

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 706 533**

51 Int. Cl.:

G01M 11/08 (2006.01)

G01B 11/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.08.2012 E 12181606 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.10.2017 EP 2562529**

54 Título: **Estructura compuesta que tiene un sistema de detección integrado**

30 Prioridad:

23.08.2011 US 201113215969

31.07.2012 US 201213562832

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

29.03.2019

73 Titular/es:

**THE BOEING COMPANY (100.0%)
100 North Riverside Plaza
Chicago, IL 60606-1596, US**

72 Inventor/es:

**HUNT, JEFFREY H. y
BELK, JOHN H.**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 706 533 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Estructura compuesta que tiene un sistema de detección integrado

Campo tecnológico

5 Las realizaciones de la presente divulgación se relacionan en general con estructuras compuestas y, más particularmente, con estructuras compuestas que tienen sistemas de detección integrados para controlar la salud de un material compuesto.

Antecedentes

10 Las estructuras compuestas son estructuras que consisten en dos o más componentes a menudo con algún orden impartido que se utilizan en una amplia diversidad de aplicaciones. Por ejemplo, los vehículos aéreos, como aeronaves, naves espaciales o similares, pueden utilizar estructuras compuestas para aprovechar los beneficios atribuibles a la mayor relación entre la fuerza y el peso que ofrecen los materiales compuestos. Otras aplicaciones que pueden incluir estructuras compuestas que incluyen otros tipos de vehículos, tales como automóviles, vehículos marinos, bicicletas y similares, así como una amplia diversidad de otras estructuras, como edificios, puentes, etc. También se pueden producir estructuras compuestas y utilizarse con funcionalidades adicionales que incluyen propiedades térmicas, eléctricas, acústicas o mecánicas alteradas mediante la modificación adecuada de los materiales utilizados, la estructura en sí misma o el proceso utilizado para producir la estructura.

20 Las estructuras compuestas se pueden fabricar de diversas maneras diseñadas para impartir un orden predeterminado a una pluralidad de elementos dispersos dentro de una resina u otro medio mayormente continuo, por ejemplo, polímero, vidrio o cemento. Típicamente, una estructura compuesta incluye una pluralidad de fibras estructurales, tales como fibras de vidrio u otros elementos que incluyen fibras de carbono, fibras de carbono metalizadas, láminas de metal o polímero, velos de carbono o polímero, láminas de material compuesto preimpregnadas, láminas de fibras tejidas, capas de fibras aleatorias u organizadas, mallas de metal o polímero, incorporadas en una matriz de resina. La matriz de resina puede ser una de diversas combinaciones de polímeros termoplásticos o termoestables, adhesivos u otros materiales de unión, o cemento. Una vez que la estructura compuesta ha sido colocada, por ejemplo, colocando una pluralidad de capas compuestas una sobre otra o colocando una pluralidad de cables compuestos una al lado de la otra, de manera que tengan la forma deseada o se tejan en una forma bidimensional (2D) o tridimensional (3D) predeterminadas, la estructura compuesta se puede curar, fundir o unir en una o más etapas de procesamiento.

30 A la vez que las estructuras compuestas ofrecen una serie de ventajas, las estructuras compuestas pueden ocasionalmente tener diversas anomalías, como la delaminación entre capas compuestas, ondulaciones dentro de las capas compuestas o marcado en donde un cable compuesto se enrolla al menos parcialmente encima de sí mismo para crear un remolino interior dentro de la estructura compuesta. A la vez que algunas de estas anomalías pueden detectarse a partir de una inspección visual de la estructura compuesta, diversas de ellas pueden residir dentro del interior de la estructura compuesta para no ser detectadas durante una inspección visual de la estructura compuesta. Como tal, se han desarrollado una diversidad de técnicas de inspección que utilizan, por ejemplo, rayos X, señales ultrasónicas o similares para interrogar el interior de una estructura compuesta. A la vez que estas técnicas de inspección pueden detectar una serie de anomalías, como las delaminaciones de la capa, pueden crearse otras anomalías por la mala orientación o la mala colocación de las fibras estructurales dentro de la resina de una estructura compuesta que presentan un desafío mayor a partir del punto de vista de la detección.

40 En este sentido, la pluralidad de fibras u otros elementos estructurales dentro de una estructura compuesta en general se extiende en una dirección predefinida con las propiedades físicas de la estructura compuesta que dependen, al menos en parte, de la direccionalidad de las fibras u otros elementos estructurales. Sin embargo, en algunos casos, las fibras u otros elementos estructurales dentro de una estructura compuesta pueden asumir una orientación o posición diferente y no intencionada, lo que puede causar que las propiedades físicas de la estructura compuesta también sean diferentes. Por ejemplo, las fibras u otros elementos estructurales incluidos que se extienden cerca de un área rica en resina pueden migrar o moverse hacia o dentro del área rica en resina, desviándose así de su orientación prevista. La orientación o posición no intencionada de las fibras estructurales puede ser el resultado de la gravedad, la presión hidrostática, la acción química o de ebullición o la acción mecánica. Dado que esta desviación en la orientación o posición de las fibras u otros elementos estructurales puede afectar las propiedades físicas de la estructura compuesta, sería deseable detectar dichas desviaciones en la orientación o posición de las fibras u otros elementos estructurales, así como detectar otros defectos en la estructura compuesta de manera confiable, de modo que se puedan hacer las reparaciones adecuadas, si así se desea.

55 La solicitud de Patente Europea EP 1519181 describe un sistema de detección para un material compuesto estructural que incluye una fibra óptica. La solicitud de patente de los Estados Unidos US 2008/0085086 describe la aplicación de puntos cuánticos para proporcionar funciones de amplificación y detección de luz dentro de fibras ópticas que tienen orificios.

Breve resumen

Se proporciona una estructura compuesta que tiene un sistema de detección integrado de acuerdo con una realización de la presente divulgación. A este respecto, el sistema de detección integrado incluye fibra óptica que tiene una pluralidad de puntos cuánticos que mejoran las propiedades ópticas no lineales de la fibra óptica. Como tal, los defectos u otros cambios o estados actuales o pasados (en lo sucesivo, denominados como "defectos") dentro de la estructura compuesta pueden hacer que los puntos cuánticos creen un efecto no lineal que sea fácilmente perceptible, proporcionando así un indicador confiable de un defecto dentro de la estructura compuesta. Un sistema y un método para monitorizar la salud de una estructura compuesta también se proporcionan de acuerdo con las realizaciones de la presente divulgación. En este contexto, la salud de una estructura compuesta incluye su estado químico, por ejemplo, grado de curado, su estado mecánico, por ejemplo el campo de tensión, su entorno, por ejemplo, temperatura o contenido de humedad, presencia de defectos o porosidad, por ejemplo, dislocaciones o dislocaciones de capas, sus propiedades térmicas o eléctricas, o densidad de iones, cualquiera de los cuales puede influir en la capacidad de la estructura para completar su misión.

De acuerdo con un primer aspecto, se proporciona un sistema para monitorizar una estructura compuesta, comprendiendo el sistema: una estructura compuesta; una fibra óptica dentro de la estructura compuesta; una fuente de señal acoplada a la fibra óptica configurada para proporcionar señales a la fibra óptica para su propagación a lo largo del mismo; y un detector acoplado a la fibra óptica configurado para detectar señales que salen de la fibra óptica, en donde la fibra óptica incluye una pluralidad de puntos cuánticos configurados para crear un efecto no lineal, por ejemplo la producción de un armónico de segundo orden, en respuesta a un defecto en la estructura compuesta y se extiende entre los extremos opuestos primero y segundo, con la fuente de señal ubicada cerca del primer extremo de la fibra óptica, la fuente de señal está configurada para proporcionar dos frecuencias v_1 y v_2 de entrada distintas, en donde al menos uno de v_1 , v_2 , $v_1 + v_2$ o $v_1 - v_2$ es resonante con uno o más parámetros de material de la fibra óptica, y el sistema comprende además un reflector colocado en el segundo extremo de la fibra óptica para reflejar las señales a través de la fibra óptica a partir del segundo extremo hacia el primer extremo, y en donde el detector responde a las señales emitidas por el primer extremo de la fibra óptica después de la reflexión de las señales a través del mismo.

En una realización en la cual la fibra óptica incluye un núcleo y un revestimiento que rodean al núcleo, el núcleo puede incluir la pluralidad de puntos cuánticos para amplificar señales que se propagan a través del núcleo y/o mejorar la sensibilidad de la fibra óptica. Adicional o alternativamente, el revestimiento de la fibra óptica puede incluir la pluralidad de puntos cuánticos para mejorar la interacción con la resina circundante a través de una onda evanescente de la fibra. Además, la pluralidad de puntos cuánticos puede disponerse sobre una superficie de la fibra óptica para proporcionar una interacción más fuerte con el campo de tensión local, el material y la onda evanescente. Dado que el efecto no lineal puede identificarse fácilmente, el sistema de esta realización puede detectar defectos en el material compuesto de manera confiable para facilitar una inspección o reparación adicionales. Por ejemplo, defectos tales como desviaciones en la trayectoria de un cable de fibra o una capa compuesta pueden detectarse junto con, en algunas realizaciones, la ubicación de dichos defectos.

La fibra óptica puede incluir una rejilla de Bragg o uno o más espejos parcialmente reflectantes para causar la reflexión de al menos algunas de las señales.

De acuerdo con un segundo aspecto, se proporciona un método para monitorizar la salud de una estructura compuesta usando el sistema del primer aspecto, comprendiendo el método: proporcionar señales a partir de una fuente de señal a la fibra óptica para su propagación a lo largo de la misma; detectar señales que salen de la fibra óptica; en donde el método comprende además reflejar las señales en el reflector para reflejar las señales a través de la fibra óptica a partir del segundo extremo hacia el primer extremo, y en donde la etapa de detección comprende detectar señales emitidas por el primer extremo de la fibra óptica después de la reflexión de las señales que la atraviesan, y el método comprende además identificar la presencia de un efecto no lineal en la señal detectada e identificar un defecto en la estructura compuesta en respuesta a la identificación de la presencia del efecto no lineal.

En una realización en la cual la fibra óptica incluye un núcleo y un revestimiento que rodean al núcleo, el núcleo puede incluir la pluralidad de puntos cuánticos para amplificar las señales que se propagan a través del núcleo y/o mejorar la sensibilidad de la fibra óptica. Adicional o alternativamente, el revestimiento de la fibra óptica puede incluir la pluralidad de puntos cuánticos para mejorar la interacción con la resina circundante a través de una onda evanescente de la fibra. Además, la pluralidad de puntos cuánticos puede disponerse sobre una superficie de la fibra óptica para proporcionar una interacción más fuerte con el campo de tensión local, el material y la onda evanescente.

Breve descripción de los dibujos

Habiendo descrito así las formas de realización de ejemplo de la presente divulgación en términos generales, ahora se hará referencia a los dibujos adjuntos, los cuales no están necesariamente dibujados a escala, y en donde:

La Figura 1 es una representación en sección transversal de una estructura compuesta de acuerdo con una realización de la presente divulgación la cual ilustra un material compuesto y un sistema de detección integrado, que incluye una fibra óptica que tiene una pluralidad de puntos cuánticos que están dispuestos dentro del material compuesto;

La Figura 2 es una vista en perspectiva fragmentaria de una fibra óptica de acuerdo con una realización de la presente divulgación;

La Figura 3 es una representación esquemática de un sistema para monitorizar la salud de una estructura compuesta de acuerdo con una realización de la presente divulgación;

Las Figuras 4 a 6 son diagramas de flujo de métodos de acuerdo con realizaciones de la presente divulgación; y

5 La Figura 7 es un diagrama de flujo de un método para monitorizar la salud de una estructura compuesta de acuerdo con una realización de la presente divulgación.

Descripción detallada

10 Las realizaciones de la presente divulgación se describirán ahora más detalladamente a continuación con referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales se muestran algunas, pero no todas, las realizaciones. De hecho, estas realizaciones pueden realizarse de muchas formas diferentes y no deben interpretarse como limitadas a las realizaciones expuestas aquí; más bien, estas realizaciones se proporcionan para que esta divulgación satisfaga los requisitos legales aplicables. Los números similares se refieren a elementos similares en todo.

15 Con referencia ahora a la Figura 1, se ilustra una estructura 10 compuesta que tiene un sistema de detección integrado de acuerdo con una realización de la presente divulgación. La estructura 10 compuesta se puede utilizar en una diversidad de aplicaciones que incluyen vehículos aéreos, tales como aeronaves, vehículos espaciales o similares, vehículos terrestres, tales como automóviles, camiones, remolques, bicicletas, etc., vehículos marinos, edificios y otras estructuras. Como se muestra en la Figura 1, la estructura 10 compuesta incluye un material compuesto que tiene una pluralidad de elementos 12 estructurales integrados dentro de una matriz de resina 14. El material compuesto puede incluir una serie de diferentes tipos de elementos 12 estructurales que incluyen fibras estructurales tales como fibras de vidrio, fibras de carbono o similares y otros elementos tales como láminas de grafeno, un velo de carbono, un prepreg tejido, una lámina sólida y una malla de metal o polímero. Además, el material compuesto puede incluir diversos tipos diferentes de resina 14 que incluyen, por ejemplo, resina epoxi, resina de poliéster o similares.

20 En la realización que se ilustra, el material compuesto incluye una pluralidad de capas compuestas, cada una con la pluralidad de elementos 12 estructurales integrados dentro de la matriz de resina 14. Las capas compuestas se pueden colocar una sobre otra como se muestra en la Figura 1. Sin embargo, el material compuesto se puede fabricar de otras maneras, por ejemplo, una pluralidad de cables compuestos que se colocan uno al lado del otro o mediante la inclusión de láminas, velos, tela preimpregnada, malla de metal o polímero o similares. Durante la fabricación del material compuesto, el material compuesto se coloca o se forma de modo que tenga una forma deseada, tal como colocando las capas compuestas o cables compuestos u otros elementos sobre un mandril o herramienta que tenga la forma deseada. Durante la formación del material compuesto, tal como durante la colocación de la pluralidad de capas compuestas, cables compuestos o similares, y antes del curado del material compuesto, una o más fibras 16 ópticas que incluyen una pluralidad de puntos 18 cuánticos están dispuestas dentro del material compuesto, tal como embebidos dentro del material compuesto, como también se muestra en la Figura 1. A este respecto, la fibra 16 óptica está dispuesta dentro del material compuesto de tal manera que al menos un extremo de la fibra óptica y, más típicamente, ambos extremos opuestos de la fibra óptica son accesibles, tal como extendiéndose a un borde, tal como bordes opuestos, del material compuesto. Si bien se muestra una sola fibra 16 óptica en la Figura 1, la estructura 10 compuesta puede incluir una pluralidad de fibras ópticas las cuales, en una realización, pueden extenderse paralelas entre sí a través del material compuesto.

25 La fibra 16 óptica puede colocarse entre capas compuestas, cables compuestos, o similares. Una vez que la fibra 16 óptica ha sido dispuesta dentro del material compuesto, el material compuesto puede curarse o procesarse de otro modo para solidificar la resina 14 de tal manera que el material compuesto retenga la forma en que se colocaron las capas de material compuesto o los cables compuestos. Este curado u otra solidificación del material compuesto también sirve para asegurar la fibra 16 óptica dentro del material compuesto de manera que la fibra óptica se extienda a través del mismo.

30 La fibra 16 óptica que está dispuesta dentro del material compuesto incluye una pluralidad de puntos 18 cuánticos. A la vez que una pluralidad de puntos 18 cuánticos se muestran dentro de la fibra 16 óptica de la Figura 1, los puntos cuánticos se ilustran para ser más grandes que los típicos para propósitos de ilustración, pero no de ejemplo. La fibra 16 óptica de una realización se forma para incluir los puntos 18 cuánticos implantando características que mejoran espectroscópicamente dentro de la fibra óptica o induciendo cambios estructurales microscópicos dentro de la fibra óptica que causan mejoras en la hiperpolarizabilidad de la fibra óptica. Como se describe a continuación, la pluralidad de puntos 18 cuánticos mejora las propiedades ópticas no lineales de la fibra 16 óptica en relación con una fibra óptica comparable que no incluye puntos cuánticos.

35 En lo que respecta a la implantación de características de mejora espectroscópica o la inducción de cambios estructurales microscópicos dentro de la fibra óptica, se observa que la mejora espectroscópica en el caso de la óptica no lineal difiere algo del caso lineal tradicional. En la espectroscopia lineal, la luz será más fácilmente absorbida por un material cuando la frecuencia de la luz coincida con la asociada con una excitación del material. Una vez que esa luz es absorbida, puede ser reemitida o termalizada dentro del material, dependiendo del resto de los parámetros del material.

- En el caso no lineal, no es necesario que todas o alguna de las frecuencias de entrada de luz coincidan con las excitaciones del material para producir una mejora espectroscópica del efecto en cuestión. En un caso, por ejemplo, puede haber dos entradas, una de las cuales es resonante con un parámetro de material y la otra no resonante. En la frecuencia de suma de las dos entradas, habrá una mejora de la eficiencia de la producción de frecuencia de suma, aunque no haya absorción, de por sí, en el material. En otro caso, ninguna de las dos entradas puede coincidir con una excitación de material, pero si la diferencia de frecuencia coincide con una excitación de material, se mejorará la eficiencia de la producción de luz a la frecuencia de diferencia. Alternativamente, el caso de la segunda generación de armónicos puede tener una señal de entrada que no es resonante, pero si la segunda frecuencia de armónicos coincide con una excitación del material, se mejorará el proceso de la segunda generación de armónicos.
- Habrán excitaciones de materiales que ocurren naturalmente asociadas con cualquier fibra óptica o materiales de puntos cuánticos. Como tal, las frecuencias de entrada a la fibra óptica pueden seleccionarse para permitir que los procesos no lineales resuenen con una o más de las excitaciones del material. Por ejemplo, si hay dos frecuencias v_1 y v_2 de entrada distintas, entonces v_1 puede ser resonante, o v_2 puede ser resonante, o $v_1 + v_2$ puede ser resonante, o $v_1 - v_2$ puede ser resonante con uno o más de los parámetros materiales. Además, diversas de las combinaciones pueden ser resonantes simultáneamente. En el segundo caso armónico, hay una entrada de frecuencia única en v_1 ya sea con v_1 resonante o $2v_1$ ($v_1 + v_1$) resonante. Alternativamente, la fibra óptica con los puntos cuánticos se puede dopar con materiales que proporcionan una resonancia del material. El material con el que se dopa la fibra óptica podría ser, pero no se limita a, especies atómicas o moleculares que tienen características espectrales conocidas.
- Alternativamente, los cambios estructurales microscópicos que no involucran excitaciones del material pueden conducir a mejoras de señal no lineales. En este sentido, una fibra que está físicamente tensada tendrá enlaces moleculares locales tensos. En este sentido, se ha definido que los enlaces moleculares en tensión aumentarán su respuesta no lineal a través de una mayor hiperpolarizabilidad. Además, un material físicamente tensado tendrá una orientación neta introducida a nivel molecular que también aumentará el efecto acumulativo neto de la hiperpolarizabilidad. La combinación de estos dos efectos conducirá a una respuesta óptica no lineal más grande, incluso si no se dispone de mejoras espectroscópicas puras.
- La fibra 16 óptica puede incluir puntos 18 cuánticos en una o más regiones de la fibra óptica. Como se muestra en la Figura 2, por ejemplo, la fibra 16 óptica de una realización puede incluir un núcleo 16a rodeado por el revestimiento 16b que tiene un coeficiente de refracción diferente al del núcleo para limitar en gran medida las señales que se propagan a través del núcleo dentro del núcleo. En la realización que se ilustra, los puntos 18 cuánticos están incluidos dentro del núcleo 16a de la fibra 16 óptica. En esta realización, los puntos 18 cuánticos dentro del núcleo 16a de la fibra 16 óptica pueden servir para amplificar señales que se propagan a través del núcleo de la fibra óptica. y para mejorar la sensibilidad de la fibra óptica a los defectos dentro del material compuesto. En una realización alternativa, la fibra 16 óptica puede incluir puntos cuánticos en la interfaz entre el núcleo 16a y el revestimiento 16b. En aún otra realización, la fibra 16 óptica puede incluir los puntos 18 cuánticos dentro del revestimiento 16b, mejorando así la interacción de las señales que se propagan a través de la fibra óptica con el material compuesto circundante a través de ondas evanescentes de la fibra. En una realización adicional, la fibra 16 óptica puede incluir una pluralidad de puntos 18 cuánticos en la superficie 16c exterior de la fibra óptica, tal como la superficie exterior del revestimiento. En esta realización, la pluralidad de puntos 18 cuánticos dispuestos sobre la superficie exterior de la fibra 16 óptica puede interactuar más fuertemente con el campo de tensión local en el material compuesto a través de ondas evanescentes.
- La fibra 16 óptica puede incluir la pluralidad de puntos 18 cuánticos en solo una de estas regiones, es decir, solo uno del núcleo 16a, el revestimiento 16b o la superficie 16c exterior de la fibra óptica. Alternativamente, la fibra 16 óptica puede incluir la pluralidad de puntos 18 cuánticos en cualquiera de las dos regiones, como cualquiera de las dos del núcleo 16a, el revestimiento 16b o la superficie 16c exterior del no ejemplo. La fibra 16 óptica de una realización se forma para incluir los puntos 18 cuánticos implantando características que mejoran espectroscópicamente dentro de la fibra óptica o induciendo cambios estructurales microscópicos dentro de la fibra óptica que causan mejoras en la hiperpolarizabilidad de la fibra óptica. Como se describe a continuación, la pluralidad de puntos 18 cuánticos mejora las propiedades ópticas no lineales de la fibra 16 óptica en relación con una fibra óptica comparable que no incluye puntos cuánticos.
- En lo que respecta a la implantación de características que mejoran espectroscópicamente o la inducción de cambios estructurales microscópicos dentro de la fibra óptica, se observa que la mejora espectroscópica en el caso de la óptica no lineal diverge un poco del caso lineal tradicional. En la espectroscopia lineal, la luz será más fácilmente absorbida por un material cuando la frecuencia de la luz coincida con la asociada con una excitación del material. Una vez que esa luz es absorbida, puede ser reemitida o termalizada dentro del material, dependiendo del resto de los parámetros del material.
- En el caso no lineal, no es necesario que todas o alguna de las frecuencias de entrada de luz coincidan con las excitaciones del material para producir una mejora espectroscópica del efecto en cuestión. En un caso, por ejemplo, puede haber dos entradas, una de las cuales es resonante con un parámetro de material y la otra no resonante. En la frecuencia de suma de las dos entradas, habrá una mejora de la eficiencia de la producción de frecuencia de suma, aunque no haya absorción, de por sí, en el material. En otro caso, ninguna de las dos entradas puede coincidir con una excitación de material, pero si la diferencia de frecuencia coincide con una excitación de material, se mejorará la eficiencia de la producción de luz a la frecuencia de diferencia. Alternativamente, el caso de la segunda generación

de armónicos puede tener una señal de entrada que no es resonante, pero si la segunda frecuencia de armónicos coincide con una excitación del material, se mejorará el proceso de la segunda generación de armónicos.

Habrán excitaciones de materiales naturales asociadas con cualquier fibra óptica o materiales de puntos cuánticos. Como tal, las frecuencias de entrada a la fibra óptica se seleccionan para permitir que los procesos no lineales sean resonantes con una o más de las excitaciones del material. Hay dos frecuencias ν_1 y ν_2 de entrada distintas, entonces ν_1 puede ser resonante, o ν_2 puede ser resonante, o $\nu_1 + \nu_2$ puede ser resonante, o $\nu_1 - \nu_2$ puede ser resonante con uno o más de los parámetros del material. Además, diversas de las combinaciones pueden ser resonantes simultáneamente. La fibra óptica con los puntos cuánticos se puede dopar con materiales que proporcionan una resonancia del material. El material con el que se dopa la fibra óptica podría ser, pero no se limita a, especies atómicas o moleculares que tienen características espectrales conocidas.

Alternativamente, los cambios estructurales microscópicos que no involucran excitaciones del material pueden conducir a mejoras de la señal no lineales. En este sentido, una fibra que está físicamente tensada tendrá enlaces moleculares locales tensos. En este sentido, se ha definido que los enlaces moleculares en tensión aumentarán su respuesta no lineal a través de una mayor hiperpolarizabilidad. Además, un material físicamente tensado tendrá una orientación neta introducida a nivel molecular que también aumentará el efecto acumulativo neto de la hiperpolarizabilidad. La combinación de estos dos efectos conducirá a una respuesta óptica no lineal más grande, incluso si no se dispone de mejoras espectroscópicas puras.

La fibra 16 óptica incluye puntos 18 cuánticos en una o más regiones de la fibra óptica. Como se muestra en la Figura 2, por ejemplo, la fibra 16 óptica de una realización puede incluir un núcleo 16a rodeado por el revestimiento 16b que tiene un coeficiente de refracción diferente al del núcleo para limitar en gran medida las señales que se propagan a través del núcleo dentro del núcleo. En la realización que se ilustra, los puntos 18 cuánticos se incluyen dentro del núcleo 16a de la fibra 16 óptica. En esta realización, los puntos 18 cuánticos dentro del núcleo 16a de la fibra 16 óptica pueden servir para amplificar señales que se propagan a través del núcleo de la fibra óptica y para mejorar la sensibilidad de la fibra óptica a los defectos dentro del material compuesto. En una realización alternativa, la fibra 16 óptica puede incluir puntos cuánticos en la interfaz entre el núcleo 16a y el revestimiento 16b. En aún otra realización, la fibra 16 óptica puede incluir los puntos 18 cuánticos dentro del revestimiento 16b, mejorando así la interacción de las señales que se propagan a través de la fibra óptica con el material compuesto circundante a través de ondas evanescentes de la fibra. En una realización adicional, la fibra 16 óptica puede incluir una pluralidad de puntos 18 cuánticos en la superficie 16c exterior de la fibra óptica, tal como la superficie exterior del revestimiento. En esta realización, la pluralidad de puntos 18 cuánticos dispuestos sobre la superficie exterior de la fibra 16 óptica puede interactuar más fuertemente con el campo de tensión local en el material compuesto a través de ondas evanescentes. La fibra 16 óptica puede incluir la pluralidad de puntos 18 cuánticos en solo una de estas regiones, es decir, solo uno del núcleo 16a, el revestimiento 16b o la superficie 16c exterior de la fibra óptica. Alternativamente, la fibra 16 óptica puede incluir la pluralidad de los puntos 18 cuánticos en cualquiera de estas dos regiones, tales como cualquiera de los dos núcleos 16a, el revestimiento 16b o la superficie 16c exterior de la fibra óptica o, en algunas realizaciones, puede incluir la pluralidad de puntos cuánticos en las tres regiones, es decir, en cada uno de los núcleos, el revestimiento y la superficie exterior de la fibra óptica.

En otra realización, la fibra 16 óptica puede ser una fibra de índice de gradiente que incluye puntos 18 cuánticos, de modo que la referencia aquí al núcleo de una fibra óptica que incluye puntos cuánticos también pretende abarcar la realización en donde una fibra de índice de gradiente incluye puntos cuánticos. En aún otra realización, la fibra 16 óptica puede ser un tubo de luz que tiene un núcleo hueco para soportar la propagación de infrarrojos (IR) u otras señales a lo largo del mismo. En esta realización, la fibra 16 óptica también incluye una pluralidad de puntos 18 cuánticos. Por ejemplo, la pluralidad de puntos 18 cuánticos puede estar dispuesta sobre una superficie interior del tubo de luz orientada y que define el núcleo hueco. Aunque diversos tipos de fibras 16 ópticas se han descrito anteriormente, los ejemplos anteriores no pretenden ser totalmente inclusivos y se pueden emplear otros tipos de fibras ópticas que incluyen fibras ópticas de núcleo elíptico, fibras ópticas de múltiples orificios, fibras ópticas de múltiples núcleos y fibras ópticas que tienen una gran cantidad de otras estructuras internas o de superficie que pueden afectar el entorno de cualquier punto cuántico cercano dispuesto dentro o sobre la fibra óptica.

Independiente del tipo de fibra 16 óptica y/o de la región o regiones de la fibra óptica que incluyen los puntos 18 cuánticos, la fibra óptica puede incluir puntos cuánticos de una manera relativamente uniforme a lo largo de su longitud o puede que solo incluya puntos cuánticos en uno o más segmentos discretos a lo largo de la longitud de la fibra óptica. A este respecto, la fibra 16 óptica puede ser más sensible a los defectos en el material compuesto que están próximos a un segmento de la fibra óptica que incluye puntos 18 cuánticos con respecto a un segmento de la fibra óptica que no incluye puntos cuánticos.

Como se indicó anteriormente y como se muestra con más detalle en la Figura 3, al menos un extremo de la fibra 16 óptica y, más típicamente, ambos extremos opuestos primero y segundo de la fibra óptica son accesibles, por ejemplo, extendiéndose más allá de o al menos a un borde de un material compuesto. Como se muestra en la Figura 3, un sistema de acuerdo con la presente divulgación no solo incluye la estructura 10 compuesta que incluye el material compuesto y la fibra 16 óptica integrada, sino que también incluye una fuente 20 de señal, tal como una fuente óptica, para proporcionar señales a la fibra óptica para su propagación a lo largo. A este respecto, la fuente 20 de señal está configurada para introducir señales a través del primer extremo de la fibra 16 óptica para su propagación a lo largo de

la longitud de la fibra óptica hacia el segundo extremo de la fibra óptica. Aunque el sistema puede incluir diversos tipos de fuentes 20 de señal para introducir diversos tipos de señales para propagación a lo largo de la fibra óptica, la fuente de señal de una realización es un láser, tal como un láser pulsado, para proporcionar señales de láser a la fibra 16 óptica para propagación a través de la misma. En otra realización en donde la fibra 16 óptica es un tubo de luz, la fuente 20 de señal puede ser una fuente de señal de IR para proporcionar señales de IR al primer extremo de la fibra óptica.

La fuente 20 de señal puede proporcionar las señales directamente a la fibra 16 óptica, tal como al primer extremo de la fibra óptica. Sin embargo, como se muestra en la Figura 3, las señales generadas por la fuente de señal pueden estar condicionadas antes de ser enviadas a la fibra 16 óptica. Por ejemplo, el sistema puede incluir un dispositivo 22 de selección de longitud de onda, tal como un filtro de longitud de onda, para filtrar señales generadas por la fuente 20 de señal para asegurar que las señales que tienen solo una o más frecuencias predefinidas o un rango predefinido de frecuencia pasan a través del dispositivo de selección de longitud de onda para su entrega a la fibra 16 óptica. El sistema también puede incluir un dispositivo 24 de polarización, como un prisma Glan Taylor, un prisma Glan Thompson, un prisma Wollaston, un polarizador de película delgada, en combinación con placas de onda, que incluyen dispositivos de película delgada o materiales ópticamente activos, como el cuarzo, para limitar las señales que se propagan más allá del dispositivo de polarización a las que tienen una o más polarizaciones predefinidas. Además, el sistema puede incluir un filtro 26 de intensidad, tal como un filtro de densidad neutra, un filtro de color, dispositivos de atenuación variable como pares de cuña o prismas emparejados, u otros dispositivos de atenuación óptica fijos o variables, para limitar la energía transportada por las señales que deben proporcionarse a la fibra 16 óptica para garantizar que la fibra óptica no se dañe por señales que tengan niveles de energía excesivamente altos. Aunque el sistema de la realización ilustrada incluye cada uno del dispositivo 22 de selección de longitud de onda, el dispositivo 24 sensible a la polarización y el filtro 26 de intensidad, el sistema puede incluir uno cualquiera o cualquier combinación de estos elementos en otras realizaciones. Como se muestra en la Figura 3, el sistema también puede incluir un dispositivo 28 óptico, tal como una lente, para enfocar las señales en el primer extremo de la fibra 16 óptica, tal como haciendo coincidir las señales con la apertura numérica de la fibra óptica.

Como también se muestra en la Figura 3, el sistema también incluye un detector 30 configurado para recibir las señales que incluye cualquier efecto no lineal generado a partir de las señales que siguen a la propagación a través de la fibra 16 óptica, como la siguiente fabricación de la estructura 10 compuesta tal que la estructura compuesta curada o durante la fabricación de la estructura compuesta para proporcionar monitorización en el proceso. El sistema está configurado de tal manera que las señales se reflejan y devuelven al primer extremo de la fibra 16 óptica. Como tal, el detector 30 está posicionado para recibir las señales, así como los efectos no lineales creados por las señales a su salida a partir del primer extremo de la fibra 16 óptica. Al construir el sistema de manera que el detector 30 reciba señales reflejadas a partir del primer extremo de la fibra 16 óptica, la mayoría de los componentes del sistema pueden ubicarse conjuntamente, simplificando así potencialmente el diseño y la instalación de los componentes.

Como se muestra en la Figura 3, un divisor 34 de haz puede posicionarse para recibir las señales reflejadas y para redirigir las señales reflejadas que salen del primer extremo de la fibra 16 óptica hacia el detector 30. Al incluir el divisor 34 de haz, el detector 30 puede recibir las señales que salen del primer extremo de la fibra 16 óptica aunque el detector esté desplazado o fuera de la alineación lineal con la fibra óptica, facilitando así la introducción de las señales de la fuente 20 de señal en el primer extremo de la fibra óptica sin ser obstruida por el detector. El sistema puede incluir diversos tipos de detectores que incluyen un detector de estado sólido, como un fotodiodo. El detector puede estar formado por un material que se selecciona y se basa en la longitud de onda de las señales a detectar, ya que, por ejemplo, los fotodiodos semiconductivos en general detectan señales que tienen un rango predefinido de longitudes de onda que pueden ser absorbidas por el material semiconductor. En una realización, puede utilizarse un fotodiodo de silicio para detectar las señales de retorno y los efectos no lineales asociados. Para proporcionar una mayor sensibilidad, como para facilitar la detección de los efectos no lineales que pueden ser más pequeños que las señales reflejadas, el detector puede incluir un fotodiodo de avalancha (APD).

Las señales que se propagan a lo largo de la fibra 16 óptica pueden reflejarse de diversas maneras. El sistema incluye un reflector 32, como un espejo, para recibir las señales que llegan al segundo extremo de la fibra 16 óptica y para reflejar las señales de manera que las señales y los efectos no lineales asociados regresen a la fibra óptica y se propaguen a partir del segundo extremo hacia el primer extremo para la recepción y detección por parte del detector 30. Adicional, o alternativamente, la fibra 16 óptica puede incluir una rejilla 36 de Bragg u otros tipos de reflectores como espejos parcialmente reflectantes, por ejemplo, un etalon de Fabry-Perot que tiene uno o más espejos parcialmente reflectantes, formados dentro de la fibra óptica, como se describe en la patente de los Estados Unidos No. 5,682,237, para reflejar al menos una parte de las señales y los efectos no lineales asociados que pueden detectarse. Ver el bloque 52. Además de o en lugar de emplear el método junto con materiales compuestos que se han curado, se pueden emplear realizaciones del método junto con una estructura 10 compuesta en un estado sin curar. Como se muestra en el bloque 60 de la Figura 6, por ejemplo, una fibra 16 óptica que incluye una pluralidad de puntos 18 cuánticos puede integrarse dentro de una estructura 10 compuesta en un estado no curado. Una vez que la fibra 16 óptica se ha integrado en la estructura 10 compuesta, se pueden proporcionar señales a la fibra óptica para su propagación a lo largo de la misma hasta que la estructura compuesta alcance un estado curado. Ver el bloque 62. Las señales que salen de la fibra 16 óptica pueden detectarse hasta que la estructura 10 compuesta alcance el estado curado. Ver el bloque 64.

A modo de explicación adicional, se puede proporcionar un método para controlar la salud de una estructura 10 compuesta como se muestra, por ejemplo, en el diagrama de flujo de la Figura 7. A la vez que la salud de la estructura 10 compuesta se puede monitorizar siguiendo su fabricación, tal como en un estado de curado, el sistema y el método de realización de la presente divulgación pueden monitorizar la salud de la estructura compuesta durante su fabricación antes del curado u otra solidificación de la resina, proporcionando así una monitorización en el proceso. De hecho, el sistema y el método de una realización podrían monitorizar una estructura compuesta que no se curó ni solidificó para monitorizar la orientación de las capas o los cables de fibra. A este respecto, puede proporcionarse la estructura 10 compuesta que incluye un material compuesto y una o más fibras 16 ópticas dispuestas dentro del material compuesto, como se muestra en la operación 70 de la Figura 7. La fibra 16 óptica incluye una pluralidad de puntos 18 cuánticos para mejorar las propiedades ópticas no lineales de la fibra óptica. Como se muestra en la operación 72, se pueden proporcionar señales a la fibra 16 óptica para su propagación a lo largo de la misma, tal como a partir de un primer extremo en donde las señales se introducen hacia un segundo extremo opuesto. En respuesta a un defecto en el material compuesto, como un defecto que puede hacer que las fibras ópticas se doblen de una manera no anticipada o que de otra manera resulte en cantidades imprevistas de esfuerzo o tensión que se colocan sobre las fibras ópticas, puede crearse un efecto no lineal por la pluralidad de puntos 18 cuánticos como se muestra en la operación 74. Se pueden crear diversos efectos no lineales, que incluye la creación de un efecto de segundo orden, como la generación de un segundo armónico, la creación de un efecto de tercer orden, como como una generación de un armónico de tercer orden, o similar, en respuesta al defecto en el material compuesto. El método también puede detectar señales, que incluye el efecto no lineal que sigue a la propagación a través de la fibra 16 óptica, como se muestra en la operación 76. Al analizar las señales que incluyen el efecto no lineal, como por ejemplo mediante el detector 30 o un ordenador asociado con y en respuesta al detector, se pueden identificar los casos en los cuales el material compuesto tiene un defecto que ha alterado las señales que se propagan a través de la fibra 16 óptica y ha creado efectos no lineales. Ver la operación 78. Con respecto a los defectos que pueden detectarse, las desviaciones en la trayectoria de un cable de fibra y las desviaciones en la posición o trayectoria de una capa compuesta pueden detectarse de acuerdo con una realización de la presente divulgación. Además, la ubicación del defecto también se puede determinar, como en base a TDR, en algunas realizaciones. Con base en la detección de un defecto potencial dentro del material compuesto, el método de una realización puede proporcionar pruebas y análisis adicionales del defecto potencial y/o para hacer las reparaciones apropiadas del material compuesto para reparar el defecto.

En este sentido, las señales y los efectos no lineales asociados que se detectan pueden compararse, como por el detector 30 o un ordenador asociado, con las señales y los efectos no lineales asociados que de otro modo se esperan detectar después de la propagación de la señal a través de la fibra 16 óptica en un caso en donde el material compuesto no incluye ningún defecto. En un caso en el cual las señales y/o los efectos no lineales se desvían, por ejemplo al menos en una cantidad o porcentaje predeterminados, el método puede identificar un defecto potencial dentro del material compuesto para permitir un análisis más detallado y/o reparar el material compuesto o informar al usuario de la necesidad de alterar la misión.

Al mejorar las propiedades no lineales de la fibra 16 óptica mediante la inclusión de una pluralidad de puntos 18 cuánticos, se mejora el impacto de un defecto dentro del material compuesto sobre las señales que se propagan a través de la fibra óptica. A este respecto, los efectos no lineales creados por la pluralidad de puntos 18 cuánticos en respuesta a un defecto dentro del material compuesto son suficientemente repetibles y de una magnitud que puede ser identificada de manera confiable por un detector 30. De este modo, el sistema y el método de una realización puede facilitar la detección de un defecto dentro de un material compuesto para permitir que el material compuesto sea analizado o inspeccionado adicionalmente y/o promover una reparación más enfocada del material compuesto de manera oportuna o responder de otra manera al nuevo conocimiento. De hecho, el análisis de los efectos no lineales creados por la pluralidad de puntos 18 cuánticos en respuesta a un defecto en el material compuesto puede permitir que los defectos se identifiquen de una manera confiable que no esté limitada por la relación relativamente baja de señal a ruido que de otra manera podría perjudicar un análisis que simplemente se basa en las señales reflejadas dentro de la fibra 16 óptica sin tener en cuenta los efectos no lineales asociados.

Como se indicó anteriormente, la salud de un material compuesto se puede monitorizar integrando una pluralidad de fibras 16 ópticas, como un conjunto de fibras ópticas, que incluyen puntos 18 cuánticos dentro del material compuesto. Las señales y los efectos no lineales asociados que son detectados por el detector 30 después de la propagación de la señal a través del conjunto de fibras ópticas pueden proporcionar datos multidimensionales, tales como datos bidimensionales (2D) o tridimensionales (3D) indicativos de la salud del material compuesto al proporcionar, por ejemplo, una indicación de desviaciones en la ubicación de un cable de fibra o una capa compuesta y, en algunas realizaciones que utilizan reflectometría óptica en el dominio del tiempo, la ubicación de dichas desviaciones. En una realización, el detector 30 puede configurarse para mostrar una representación visual de estos datos multidimensionales, tal como superponiendo una representación visual de los datos multidimensionales en un patrón de la estructura 10 compuesta que se está fabricando de tal manera que el patrón puede proporcionar una referencia para los datos multidimensionales recopilados por el sistema de esta realización de la presente divulgación.

Diversas modificaciones y otras realizaciones expuestas aquí se le ocurrirán a un experto en la técnica a la cual pertenecen estas realizaciones que tienen el beneficio de las enseñanzas presentadas en las descripciones anteriores y los dibujos asociados. Por lo tanto, debe entenderse que las realizaciones no deben limitarse a las específicas descritas y que las modificaciones y otras realizaciones deben incluirse dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas. Además, aunque las descripciones anteriores y los dibujos asociados describen realizaciones de ejemplo en

- 5 el contexto de ciertas combinaciones de elementos y/o funciones, debe apreciarse que pueden proporcionarse diferentes combinaciones de elementos y/o funciones por realizaciones alternativas sin apartarse del alcance de las reivindicaciones adjuntas. A este respecto, por ejemplo, también se contemplan combinaciones diferentes de elementos y/o funciones distintas de las descritas explícitamente anteriormente, como se puede exponer en algunas de las reivindicaciones adjuntas. Aunque los términos específicos se emplean aquí, se usan solo en un sentido genérico y descriptivo y no con fines limitativos.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema para monitorizar una estructura (10) compuesta, comprendiendo el sistema:
una estructura (10) compuesta;
una fibra (16) óptica dentro de la estructura (10) compuesta;
- 5 una fuente de señal (20) acoplada a la fibra (16) óptica configurada para proporcionar señales a la fibra (16) óptica para su propagación a lo largo de la misma; y
un detector (30) acoplado a la fibra (16) óptica configurado para detectar señales que salen de la fibra (16) óptica, caracterizado porque
- 10 la fibra (16) óptica incluye una pluralidad de puntos (18) cuánticos configurados para crear un efecto no lineal en respuesta a un defecto en la estructura (10) compuesta y se extiende entre los extremos opuestos primero y segundo con la fuente de señal (20) colocada cerca del primer extremo de la fibra (16) óptica,
la fuente de señal (20) está configurada para proporcionar dos frecuencias v_1 y v_2 de entrada distintas, en donde al menos una de v_1 , v_2 , $v_1 + v_2$ o $v_1 - v_2$ es resonante con uno o más parámetros de material de la fibra (16) óptica, y
- 15 el sistema comprende además un reflector (32) colocado en el segundo extremo de la fibra (16) óptica para reflejar las señales a través de la fibra (16) óptica a partir del segundo extremo hacia el primer extremo, y en donde el detector (30) responde a las señales emitidas por el primer extremo de la fibra (16) óptica después de la reflexión de las señales a través de ellas.
2. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la fibra (16) óptica comprende un núcleo (16a) y un revestimiento (16b) que rodea el núcleo (16a), y en donde el núcleo (16a) comprende la pluralidad de puntos (18) cuánticos.
- 20 3. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la fibra (16) óptica comprende un núcleo (16a) y un revestimiento (16b) que rodea al núcleo (16a), y en donde el revestimiento (16b) comprende la pluralidad de puntos (18) cuánticos.
4. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la pluralidad de puntos (18) cuánticos está dispuesta sobre una superficie (16c) de la fibra (16) óptica.
- 25 5. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la pluralidad de puntos (16) cuánticos crea un efecto de segundo orden en respuesta a una anomalía en el material (10) compuesto.
6. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la fibra (16) óptica comprende además al menos una de una rejilla (36) de Bragg o un etalón de Fabry-Perot que comprende uno o más espejos parcialmente reflectantes.
- 30 7. Un método para monitorizar una estructura (10) compuesta utilizando el sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, comprendiendo el método:
proporcionar señales a partir de una fuente (20) de señal a la fibra (16) óptica para propagación a lo largo de la misma;
detectar señales que salen de la fibra (16) óptica;
caracterizado porque
- 35 el método comprende además reflejar las señales en el reflector (32) para reflejar las señales a través de la fibra (16) óptica a partir del segundo extremo hacia el primer extremo, y en donde la etapa de detección comprende detectar señales emitidas por el primer extremo de la fibra (16) óptica después de la reflexión de las señales a través de la misma, y
- 40 el método comprende además identificar la presencia de un efecto no lineal en la señal detectada e identificar un defecto en la estructura compuesta en respuesta a la identificación de la presencia del efecto no lineal.

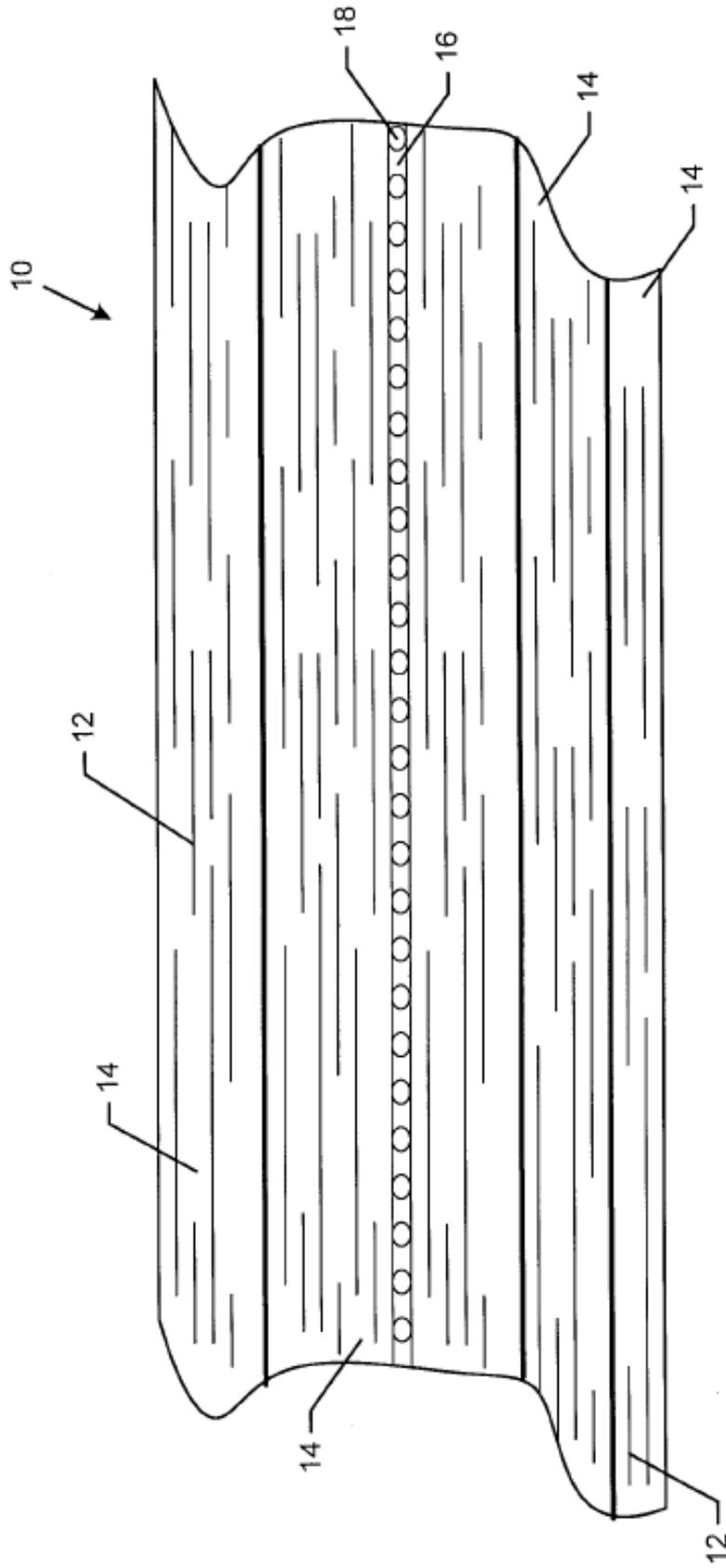


FIG. 1

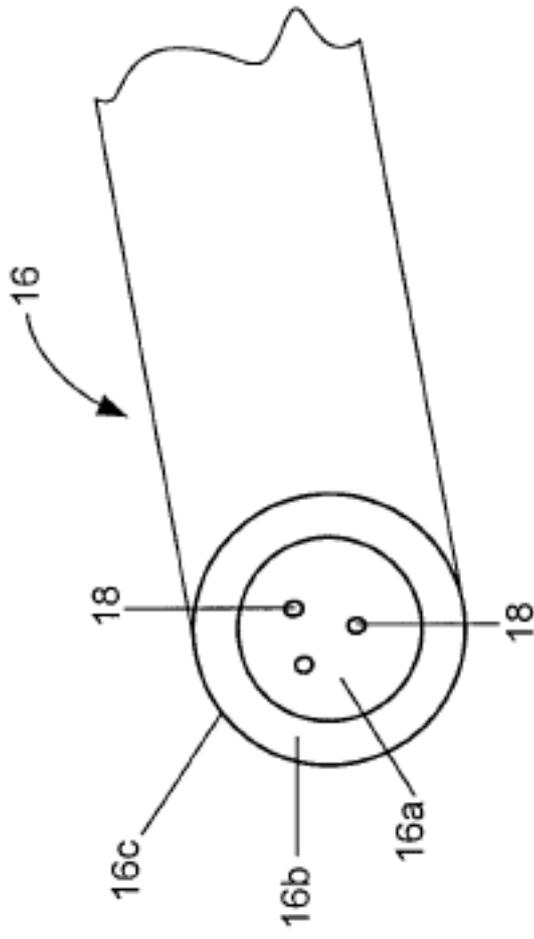


FIG. 2

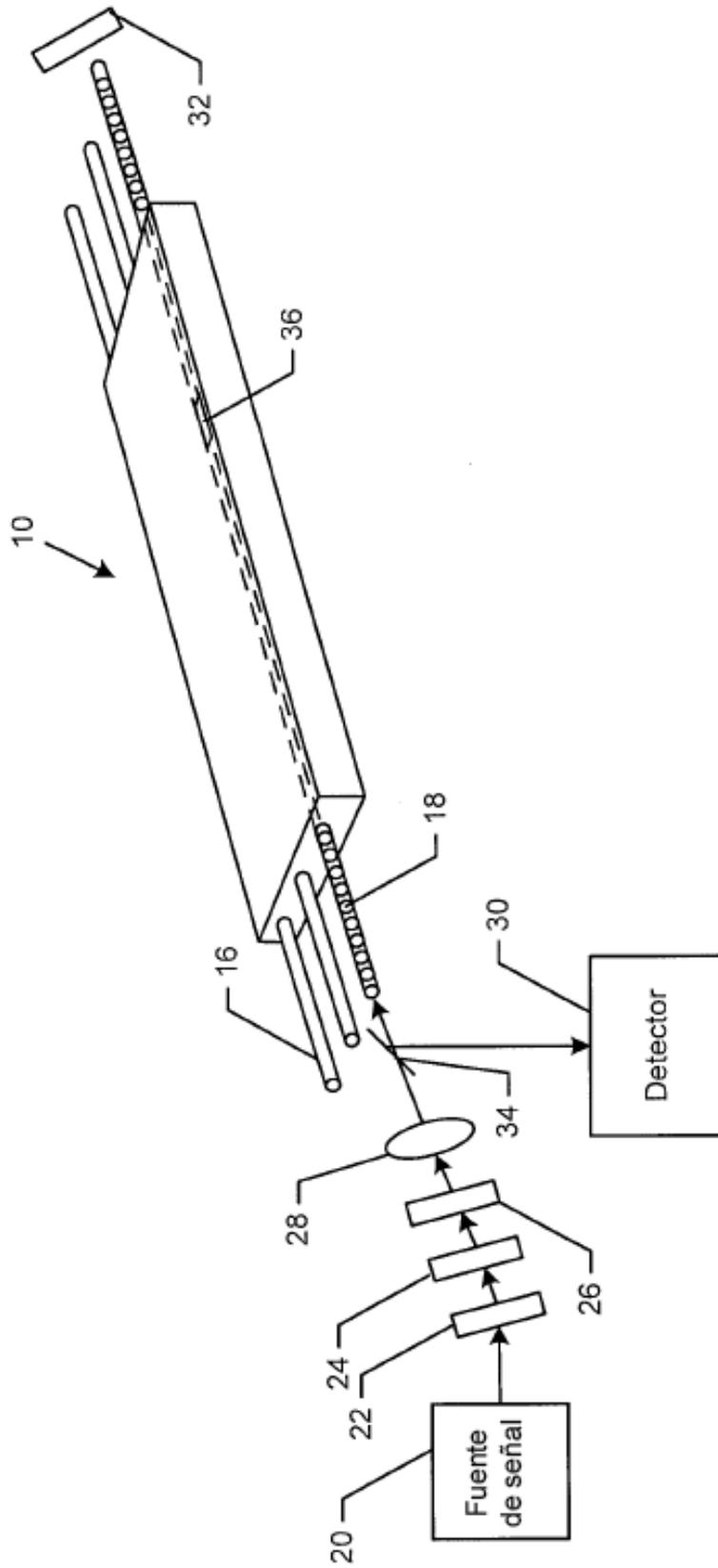


FIG. 3

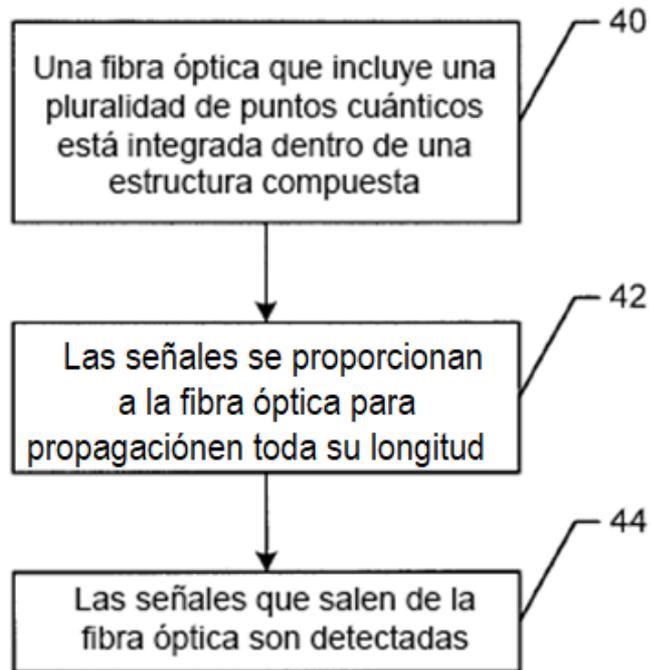


FIG. 4

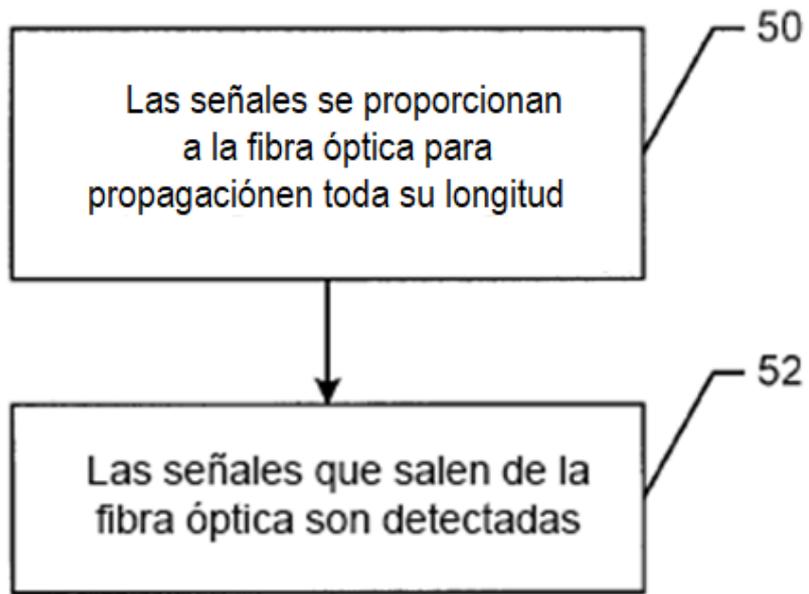


FIG. 5

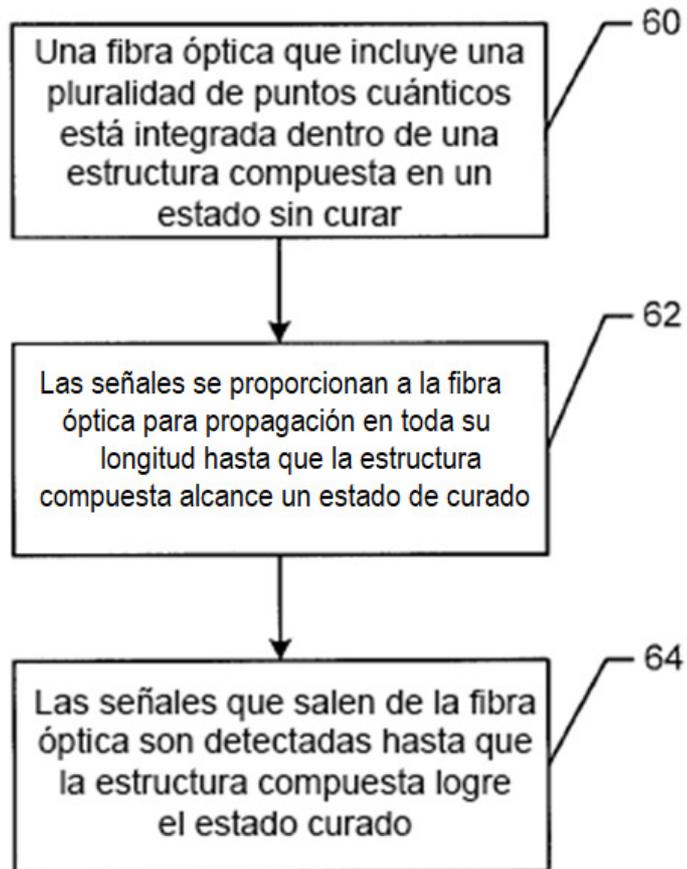


FIG. 6

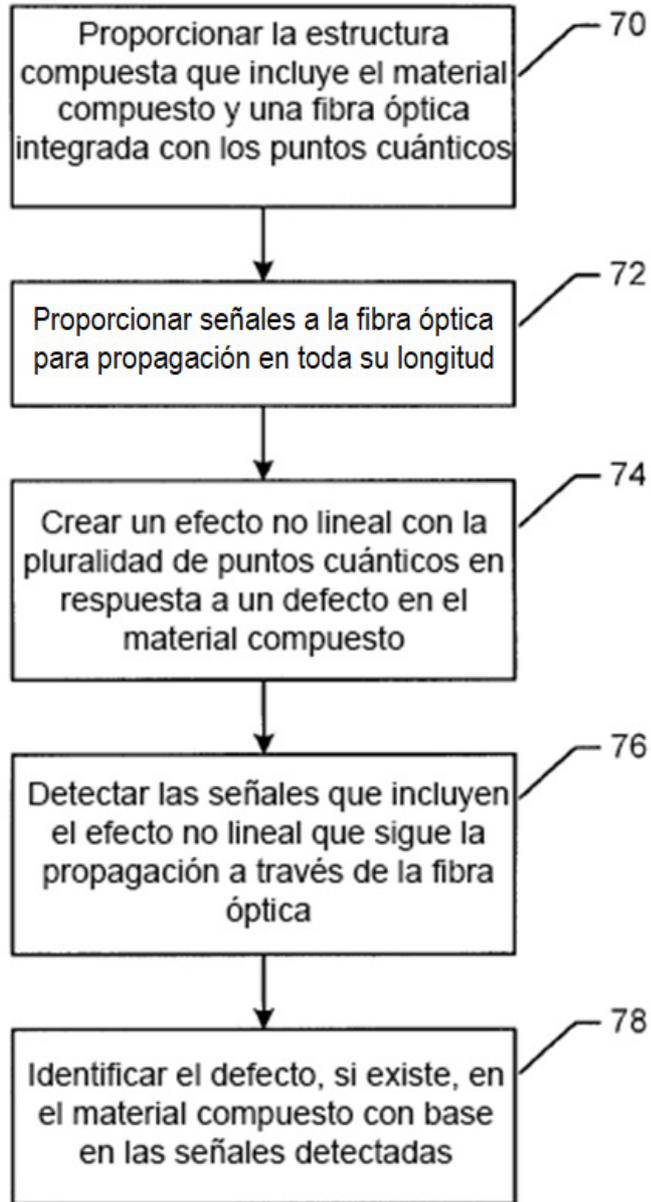


FIG. 7