размещено в композитном материале.

На фиг. 2 показан частичный перспективный вид оптического волокна в соответствии с одним вариантом реализации настоящего изобретения.

На фиг. 3 схематически показана система контроля состояния композитной
35 конструкции в соответствии с одним вариантом реализации настоящего изобретения.

На фиг. 4-6 показаны блок-схемы способов в соответствии с вариантами реализации настоящего изобретения.

На фиг. 7 показана блок-схема способа контроля состояния композитной конструкции
40 в соответствии с одним вариантом реализации настоящего изобретения.

ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Варианты реализации настоящего изобретения будут описаны далее более подробно со ссылкой на прилагаемые чертежи, на которых показаны некоторые, не все варианты реализации. В действительности, эти варианты реализации могут быть реализованы во
45 многих различных формах и не должны быть истолкованы в качестве ограниченных вариантами реализации, описанными в настоящей заявке; эти варианты реализации приведены для того, чтобы данное описание удовлетворяло соответствующим законодательным требованиям. Ссылочные номера ссылаются на идентичные элементы

по всему тексту описания.

Согласно фиг. 1 показана композитная конструкция 10 со встроенной измерительной системой в соответствии с одним вариантом реализации настоящего изобретения.

Композитная конструкция 10 может быть использована во множестве применений, включающих воздушные транспортные средства, такие как самолет, космический корабль или т.п., наземные транспортные средства, такие как автомобили, грузовики, фургон, велосипеды и т.п., водные транспортные средства, здания и другие конструкции. Согласно изображению на фиг. 1 композитная конструкция 10 содержит композитный материал с множеством структурных элементов 12, внедренных в матрицу из смолы 14. Композитный материал может содержать множество различных типов структурных элементов 12, включающих структурные волокна, такие как стекловолокно, углеродные волокна или т.п., и другие элементы, такие как листы графена, углеродная пленка, тканый препрег, прочный лист и металл или полимерная сетка. Кроме того, композитный материал может содержать множество различных типов смолы 14, включающих, например, эпоксидную смолу, полиэфирную смолу или т.п.

В показанном варианте реализации композитный материал содержит множество композитных слоев, каждый из которых имеет множество структурных элементов 12, внедренных в матрицу из смолы 14. Композитные слои могут быть наложены один на другой согласно фиг. 1. Однако композитный материал могут быть изготовлен другим образом, включая, например, множество композитных жгутов, которые уложены рядом друг с другом, или путем включения листов, пленок, ткани с предварительно пропиткой, металла или полимерной сетки или т.п. Во время изготовления композитного материала этот композитный материал наносят или формируют для получения необходимой формы, например путем наложения композитных слоев или композитных жгутов, или других элементов на сердечник или приспособление с необходимой формой. Во время формирования композитного материала, например, во время наложения или размещения множества композитных слоев, композитных жгутов или т.п., и перед отверждением композитного материала, по меньшей мере одно оптическое волокно 16, имеющее множество квантовых точек 18, размещают в композитном материале, например путем внедрения в композитный материал согласно фиг. 1. При этом оптическое волокно 16 размещают в композитном материале таким образом, что по меньшей мере один конец оптического волокна и, в частности, противоположные концы оптического волокна являются доступными, например, путем вытягивания к краю, такому как противоположные края композитного материала. Несмотря на то, что на фиг. 1 показано одно оптическое волокно 16, композитная конструкция 10 может содержать множество оптических волокон, которые могут в одном варианте реализации проходить параллельно друг другу через композитный материал.

Оптическое волокно 16 может быть расположено между композитными слоями, композитными жгутами или т.п. После размещения оптического волокна 16 в композитном материале, этот композитный материал может быть отвержден или обработан другим образом для отверждения смолы 14 таким образом, что композитный материал сохраняет форму, в которой были уложены композитные слои или композитные жгуты. Это отверждение или другое превращение в твердое состояние из композитного материала также предназначено для закрепления оптического волокна 16 в композитном материале таким образом, что оптическое волокно проходит через него.

Оптическое волокно 16, которое размещено в композитном материале, содержит множество квантовых точек 18. Несмотря на то, что множество квантовых точек 18

показано в оптическом волокне 16 на фиг. 1, квантовые точки показаны большими, чем обычно, для целей иллюстрации, а не примера. Оптическое волокно 16 одного варианта реализации получают введением квантовых точек 18 путем внедрения спектроскопически улучшающих особенностей в оптическое волокно или путем

5 выполнения микроскопических структурных изменений в оптическом волокне, которые приводят к усилению гиперполяризуемости оптического волокна. Согласно приведенному далее описанию, множество квантовых точек 18 усиливают нелинейные оптические свойства оптического волокна 16 по сравнению с сопоставимым оптическим волокном, которое не содержит квантовых точек.

10 В отношении внедрения спектроскопически улучшающих особенностей или выполнения микроскопических структурных изменений в оптическом волокне следует отметить, что спектроскопическое усиление в случае нелинейной оптики отличается от обычного линейного случая. В линейной спектроскопии свет легче поглощается материалом, если частота света совпадает с частотой возбуждения материала. После

15 того как свет поглощен, он может быть повторно излучен или термализован в материале в зависимости от других параметров материала.

В нелинейном случае нет необходимости в совпадении всех или части частот падающего света с частотами возбуждения материала для того, чтобы получить рассматриваемый эффект спектроскопического усиления. В одном случае, например,

20 могут существовать два входных сигнала, один из которых резонирует с параметром материала, а другой не резонирует с ним. На суммарной частоте этих двух входных сигналов будет иметь место усиление эффективности создания суммарной частоты, даже если какое-либо поглощение в материале по существу отсутствует. В другом случае ни один из двух входных сигналов может не совпадать с частотой возбуждения

25 материала, однако если разность частот совпадает с частотой возбуждения материала, то эффективность испускания света при частоте, равной разности частот входных сигналов, будет улучшена. В альтернативном варианте, случай создания второй гармоники может иметь входной сигнал, который не является резонансным, однако если частота второй гармоники совпадает с частотой возбуждения материала, то будет

30 улучшен процесс создания второй гармоники.

Будут иметь место естественные возбуждения материала, связанные с любым оптическим волокном или материалом с квантовыми точками. В силу этого входные частоты на оптическое волокно могут быть выбраны так, чтобы обеспечить резонанс нелинейных процессов с по меньшей мере одной частотой возбуждения материала.

35 Например, если существуют две различные входные частоты ν_1 и ν_2 , то входная частота ν_1 может являться резонансной или входная частота ν_2 может являться резонансной, или входная частота $\nu_1 + \nu_2$ может являться резонансной, или входная частота $\nu_1 - \nu_2$ может являться резонансной по меньшей мере с одним из параметров материала. Кроме того, несколько сочетаний могут одновременно являться резонансными. В случае

40 второй гармоники существует один частотный вход на частоте ν_1 с резонансной частотой ν_1 или резонансной частотой $2\nu_1$ ($\nu_1 + \nu_1$). В альтернативном варианте оптическое волокно с квантовыми точками может быть допировано материалами, которые обеспечивают резонанс материала. Материал, которым допировано оптическое волокно, может

45 представлять собой, без ограничения, атомные или молекулярные частицы, которые имеют известные спектральные свойства.

В альтернативном варианте микроскопические структурные изменения, не связанные с возбуждением материала, могут приводить к усилению нелинейных сигналов. При

этом волокно, которое физически деформировано, будет иметь деформированные локальные молекулярные связи. При этом установлено, что деформирование молекулярных связей увеличит их нелинейный ответ из-за большей гиперполяризуемости. Кроме того, физически деформированный материал будет иметь результирующую ориентацию на молекулярном уровне, которая будет также увеличивать результирующий эффект гиперполяризуемости. Сочетание этих двух эффектов приведет к большему нелинейному оптическому ответу, даже при отсутствии чисто спектроскопического усиления.

Оптическое волокно 16 может содержать квантовые точки 18 по меньшей мере в одном участке оптического волокна. Согласно Фиг. 2, например, оптическое волокно 16 одного варианта реализации может содержать сердечник 16a, окруженный оболочкой 16b с коэффициентом преломления, отличающимся от коэффициента преломления сердечника для того, чтобы в значительной степени ограничить сигнал, проходящий через сердечник в его пределах. В показанном варианте реализации квантовые точки 18 включены в сердечник 16a оптического волокна 16. В данном варианте реализации квантовые точки 18 в сердечнике 16a оптического волокна 16 могут выполнять функцию по усилению сигналов, проходящих через сердечник оптического волокна, и по улучшению чувствительности оптического волокна к дефектам в композитном материале. В альтернативном варианте реализации оптическое волокно 16 может содержать квантовые точки на границе между сердечником 16a и оболочкой 16b. В еще одном варианте реализации оптическое волокно 16 может содержать квантовые точки 18 в оболочке 16b с тем, чтобы, таким образом, обеспечить усиление взаимодействия сигналов, проходящих через оптическое волокно, с окружающим композитным материалом посредством быстросзатухающих волн волокна. В еще одном варианте реализации оптическое волокно 16 может содержать множество квантовых точек 18 на внешней поверхности 16c оптического волокна, такой как внешняя поверхность оболочки. В данном варианте реализации множество квантовых точек 18, расположенных на внешней поверхности оптического волокна, 16 может взаимодействовать более сильно с полем локальных деформаций в композитном материале посредством быстросзатухающих волн. Оптическое волокно 16 может содержать множество квантовых точек 18 только в одном из этих участков, то есть только в сердечнике 16a, оболочке 16b или на внешней поверхности 16c оптического волокна. В альтернативном варианте оптическое волокно 16 может содержать множество квантовых точек 18 в любых двух из этих участков, таких как любые два из сердечника 16a, оболочки 16b или внешней поверхности 16c оптического волокна, или в некоторых вариантах реализации может содержать множество квантовых точек во всех трех из этих участков, то есть в каждом из сердечника, оболочки и внешней поверхности оптического волокна.

В другом варианте реализации оптическое волокно 16 может представлять собой градиентное волокно, которое содержит квантовые точки 18, так что приведенная в настоящем описании ссылка на сердечник оптического волокна, содержащего квантовые точки, также включает вариант реализации, в котором градиентное волокно содержит квантовые точки. В еще одном варианте реализации оптическое волокно 16 может представлять собой оптический волновод с полым сердечником для поддержания передачи вдоль него инфракрасных (IR) или других сигналов. В данном варианте реализации оптическое волокно 16 может также содержать множество квантовых точек 18. Например, множество квантовых точек 18 может быть размещено на внутренней поверхности оптического волновода, который обволакивает и задает форму полого

сердечника. Несмотря на то, что выше описаны другие типы оптических волокон 16, вышеописанные примеры не являются ограничительными и могут быть применены другие типы оптических волокон, включающие оптические волокна с эллиптическим сердечником, оптические волокна с множеством отверстий, оптические волокна с
5 множеством сердечников и оптические волокна с огромным множеством их внутренних или поверхностных структур, которые могут воздействовать на среду из любых близких квантовых точек, размещенных в оптическом волокне или на нем.

Независимо от типа оптического волокна 16 и/или участка оптического волокна, который содержит квантовые точки 18, оптическое волокно может содержать квантовые
10 точки в относительно однородной форме вдоль его длины или может только содержать квантовые точки по меньшей мере в одном дискретном сегменте вдоль длины оптического волокна. При этом оптическое волокно 16 может быть более чувствительно к дефектам в композитном материале, расположенным вблизи сегмента оптического
15 волокна, который содержит квантовые точки 18 по сравнению с сегментом оптического волокна, который не содержит квантовые точки.

Согласно приведенному выше описанию и подробному изображению на Фиг. 3 по меньшей мере один конец оптического волокна 16 и, в частности, противоположные первый и второй концы оптического волокна являются доступными, например, путем
удлинения за пределы или по меньшей мере к краю композитного материала. Согласно
20 изображению на Фиг. 3, система в соответствии с одним примером реализации настоящего изобретения содержит не только композитную конструкцию 10, содержащую композитный материал и встроенное оптическое волокно 16, однако также содержит источник сигналов 20, такой как оптический источник, для подачи сигналов на
оптическое волокно для прохождения вдоль него. При этом источник сигналов 20
25 может быть выполнен с возможностью введения сигналов через первый конец оптического волокна 16 для прохождения по длине оптического волокна к его второму концу. Несмотря на то, что система может содержать различные типы источников сигналов 20 для введения различных типов сигналов для прохождения вдоль оптического
30 волокна, источник сигналов одного варианта реализации представляет собой лазер, такой как импульсный лазер, для подачи лазерных сигналов на оптическое волокно 16 с обеспечением прохождения через него. В другом варианте реализации, в котором оптическое волокно 16 представляет собой оптический волновод, источник 20 сигналов может представлять собой источник инфракрасных сигналов для подачи инфракрасных
35 сигналов к первому концу оптического волокна.

Источник сигналов 20 может подавать сигналы прямо на оптическое волокно 16, например, к первому концу оптического волокна. Согласно изображению на Фиг. 3, однако, сигналы, созданные источником сигналов, могут быть обработаны для их
передачи на оптическое волокно 16. Например, система может содержать устройство
40 22 выбора длины волны, такое как фильтр длины волны, для фильтрации сигналов, создаваемых источником сигналов 20, с обеспечением прохождения сигналов, имеющих только по меньшей мере одну предварительно заданную частоту или предварительно заданный диапазон частот, через устройство выбора длины волны для передачи на
оптическое волокно 16. Система может также содержать поляризационное устройство
24, такое как призма Глана-Тейлора, призма Глана-Томпсона, призма Волластона,
45 тонкопленочный поляризатор, в сочетании с волновыми пластинами, включающими тонкопленочные устройства или оптически активные материалы, такие как кварц, для ограничения сигналов, которые проходят за пределами поляризационного устройства к тем, кто имеет по меньшей мере одну предварительно заданную поляризацию. Кроме

того, система может содержать фильтр 26 интенсивности света, такой как нейтральный светофильтр, цветной светофильтр, устройства с переменным ослаблением, такие как клиновидные пары или парные призмы, или другие устройства с постоянным или переменным оптическим ослаблением, для ограничения энергии, переносимой сигналами, которые должны быть выданы на оптическое волокно 16 для обеспечения отсутствия повреждения оптического волокна сигналами с чрезмерно высокими энергетическими уровнями. Несмотря на то, что система показанного варианта реализации содержит устройство выбора длины волны 22, чувствительное к поляризации устройство 24 и фильтра интенсивности света 26, система может содержать только один элемент или любое сочетание из этих элементов в других вариантах реализации. Согласно изображению на Фиг. 3 система может также содержать оптическое устройство 28, такое как линзы, для фокусирования сигналов на первом конце оптического волокна 16, например, путем совмещения сигналов с числовой апертурой оптического волокна.

Согласно фиг. 3 система также содержит датчик 30, выполненный с возможностью приема сигналов, включая любые нелинейные эффекты, возникшие из сигналов после прохождения через оптическое волокно 16, например, после изготовления композитной конструкции 10 таким образом, чтобы обеспечить отверждение композитной конструкции или во время изготовления композитной конструкции для обеспечения поточного контроля. В одном примере реализации датчик 30 может быть расположен для приема сигналов, выходящих из второго конца оптического волокна 16, противоположащего первому концу, в который сигналы от источника сигналов 20 посланы в оптическое волокно. В показанном варианте реализации, однако, система выполнена таким образом, что сигналы отражены и возвращены к первому концу оптического волокна 16. В силу этого датчик 30 данного примера реализации может быть позиционирован для приема сигналов, а также нелинейных эффектов, созданных посредством сигналов после их выхода из первого конца оптического волокна 16. Путем создания системы таким образом, что датчик 30 принимает отраженные сигналы из первого конца оптического волокна 16, большая часть компонентов системы может быть расположена совместно, в результате чего обеспечивается потенциальное упрощение проектирования и установки компонентов.

Согласно изображению на Фиг. 3 разделитель 34 лучей может быть размещен, чтобы принимать отраженные сигналы и перенаправлять отраженные сигналы, которые выходят из первого конца оптического волокна 16, к датчику 30. Путем включения разделителя 34 лучей, датчик 30 может принимать сигналы, выходящие из первого конца оптического волокна 16, даже если датчик смещен или расположен не на одном уровне с оптическим волокном с обеспечением, таким образом, облегчения подачи сигналов от источника 20 сигналов в первый конец оптического волокна без задержки датчиком. Система может содержать различные типы датчиков, включающих полупроводниковый датчик, такой как фотодиод. Датчик может быть выполнен из материала, который выбирают на основании длины волны сигналов, которые должны быть обнаружены, поскольку, например, полупроводниковые фотодиоды обычно обнаруживают сигналы с предварительно заданным диапазоном длин волн, которые могут быть поглощены полупроводниковым материалом. В одном варианте реализации кремниевый фотодиод может быть использован для регистрации возвращающихся сигналов и соответствующих нелинейных эффектов. Для обеспечения повышенной чувствительности, например для облегчения регистрации нелинейных эффектов, которые могут быть меньше, чем отраженные сигналы, датчик может содержать лавинный фотодиод (APD).

Сигналы, проходящие вдоль оптического волокна 16, могут быть отражены различным образом. Например, система может содержать отражатель 32, такой как зеркало, для приема сигналов, достигающих второго конца оптического волокна 16, и для отражения сигналов таким образом, что сигналы и соответствующие нелинейные эффекты возвращены на оптическое волокно и проходят от второго конца к первому концу для приема и обнаружения датчиком 30. Кроме того или в альтернативном варианте, оптическое волокно 16 может содержать решетку 36 Брэгга или другие типы отражателей, таких как частично отражающие зеркала, например эталон Фабри-Перо по меньшей мере с одним зеркалом с частичным отражением, сформированным в оптическом волокне, таком как описанное в патенте США №5,682,237, для отражения по меньшей мере части сигналов и соответствующих нелинейных эффектов, которые проходят вдоль оптического волокна. В примере, в котором оптическое волокно 16 содержит зеркало с частичным отражением, квантовые точки 18 могут быть размещены на зеркале или в нем в одном примере реализации.

В соответствии с одним из вариантов реализации настоящего изобретения дефекты в композитном материале могут воздействовать на сигналы, проходящие вдоль оптического волокна 16, например, путем изменения величины и/или фазы сигналов. Например, дефекты в композитном материале, которые приводят к изгибу оптического волокна 16 или в других случаях, подвергают оптическое волокно напряжению или деформации, такой как вследствие смещения структурных элементов 14 в композитном материале, волнистости слоя, изгибов или т.п., могут привести к изменениям в сигналах, проходящих вдоль оптического волокна. Путем регистрации сигнала после прохождения через оптическое волокно 16 и путем идентификации любых изменений в сигнале могут быть идентифицированы дефекты в композитном материале. Например, дефекты, включающие отклонение в пути волоконного жгута или положении композитного слоя, могут быть идентифицированы на основании сигналов, возвращающихся от оптического волокна 16 в соответствии с одним вариантом реализации настоящего изобретения.

Некоторые дефекты в композитном материале могут не только изменять свойства оптических сигналов, проходящих вдоль оптического волокна 16, но могут также приводить к отражению сигналов или по меньшей мере некоторых сигналов. В силу этого датчик 30 данного варианта реализации может не просто регистрировать сигналы, которые возвращаются к первому концу оптического волокна 16, но может также определять время, за которое отраженные сигналы возвращаются к первому концу оптического волокна. Путем определения временной разницы между временем, когда сигналы были посланы в первый конец оптического волокна 16, и временем, когда отраженные сигналы вышли из первого конца оптического волокна, а также скорости, при которой сигналы проходят через оптическое волокно, датчик 30 и/или соответствующий временной рефлектометр (TDR) может определить относительное положение вдоль оптического волокна, в котором расположен дефект, указывая тем самым место дополнительной проверки композитного материала и/или восстановления композитного материала.

Согласно приведенному выше описанию, оптическое волокно 16 содержит множество квантовых точек 18. Множество квантовых точек 18 создает нелинейный эффект в ответ на дефект в композитном материале. Например, квантовые точки могут создавать множество нелинейных эффектов, включая эффект второго порядка, такой как создание второй гармоники. При этом эффекты второго порядка, такие как создание второй гармоники, которая создана множеством квантовых точек 18 одного варианта

реализации, могут быть сильно подвержены влиянию отсутствия центральной симметрии, вызванного наличием дефектов в композитном материале, например дефектами, вызванными изменениями в размещении и позиционировании структурных элементов

14. Кроме того или в альтернативном варианте, квантовые точки могут создавать эффект третьего порядка, такой как создание третьей гармоники. Квантовые точки имеют нелинейные оптические ответы, которые являются по существу нелинейными. Вследствие их маленьких физических размеров и того, что их коэффициент оптического преломления будет отличаться от окружающей среды, будет обеспечено усиление локального поля любого светового сигнала, который проходит в своей области.

10 Поскольку нелинейные эффекты зависят от интенсивности света, усиление локального поля, вызванное квантовыми точками, будет увеличивать размер любого нелинейного ответа. В дополнение к созданию третьей гармоники другие улучшенные эффекты могут включать параметрическое усиление, романовское рассеяние и четырехволновое взаимодействие. Обычно нелинейные эффекты второго порядка запрещены в

15 центросимметричной среде. Однако деформирование композитной конструкции, связанное с наличием квантовых точек, может нарушить симметрию материала, в результате чего возникают эффекты второго порядка, такие как создание второй гармоники, суммарной частоты и создание различных частот. Путем включения множества квантовых точек 18 в оптическое волокно 16 нелинейные эффекты, созданные

20 в ответ на дефект в композитном материале, такой как дефект, который приводит к непредвиденному сгибанию оптического волокна, могут выполнять функцию надежного и явного индикатора дефекта. Эти нелинейные эффекты могут также проходить через оптическое волокно 16 и могут быть зарегистрированы датчиком 30. В действительности, нелинейные эффекты, созданные множеством квантовых точек 18, могут иметь величину,

25 которая является достаточной для простой регистрации датчиком 30, и, таким образом, выполняют функцию надежного индикатора дефекта в композитном материале. Кроме того, датчик 30 может легко идентифицировать нелинейные эффекты, поскольку нелинейные эффекты меньше подвержены отрицательному воздействию шума, который может ухудшить определение и оценку первоначальных сигналов, в частности в случаях

30 с относительно низким соотношением сигнал - шум (SNR).

Различные способы могут быть обеспечены в соответствии с иллюстративными вариантами реализации настоящего изобретения. Согласно изображению в блоке 40 на Фиг. 4 оптическое волокно 16, имеющее множество квантовых точек 18, может быть внедрено в композитную конструкцию 10. Поскольку оптическое волокно 16 было

35 внедрено в композитную конструкцию 10, сигналы могут быть поданы на оптическое волокно для прохождения вдоль него. Смотрите блок 42. Затем могут быть зарегистрированы сигналы, выходящие из оптического волокна 16. Смотрите блок 44. Аналогичным образом Фиг. 5 описывает способ, согласно которому сигналы подаются на оптическое волокно 16, которое внедрено в композитную конструкцию 10, для

40 прохождения вдоль него. Смотрите блок 50. Оптическое волокно 16 содержит множество квантовых точек 18. Затем могут быть зарегистрированы сигналы, выходящие из оптического волокна 16. Смотрите блок 52. В дополнение к или вместо применения способа к композитным материалам, которые были отверждены, варианты реализации способа могут быть применены к композитной конструкции 10 в неотвержденном

45 состоянии. Согласно изображению в блоке 60 на Фиг. 6, например, оптическое волокно 16, имеющее множество квантовых точек 18, может быть внедрено в композитную конструкцию 10 в неотвержденном состоянии. Поскольку оптическое волокно 16 было внедрено в композитную конструкцию 10, сигналы могут быть поданы на оптическое

волокно для прохождения вдоль него до тех пор, пока композитная конструкция не достигает отвержденного состояния. Смотрите блок 62. Затем могут быть зарегистрированы сигналы, выходящие из оптического волокна 16 до того, как композитная конструкция 10 достигнет отвержденного состояния. Смотрите блок 64.

- 5 Для дополнительного пояснения может быть обеспечен способ контроля состояния композитной конструкции 10, как показано, например, на блок-схеме на Фиг. 7. Несмотря на то, что состояние композитной конструкции 10 может быть под контролем после его изготовления, например, в отвержденном состоянии, система и способ вариантов реализации настоящего изобретения могут контролировать состояние
- 10 композитной конструкции во время его изготовления перед отверждением или другим превращением в твердое состояние смолы с обеспечением, таким образом, поточного контроля. В действительности, система и способ одного варианта реализации могли бы контролировать композитную конструкцию, которая не затвердела или не перешла в твердое состояние для контроля ориентации слоев или волоконных жгутов. При этом
- 15 может быть обеспечена композитная конструкция 10, содержащая композитный материал и по меньшей мере одно оптическое волокно 16, размещенное в композитном материале, как показано на стадии 70 на Фиг. 7. Оптическое волокно 16 содержит множество квантовых точек 18 для улучшения нелинейных оптических свойств оптического волокна. Как показано на стадии 72, сигналы могут быть выданы на
- 20 оптическое волокно 16 для прохождения вдоль него, например, от первого конца, на который посланы сигналы к противоположному второму концу. В ответ на дефект в композитном материале, такой как дефект, который может приводить к стиганию оптических волокон непредвиденным образом или в других случаях приводить к непредвиденным величинам напряжения или деформации, распределенной на оптических
- 25 волокнах, нелинейный эффект может быть создан посредством множества квантовых точек 18, как показано на стадии 74. Могут быть созданы различные нелинейные эффекты, включая создание эффекта второго порядка, например создание второй гармоники, создание эффекта третьего порядка, такое как создание третьей гармоники или т.п. в ответ на дефект в композитном материале. Способ может также
- 30 регистрировать сигналы, имеющие нелинейный эффект после прохождения через оптическое волокно 16, как показано на стадии 76. Путем анализа сигналов, включающих нелинейный эффект, например посредством датчика 30 или компьютера, связанного и реагирующего на датчик, могут быть идентифицированы случаи, в которых композитный материал имеет дефект, который изменил сигналы, проходящие через
- 35 оптическое волокно 16, и создал нелинейные эффекты. Следует обратить внимание на стадию 78. В отношении дефектов, которые могут быть зарегистрированы, следует отметить, что в соответствии с одним вариантом реализации могут быть зарегистрированы отклонения в пути волоконного жгута и отклонения в положении или пути композитного слоя. Кроме того, положение дефекта может также быть
- 40 определено, например, на основании временного рефлектометра (TDR) в некоторых примерах реализации. На основании определения потенциального дефекта в композитном материале способ одного варианта реализации может обеспечить дальнейшее испытание и анализ потенциального дефекта и/или выполнения надлежащих восстановлений композитного материала с обеспечением восстановления дефекта.
- 45 При этом сигналы и соответствующие нелинейные эффекты, которые зарегистрированы, могут быть сравнены посредством, например, датчика 30 или соответствующего компьютера с сигналами и соответствующими нелинейными эффектами, которые в противном случае должны быть предположительно

зарегистрированы после прохождения сигнала через оптическое волокно 16 в случае, в котором композитный материал не содержит каких-либо дефектов. В том случае, в котором происходит отклонение сигналов и/или нелинейных эффектов, например, по меньшей мере на предварительно заданную величину или процентное отношение, способ может идентифицировать потенциальный дефект в композитном материале для обеспечения возможности более подробного анализа и/или восстановления композитного материала, или для информирования пользователя о необходимости изменения задачи.

Путем улучшения нелинейных свойств оптического волокна 16 посредством включения множества квантовых точек 18 соответствующим образом усилено воздействие дефекта в композитном материале на сигналы, проходящие через оптическое волокно. При этом нелинейные эффекты, созданные множеством квантовых точек 18 в ответ на дефект в композитном материале, являются достаточно воспроизводимыми и имеют величину, которая может быть надежным образом идентифицирована посредством датчика 30. Таким образом, система и способ одного варианта реализации могут способствовать нахождению дефекта в композитном материале для обеспечения возможности дополнительного анализа или проверки композитного материала, и/или для содействия более целенаправленному восстановлению композитного материала своевременным образом, или в других случаях в качестве ответа на новые данные. В действительности анализ нелинейных эффектов, созданных множеством квантовых точек 18 в ответ на дефект в композитном материале, может обеспечивать возможность определения дефектов надежным способом, который не ограничен относительно низким соотношением сигнал - шум, который в противном случае может ухудшить анализ, который просто основан на отраженных сигналах в оптическом волокне 16 и не учитывает соответствующие нелинейные эффекты.

Согласно приведенному выше описанию состояние композитного материала может контролироваться путем внедрения множества оптических волокон 16, таких как группа оптических волокон, которые содержат квантовые точки 18, в композитный материал. Сигналы и соответствующие нелинейные эффекты, которые зарегистрированы датчиком 30 после прохождения сигнала через группу оптических волокон, обеспечивают многомерные данные, такие как двухмерные (2D) или трехмерные (3D) данные, характеризующие состояние композитного материала путем обеспечения, например, характеристик отклонений в положении волоконного жгута или композитного слоя, и в некоторых вариантах реализации, использующих оптическую временную рефлектометрию, положение таких отклонений. В одном варианте реализации датчик 30 может быть выполнен с возможностью отображения визуального изображения многомерных данных, например, путем наложения визуального изображения многомерных данных на модель композитной конструкции 10, которую изготавливают таким образом, чтобы модель обеспечивала репер для многомерных данных, накапливаемых системой данного варианта реализации настоящего изобретения.

После ознакомления с приведенным выше описанием и соответствующими чертежами любые модификации и другие наборы вариантов реализации, описанные в настоящей заявке, будут очевидны специалисту в области техники, к которой эти варианты реализации имеют отношение. Таким образом, следует понимать, что возможные варианты реализации не должны быть ограничены раскрытыми конкретными вариантами реализации и что модификации и другие варианты реализации также входят в объем прилагаемой формулы изобретения. Кроме того, несмотря на то, что приведенные выше описания и соответствующие чертежи описывают иллюстративные

варианты реализации в контексте конкретных примеров сочетаний элементов и/или функций, следует понимать, что различные сочетания элементов и/или функций возможны альтернативными варианты реализации без выхода за рамки объема прилагаемой формулы изобретения. При этом, например, различные сочетания элементов и/или функций, отличных от тех, которые недвусмысленно описаны выше, также предполагаются и могут заявлены в некоторых из пунктов прилагаемой формулы изобретения. Несмотря на то, что в настоящей заявке применены конкретные термины, они использованы только в общем и описательном смысле, а не для целей ограничения.

(57) Формула изобретения

1. Система контроля композитной конструкции, содержащая:
 - оптическое волокно, расположенное в композитной конструкции;
 - источник сигнала, связанный с оптическим волокном и выполненный с возможностью подачи сигналов на оптическое волокно для прохождения вдоль него; и
 - датчик, связанный с оптическим волокном и выполненный с возможностью регистрации сигналов, выходящих из оптического волокна,
 причем оптическое волокно содержит множество квантовых точек, выполненных с возможностью создания нелинейного эффекта в ответ на дефект в композитной конструкции, и проходит между противоположащими первым и вторым концами, причем источник сигнала расположен вблизи первого конца оптического волокна, источник сигнала выполнен с возможностью обеспечения двух различных входных частот ν_1 и ν_2 , причем по меньшей мере одна из частот ν_1 , ν_2 , $\nu_1 + \nu_2$ или $\nu_1 - \nu_2$ является резонансной с одним или более параметрами материала оптического волокна, и
 - отражатель, расположенный на втором конце оптического волокна для отражения сигналов через указанное оптическое волокно от второго конца к первому концу, причем датчик выполнен чувствительным к сигналам, излученным первым концом оптического волокна после отражения указанных сигналов через него.
2. Система по п. 1, в которой оптическое волокно включает сердечник и оболочку, окружающую указанный сердечник, причем сердечник содержит указанное множество квантовых точек.
3. Система по п. 1, в которой оптическое волокно включает сердечник и оболочку, окружающую указанный сердечник, причем оболочка содержит указанное множество квантовых точек.
4. Система по п. 1, в которой указанное множество квантовых точек размещено на поверхности оптического волокна.
5. Система по п. 1, в которой указанное множество квантовых точек создает эффект второго порядка в ответ на наличие дефекта в композитном материале.
6. Система по п. 1, в которой оптическое волокно дополнительно включает по меньшей мере решетку Брэгга или эталон Фабри-Перо, включающий по меньшей мере одно зеркало с частичным отражением.
7. Способ контроля композитной конструкции, включающий:
 - внедрение оптического волокна, содержащего множество квантовых точек, в композитную конструкцию;
 - подачу сигналов от источника сигнала на оптическое волокно для прохождения вдоль него, причем подача сигналов включает подачу сигналов, имеющих две различные входные частоты ν_1 и ν_2 , причем по меньшей мере одна из частот ν_1 , ν_2 , $\nu_1 + \nu_2$ или $\nu_1 - \nu_2$ является резонансной с одним или более параметрами материала оптического волокна;
 - отражение сигналов отражателем таким образом, что обеспечено отражение сигналов

через указанное оптическое волокно от второго конца к первому концу;

регистрацию сигналов, выходящих из оптического волокна, причем этап регистрации включает регистрацию сигналов, излученных первым концом оптического волокна после отражения указанных сигналов через него;

5 идентификацию наличия нелинейного эффекта в зарегистрированном сигнале и идентификацию дефекта в композитной конструкции в ответ на идентификацию наличия нелинейного эффекта.

8. Способ по п. 7, согласно которому оптическое волокно включает сердечник и оболочку, окружающую указанный сердечник, причем сердечник содержит указанное
10 множество квантовых точек.

9. Способ по п. 7, согласно которому оптическое волокно содержит сердечник и оболочку, окружающую указанный сердечник, причем оболочка содержит указанное множество квантовых точек.

10. Способ по п. 7, согласно которому указанное множество квантовых точек
15 размещено на поверхности оптического волокна.

11. Способ по п. 7, дополнительно включающий создание нелинейного эффекта с помощью указанного множества квантовых точек в ответ на наличие дефекта в композитном материале.

12. Способ по п. 11, согласно которому создание нелинейного эффекта включает
20 создание эффекта второго порядка в ответ на наличие дефекта в композитном материале.

25

30

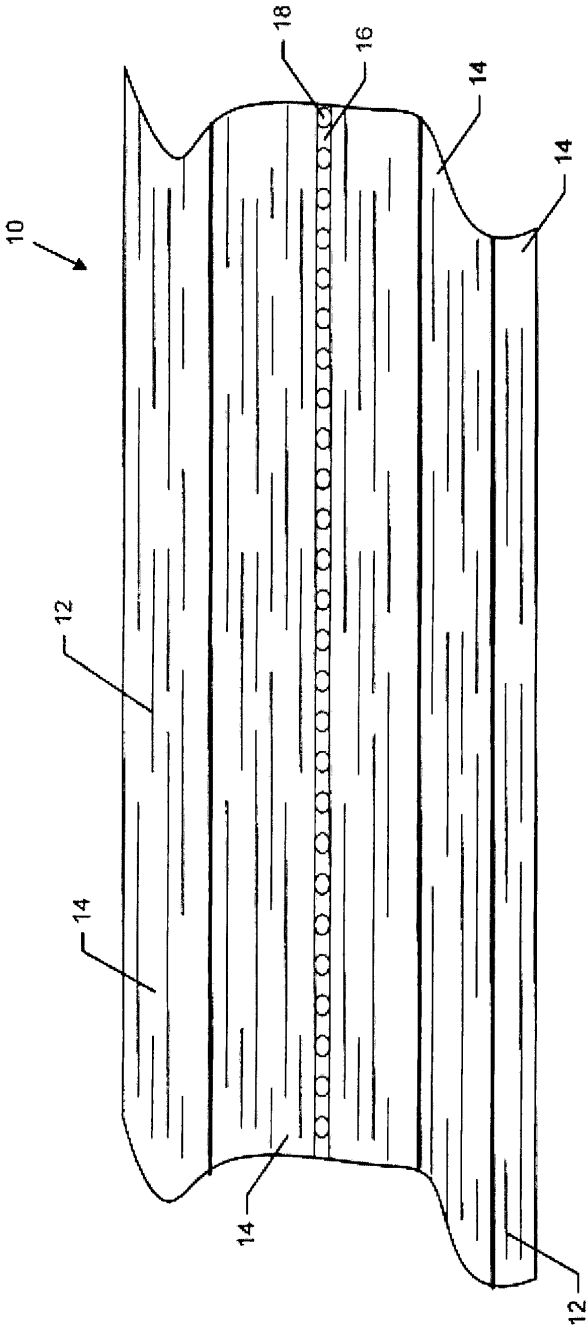
35

40

45

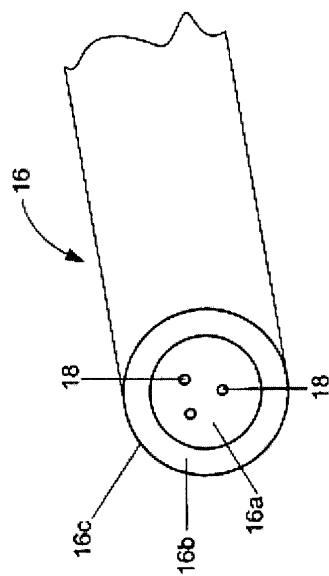
1

1/7

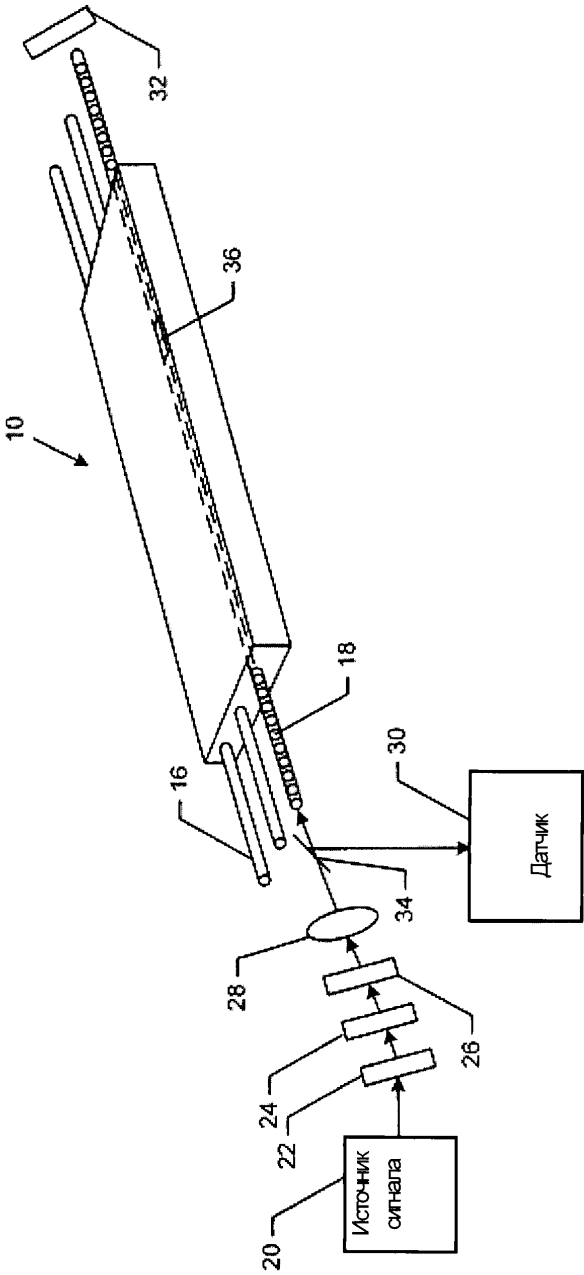


ФИГ. 1

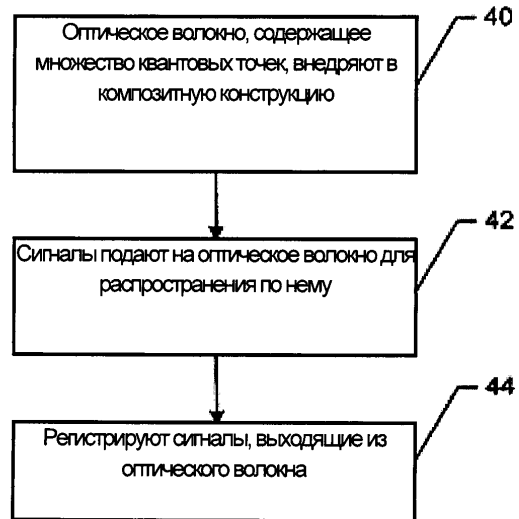
2



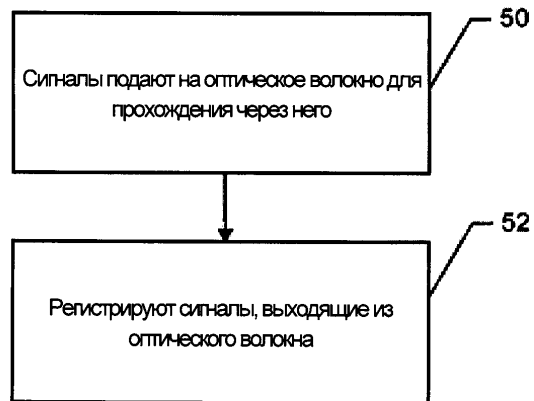
ФИГ. 2



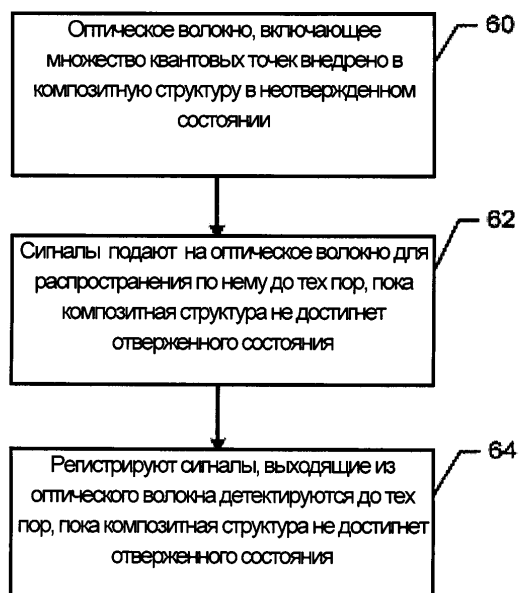
ФИГ. 3



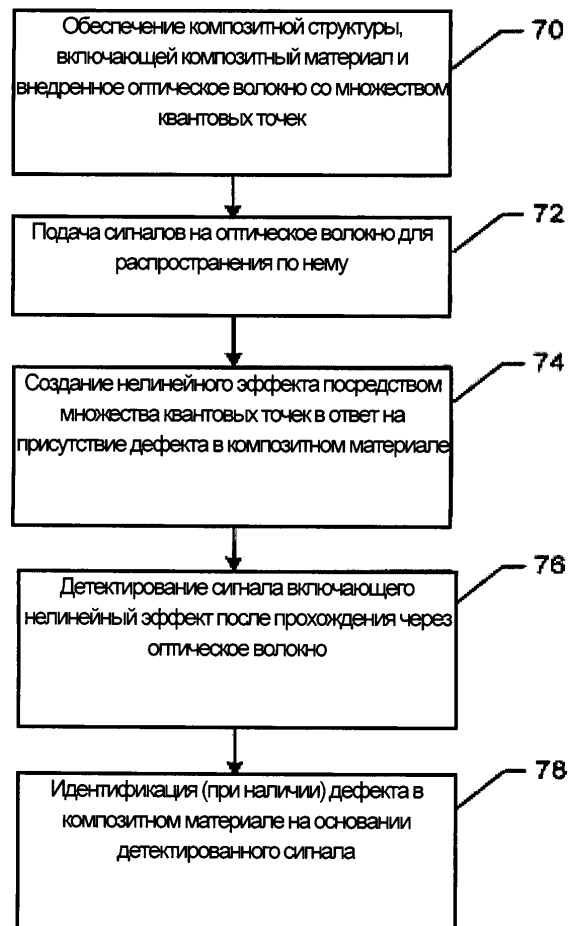
ФИГ. 4



ФИГ. 5



ФИГ. 6



ФИГ. 7