

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 700 960 A2

(51) Int. Cl.: G01K 11/32 (2006.01)
G01K 13/02 (2006.01)
F01D 21/12 (2006.01)

Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 00723/10

(22) Anmeldedatum: 10.05.2010

(43) Anmeldung veröffentlicht: 15.11.2010

(30) Priorität: 15.05.2009 US 12/466,442

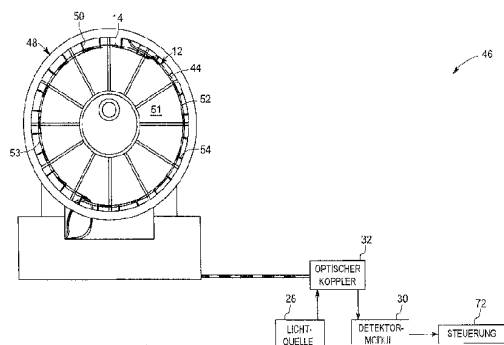
(71) Anmelder:
General Electric Company, 1 River Road
Schenectady, New York 12345 (US)

(72) Erfinder:
Hua Xia, Altamont, New York 12009 (US)
Kevin Thomas McCarthy, Troy, New York 12180 (US)
Michael J. Krok, Clifton Park, New York 12065 (US)
Boon Kwee Lee, Clifton Park, New York 12065 (US)
Nicolas Benkhelifa, 1008 Prilly (CH)
Ronald Kevin Gilstrap, Easley, South Carolina 29640 (US)
James Richard Nutt, Greer, south Carolina 29650 (US)
Kung-Li Deng, Princeton, New York 08540 (US)
David Robert O'Connor, Gardnerville, Nevada 89410 (US)
Juntao Wu, Niskayuna, New York 12309 (US)
James Gerard Lopez,
East Sholdack, New York 12063 (US)

(74) Vertreter:
R. A. Egli & Co. Patentanwälte, Horneggstrasse 4
8008 Zürich (CH)

(54) Faser-Bragg-Gitter-Messpaket und System zur Temperaturmessung in Gasturbinen.

(57) Ein Faser-Bragg-Gitter-Mehrpunkte-Temperaturmesssystem (44) weist ein Fasermesskabelpaket (52) und mehrere entlang einer Innenoberfläche einer Wand in Umfangsrichtung verteilte Klemmvorrichtungen (50) zum Befestigen des Fasermesskabelpakets auf. Das Fasermesskabelpaket weist ein auf einem Faser-Bragg-Gitter basierendes Messkabel (53) auf, das wenigstens eine optische Faser (12), mehrere in die optische Faser eingeschriebene Bragg-Gitter (14) und eine Gewebelage und ein die optische Faser umgebendes Hüllrohr aufweist. Das Mehrpunkte-Fasermesssystem weist eine Lichtquelle zum Übertragen von Licht an die Bragg-Gitter und ein reflektiertes Licht empfangendes Detektormodul auf. Jede Klemmvorrichtung weist wenigstens ein Strahlungs-T-Stück (54) auf und definiert wenigstens ein Montageloch zum Befestigen des Fasermesskabels.



Beschreibung

Hintergrund der Erfindung

[0001] Die Erfindung betrifft im Wesentlichen Messtechnologien und insbesondere beispielsweise faseroptische Messpakete und Systeme für Mehrpunkte-Temperaturmessungen an einer Gasturbine.

[0002] Temperaturmessung ist für den sicheren und effizienten Betrieb und die Steuerung vieler industrieller Prozesse essentiell. Industrielle Prozesse, wie z.B. der Betrieb von Gasturbinen, Kohlekesseln, Verbrennung, Energieerzeugung und Vergasung beinhalten die Messung hoher Temperaturen entweder für eine industrielle Echtzeit-Prozessüberwachung oder zur Steuerung und Optimierung.

[0003] Die Gastemperatur ist einer von den kritischen Steuerparametern für den Gasturbinenbetrieb, und jede Verbesserung der Genauigkeit der Temperaturmessung kann den Turbinenwirkungsgrad verbessern. Die Temperatur an dem Auslasskanal und Verdichter/Gasturbine erreicht 320 bis 649 °C (600 bis 1200 °F) bei einem sehr hohen Gasmassenstromdurchsatz, und die direkte Messung der Brenntemperatur für Steuerungszwecke liegt ausserhalb der Möglichkeiten der meisten Temperaturmessgeräte. In der Praxis der Verbrennungssteuerung wird eine ringförmige Anordnung von Thermoelementen zum Messen der Abgastemperatur für die Steuerung des Brennstoffdurchsatzes in dem Brenner verwendet. Sobald eine fehlerhafte Temperatur, entweder zu kalt oder zu heiss, erkannt wird, erfolgt entweder eine Brennstoffdurchsatzanpassung oder eine vorzeitige Abschaltung der Gasturbine. Ein derartiges Verbrennungssteuerungsverfahren erfordert eine genaue ringförmige Abgastemperaturmessung. Jedoch stellt die derzeitige Abgastemperaturmessung unter Verwendung von ringförmigen Anordnungen von Thermoelementen (TCs) nur eine eingeschränkte Anzahl von Messpunkten zur Verfügung, und die räumliche Messauflösung ist etwa ein halber Meter, was grösser als optimal sein kann. Demzufolge hat eine Steuerstrategie der Gasturbine eine zu hohe Sicherheitsreserve, welche zu einem niedrigeren Energieerzeugungswirkungsgrad und verringerten Diagnosemöglichkeiten führt. Es ist jedoch schwierig, die Anzahl und Lage der vorhandenen TCs nach dem derzeitigen Verfahren aufgrund ihrer unhandlichen Satz und des sehr hohen Bedarfs an elektrischer Verdrahtung zu erhöhen.

[0004] Auf Siliziumdioxid basierendes Quarzfasermaterial schmilzt bei hohen Temperaturen, wie z.B. bei Temperaturen von etwa 1482 °C (2700 °F), und somit sieht man in auf Siliziumdioxidmaterial basierenden vielflächigen Faser-Bragg-Gitter-(FBG)-Sensoren ein grosses Einsatzpotential für Mehrpunkte-Temperaturmessung in rauen Betriebsumgebungen, wie z.B. Turbomaschinensystemen, Brennern, Generatoren, Triebwerken und Vergasern. Ferner weisen FBG-Sensoren in optischen Quarzfasern aufgebaute hoch qualitative Reflektoren auf, die spezielle Lichtwellenlängen reflektieren und weitere Wellenlängen übertragen. FBG-Sensoren sind vorteilhaft, da sie geringe Masse, hohe Empfindlichkeit, Multiplexfähigkeiten, Mehrpunkt-Verteilungsfähigkeiten, Mehrfachmessfunktionen und elektromagnetische Störfestigkeit besitzen.

[0005] Die Überwachung von Gasturbinen-Betriebsbedingungen erfordert nicht nur thermisch stabilisierte Faser-Bragg-Gitter-Sensoren, sondern auch ein robustes Fasersensorkpaket. Es wäre nützlich, über ein Sensorkpaket zu verfügen, das leicht innerhalb der Gasturbine für eine Mehrpunkte-Temperaturmessung oder beliebige transiente Temperaturdynamikmessung einsetzbar wäre. Die eingebauten Fasersensorkpakete sollten auch den anfänglichen Gasturbinenstart und transienten Temperaturanstieg von Umgebung bis zu 538 bis 649 °C (1000 bis 1200 °F) überstehen. Hinsichtlich des Abgases, das CO, CO₂, NO_x, H₂O usw. enthalten kann, sollte ein Fasersensorkpaket nicht nur für eine zuverlässige Temperaturmessung, sondern auch für die Beibehaltung einer hohen mechanischen Festigkeit gegenüber Schwingung, Wärmezyklen und durch Spannungskorrosion induzierte mechanische Ermüdungen hermetisch versiegelt sein.

[0006] Jedoch erfordert die Anwendung von Fasersensoren in jedem industriellen Energieerzeugungssystem definitiv ein geeignetes Fasersensorkpaket und die entsprechenden Einbauverfahren. Dabei können sich, da sich beispielsweise die Betriebsbedingung jedes industriellen Systems in Temperatur, Druck, Durchsatz, Schwingung und Korrosion verändern kann, die Einbauverfahren von einem industriellen System zum nächsten industriellen System verändern. Es ist erwünscht, über ein verbessertes FBG-Sensorkpaket, Einbauverfahren und ein integriertes Messsystem zu verfügen, das unterschiedliche raue Betriebsbedingungen überleben kann.

Kurzbeschreibung der Erfindung

[0007] Gemäss einer hierin offenbarten Ausführungsform weist ein Faser-Bragg-Gitter-Mehrpunkte-Temperaturmesssystem ein Fasermesskabelpaket und mehrere entlang einer Innenoberfläche einer Wand in Umfangsrichtung verteilte Klemmvorrichtungen zum Befestigen des Fasermesskabelpakets auf. Das Fasermesskabelpaket weist ein auf einem Faser-Bragg-Gitter basierendes Messkabel auf, das wenigstens eine optische Faser, mehrere in die optische Faser eingeschriebene Bragg-Gitter und ein die optische Faser umgebendes Hüllrohr aufweist. Das Fasermesskabelpaket weist eine Lichtquelle zum Übertragen von Licht an die Bragg-Gitter und ein Detektormodul zum Empfangen von aus den Bragg-Gittern reflektiertem Licht auf. Jede Klemmvorrichtung weist wenigstens ein Strahlungs-T-Stück auf und definiert wenigstens ein Montageloch zum Befestigen des Fasermesskabels.

[0008] Gemäss einer weiteren hierin offen gelegten Ausführungsform weist ein Fasermesskabelpaket eine optische Faser mit einem Faserkern und einem Mantel und einer den Fasermantel umgebenden Beschichtungslage, mehrere in den Faserkern eingeschriebene Bragg-Gitter, eine den Fasermantel umgebende Gewebelage, ein Hüllrohr um die Gewebelage, eine Lichtquelle zum Übertragen von Licht an die Bragg-Gitter und ein Detektormodul zum Empfangen von aus

den Bragg-Gittern reflektiertem Licht auf. Die Gewebelage weist einen Wärmeausdehnungskoeffizienten auf, der mit dem Wärmeausdehnungskoeffizienten des Fasermaterials kompatibel ist.

[0009] Gemäss noch einer weiteren hierin offengelegten Ausführungsform weist ein Verfahren die Schritte der Erzielung einer mit mehreren Bragg-Gittern beschriebenen Faser und die Befestigung der Faser an einer bereits bestehenden festen Metallstange auf. Die Metallstange weist mehrere Durchtrittslöcher in ihrer Aussenoberfläche und entlang der Stablänge auf. Die Bragg-Gitter befinden sich jeweils in einem entsprechenden Durchgangsloch.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[0010] Diese und weitere Merkmale, Aspekte und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden besser verständlich, wenn die nachstehende detaillierte Beschreibung unter Bezugnahmen auf die beigefügten Zeichnungen gelesen wird, in welchen gleiche Bezugszeichen gleiche Teile durchgängig durch die Zeichnungen bezeichnen, in welchen:

- Fig. 1 eine vereinfachte Querschnittsansicht eines exemplarischen Faser-Bragg-Gitter-(FBG)-Messkabelpakets gemäss einer Ausführungsform der Erfindung ist.
- Fig. 2 eine exemplarische Querschnittsansicht eines FBG-Messkabels des in Fig. 1 dargestellten FBG-Messkabelpakets ist.
- Fig. 3 ein exemplarisches Wellenlängenspektrum von mehreren Bragg-Gittern in dem FBG-Messkabel von Fig. 1 ist.
- Fig. 4 ein exemplarisches Wellenlängenverschiebungsspektrum von mehreren Bragg-Gittern in dem FBG-Messkabel von Fig. 1 in Reaktion auf eine Temperaturänderung in einer Gasturbinentestzeitperiode ist.
- Fig. 5 eine Teilquerschnittsansicht eines Mehrfach-Faser-Bragg-Gitter-(FBG)-Messkabelpakets gemäss einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist.
- Fig. 6 ein exemplarisches FBG-Temperaturmesssystem ist, das in einen Abgaskanal einer Gasturbine gemäss einer Ausführungsform der Erfindung eingebaut ist.
- Fig. 7 eine exemplarische Explosionsansicht einer Klemmvorrichtung ist, die ein Strahlungs-T-Stück zum Befestigen eines Paares von FBG-Messkabeln mit einer Umfangs-FBG-Messkabelanordnung nahe an einem oberen Abschnitt des Strahlungs-T-Stückes aufweist.
- Fig. 8 eine perspektivische Ansicht der Klemmvorrichtung von Fig. 7 zum Befestigen der FBG-Messkabel in dem Abgaskanal der Gasturbine mit dem bestehenden Strahlungs-T-Stück ist.
- Fig. 9 ein exemplarisches FBG-Messstabpaket ist, die in dem Abgaskanal der Gasturbine gemäss einer weiteren Ausführungsform der Erfindung für eine radiale Temperaturprofilabbildung verwendet wird.
- Fig. 10 eine exemplarische FBG-Messanordnung ist, die in dem Abgaskanal der Gasturbine gemäss noch einer weiteren Ausführungsform der Erfindung verwendet wird.
- Fig. 11 eine exemplarische FBG-Messanordnung ist, die in dem Abgaskanal der Gasturbine gemäss noch einer weiteren Ausführungsform der Erfindung verwendet wird.
- Fig. 12 eine Vorderansicht eines FBG-Messstabes der FBG-Messanordnung von Fig. 11 ist.

Detaillierte Beschreibung der Erfindung

[0011] Ausführungsformen der Erfindung betreffen auf Faser-Bragg-Gittern (FBG) basierende Temperaturmesspakete und ein Verfahren zum Einbau von FBG-Messpaketen in einer rauen Betriebsumgebung, wie z.B. einer Gasturbine.

[0012] Gemäss den Fig. 1 und 2 weist ein FBG-Messkabelpaket 10 für die Messung von hohen Temperaturen ein FBG-Messkabel 11 auf, welches eine optische Faser 12, mehrere in die optische Faser 12 eingeschriebene Bragg-Gitter 14 und ein die optische Faser 12 umgebendes Aussenhüllrohr 16 und eine Gewebelage 16 zwischen der optischen Faser 12 und dem Aussenhüllrohr 16 aufweist.

[0013] In einer Ausführungsform weist die optische Faser 12 einen Faserkern 20, einen Mantel 23 (Fig. 2) und eine den Mantel 23 umgebende Polymerbeschichtung 22 auf. In bestimmten Ausführungsformen wird eine Metallbeschichtung 22 dazu genutzt, den Fasermantel zu schützen. In bestimmten Ausführungsformen weist der Faserkern 20 zusammen mit Germanium und Fluor dotiertes Siliziumdioxidmaterial auf. In einer weiteren Ausführungsform ist der Faserkern Siliziumdioxid mit einem Fluor-dotierten Siliziumdioxidmantel. In noch einer weiteren Ausführungsform weist der Faserkern Quarz auf. Die Polymerbeschichtung 22 kann Acrylat, Silikon, Polyimid, Kohlenstoff oder eine Kombination davon aufweisen. Die Polymerbeschichtung 22 ist aufgrund ihrer mechanischen Flexibilität und niedrigen Kosten und wegen der Verbesserung

der mechanischen Festigkeit der optischen Faser für die Erleichterung des Zusammenbaus des FBG-Messkabelpakets 10 vorteilhaft. Jedoch haben Polymerbeschichtungen 22 im Allgemeinen relativ niedrige Schmelztemperaturen, wie z.B. um 400° C (750 °F) bei einer Polyimidbeschichtung. In herkömmlichen FBG-Messkabelpaketen ohne Gewebelage 18 kann bei erhöhten Temperaturen die Polymerlage schmelzen und an einer Innenoberfläche des Hüllrohrs 16 anhaften. Das Hüllrohr 16 hat einen grösseren Wärmeausdehnungskoeffizienten im Vergleich zu dem faseroptischen Material und dehnt sich unter erhöhter Temperatur aus, was ohne die Gewebelage 18 zu einem Bruch der Polymerbeschichtung 22 und/oder der optischen Faser 12 führen könnte.

[0014] Es ist vorteilhaft, dass die Gewebelage 18 einen Wärmeausdehnungskoeffizienten besitzt, der mit dem der Faser 12 kompatibel ist. So wie hierin verwendet, bedeutet «kompatibel», dass die Wärmeausdehnungskoeffizienten (CTE) der Gewebelage 18 und der optischen Faser 12 eng genug beieinander liegen, sodass die optische Faser nicht aufgrund von Wärmeausdehnung der Gewebelage 18 bei erhöhten Temperaturen bricht. In bestimmten Ausführungsformen haben der Faserkern 20 und die Gewebelage 18 im Wesentlichen dieselben CTEs. In bestimmten Ausführungsformen wird die Kompatibilität erreicht, indem eine Gewebelage 18 verwendet wird, die wenigstens 80 Gewichtsprozent optisches Siliziumdioxid oder Silikatmaterial enthält. In einer Ausführungsform kann die Gewebelage 18 beispielsweise ein Silikatgewebe, das durch Auslaugen von Fiberglasgewebe zu $\text{SiC} > 2$ hergestellt wird, ein mit Fluorgummi beschichtetes Fiberglas, ein mit Polychloropren beschichtetes Fiberglasgewebe, ein mit Silikongummi beschichtetes Fiberglas oder Poly(Tetra-fluorethylen) beschichtetes Fiberglas aufweisen. In bestimmten Ausführungsformen kann die Gewebelage 18 in Form einer die optische Faser 12 umgebenden Umhüllung, einer um die optische Faser 12 gewickelten Folie oder Geflechtes oder von um die optische Faser 12 gewickelten Faserbündeln haben. Bei erhöhter Temperatur kann die Polymerbeschichtung 22 an einer Innenoberfläche der Gewebelage 18 schmelzen oder anhaften. Da die Gewebelage 18 einen kompatiblen Wärmeausdehnungskoeffizienten mit der Faser 12 hat, schützt das Gewebe somit die Faser vor Beschädigung und schützt ferner das FBG-Messkabelpaket 10. In einer Ausführungsform der Erfindung weist die Gewebelage 18 eine Umhüllung auf, und die optische Faser ist in die Umhüllung eingesetzt und lose in der Gewebelage 18 aufgenommen. Eine physikalische Eigenschaft eines exemplarischen Gewebematerials für die Gewebelage 18 ist in der nachstehenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 1

[0015]

Physikalische Eigenschaften des Schutzgewebematerials der optischen Faser

Dauerbetriebstemperatur	1093 °C (2000 °F)
Maximale Betriebstemperatur	1704 °C (3100 °F)
Hauptmaterial	98 % SiO_2
Wärmeleitfähigkeit bei 260 °C (500°F)	0,45 (BTU in/Hr.ft ²)
Zugfestigkeit	$0,5 \times 10^6$ psi
Elastizitätsmodul	$10,5 \times 10^6$ psi
Porosität	1 %
Materialeigenschaften	Anorganisch und rauchlos bei Aussetzung an Hitze

[0016] In bestimmten Ausführungsformen werden die Faser-Bragg-Gitter 14 in den Faserkern 20 durch einen photochemischen Prozess, wie z.B. durch eine Einschreibung mit Ultraviolett-(UV)-Laserlicht oder Femtosekunden-Laserlicht im nahen Infrarot-(NIR)-Bereich eingeschrieben, dem ein Wärmeausheilungsprozess bei Temperaturen zwischen etwa 538 °C und 816 °C (1000 °F und etwa 1500 °F) folgt. Der photochemische Prozess erfordert üblicherweise die Entfernung von Teilen der Polymerbeschichtung 22 von der optischen Faser 12, um somit dem Laserlicht das Erreichen des Faserkerns 12 mit ausreichender Intensität zum Bewirken des gewünschten Übergangs zu ermöglichen. Die Polymerbeschichtung 22 kann von dem Gitterbereich unter Einsatz verschiedener Mittel abgezogen werden, wobei ein Beispiel die Lösung des Polymers in Schwefelsäure umfasst. Die optische Faser 12 verliert in dem Bereich der teilweise entfernten Polymerbeschichtung 22 Festigkeit, und somit wurden in einer Ausführungsform nach der Ausbildung der Faser-Bragg-Gitter 14 in dem Kern 20, die Abschnitte der optischen Faser 12, von welchem die Polymerbeschichtung 22 entfernt worden war, wieder beschichtet. In einer weiteren Ausführungsform, wie sie am besten in Fig. 2 zu sehen ist, weist das FBG-Messkabelpaket 10 ferner wenigstens ein Längsverstärkungselement 24 auf, das in der Gewebelage 18 zusammen mit der optischen Faser 12 eingeschlossen ist, um die Steifigkeit des FBG-Messkabels 11 zu erhöhen. In der dargestellten Ausführungsform von Fig. 2 weist das Verstärkungskabel 24 eine oder mehrere Multimode-Fasern auf. Jede Multimode-Faser weist einen Faserkern 25 und einen Mantel mit einer Polymerbeschichtung oder einer Metall-(Cu, Ni, Al usw.)-Beschichtung, wie z.B. Kupfer, Nickel oder Aluminium auf. In bestimmten Ausführungsformen können die optische Faser 12 und die Multimode-Fasern 24 miteinander verdreht und durch eine Polymerbeschichtung 22 geschützt sein.

[0017] Gemäss Fig. 1 weist in einer Ausführungsform das Aussenhüllrohr 16 ein Metallmaterial und eine polierte Aussenoberfläche auf. In dieser Ausführungsform wird kurzwellige Wärmestrahlungsenergie aus der Umgebung durch die polierte Aussenoberfläche des Hüllrohrs 16 reflektiert, ohne die Temperaturmessgenauigkeit zu beeinträchtigen. Ein exemplarisches Material für das Hüllrohr 16 besteht aus Inconel 600™ oder auf Inconel basierenden Legierungen und auf austenitischem Nickelchrom basierenden Superlegierungsmaterialien, welche eine hohe Temperaturbeständigkeit und starke Oxidationsbeständigkeit besitzen. In bestimmten Ausführungsformen ist ein Aussendurchmesser des Rohres 16 grösser als 6,35 mm und eine Wanddicke des Rohres ist grösser als 1,2 mm, demzufolge das Hüllrohr 16 das FBG-Messkabel 11 schützt und eine raue Betriebsumgebung, wie z.B. einen heissen Gasstrom, Rotorblattrotationsdrehzahl von 3000 bis 3600 Umdrehungen pro Minute, eine Eigenschwingungsfrequenz im Bereich von 50 bis 60 Hertz und mögliche Oberwellenkomponenten im Bereich von 100 Hz bis 350 Hz überstehen kann.

[0018] Wärmeansprechzeit bezieht sich auf die Zeitverzögerung des Fasermesskabels in Reaktion auf eine Wärmeveränderung, welche einer der wichtigen Parameter für FBG-Messkabelpakete 10 ist. Eine geringe Wärmeansprechzeit ist wünschenswert, welche einem Gasturbinensteuerungssystem eine schnellere Reaktion auf Temperaturänderungen ermöglicht. Für ein FBG-Messkabel 11 liefern ein kleinerer Durchmesser und eine dünnere Wand eines Hüllrohrs 16 eine relativ geringere Ansprechzeit, führen aber zu einem Aufbau, der relativ schwächer ist und den rauen Umgebungsbedingungen einer Gasturbine nicht widerstehen kann. Ein weiteres Problem besteht darin, dass die Schwingungsfrequenz des kleineren und dünnwandigeren Hüllrohrs sich mit der Schwingungsfrequenzbandbreite der Rotorschaukeln der Gasturbine überlappen könnte. Die Verwendung von mit einem schwereren und grösseren Rohr verpackten FBG-Messkabels kann eine gute Überlebensfähigkeit auf Kosten einer Ansprechzeit mit längerer Verzögerung bereitstellen. Eine optimierte Paketkonstruktion gleicht das Wärmeansprechverhalten aus, obwohl sich das Paketrohr ausserhalb der Resonanzfrequenz der Rotorgrundfrequenz und dessen Oberwellenkomponenten höherer Ordnung befindet. Die Wärmeansprechzeit, t_0 , kann durch die Gleichung 1 berechnet werden:

$$t_0 = r^2 \cdot c_p \cdot p / K \quad \text{Gleichung 1}$$

wobei r der Radius der Satzmaterialien ist, c_p die spezifische Wärme des Satzmaterials ist, p die Massendichte und k die Wärmeleitfähigkeit ist. In bestimmten Ausführungsformen reicht der Aussendurchmesser des Hüllrohrs 16 von 6,35 mm bis 9,5 mm und die Wanddicke des Hüllrohrs 16 reicht von 1,2 mm bis 2 mm.

[0019] Die nachstehende Tabelle 2 gibt eine exemplarische Ansprechzeit eines FBG-Messkabels, wenn das Aussenhüllrohr 16 aus rostfreiem Stahl besteht und die Faserlage 181 mm Radius hat und 3 mm Luftspalt zwischen dem Hüllrohr 16 und der Faserlage 18 vorliegt die Gesamtzeit etwa 2,8 Sekunden im Falle eines Wärmeereignisses an. Da eine schwere Verpackung eine bessere mechanische Festigkeit für eine langfristige Überlebensfähigkeit bereitstellen könnte, besteht der Nachteil in der relativen langen Verzögerung für einen Fasersensor, um ein Wärmeereignis zu erkennen. Für Turbinen-Steuerungs- und Optimierungszwecke sollte ein FBG-Messkabel die rauen Betriebsbedingungen einer Gasturbine überleben, während es gleichzeitig eine vernachlässigbare Wärmeansprechzeit hat.

Tabelle 2 FBG-Messkabel-Ansprechzeit

[0020]

Material	r (m)	P	C_p (J/Kg C)	K (W/mC)	t (s)
Rostfreier Stahl	0,003	8000	500	21,5	1,67
Faserumhüllung	0,001	66	740	0,068	0,72
Luft	0,003	1,205	1005	0,0257	0,42
Ansprechzeiten					2,8

[0021] In einer Ausführungsform wurden, zur Verhinderung einer Überlappung der Schwingungsfrequenz des FBG-Messkabels mit der Grundschiebungsfrequenz der Gasturbine zwei Arten von Hüllrohrabmessungen mit Aussendurchmessern von 3,175 mm und 6,35 mm unter Bedingungen mit freier Klemmung und fester Klemmung simuliert. Wenn sich ein Hüllrohr in einem freien Klemmzustand befindet, kann sich das Hüllrohr nur in der horizontalen Achse frei bewegen, aber nicht in vertikaler Richtung. Wenn sich ein Hüllrohr in einem festen Klemmzustand befindet, darf es sich nicht frei bewegen. In den Ausführungsformen mit freier Klemmung wird erwartet, dass das 3,175 mm Hüllrohr eine Schwingungsfrequenz nahe an 50 Hz hat, während von einem 6,35 mm Rohr erwartet wird, dass es eine Schwingungsfrequenz von etwa 130 Hz hat. Für eine 7 FA-, 7FB- und 9 FA- Gasturbine liegt die normale Schwingungsfrequenz im Grundmodus entweder bei 50 Hz oder 60 Hz. Somit besteht in einer Ausführungsform ein Hüllrohr 16 aus einem 6,35 mm Inconel™-Hüllrohr mit einer Wanddicke von mehr als 1,2 mm.

[0022] In einigen Ausführungsformen kann heisses Gas unterschiedliche elektromagnetische Wellen abstrahlen und ungenaue Gastemperaturmessungen bewirken. In der dargestellten Ausführungsform von Fig. 1 weist das FBG-Messkabel-

paket 10 ferner eine äussere gewebte Umhüllung 26 auf, welche das Hüllrohr umgibt. Die gewebte Umhüllung 26 kann dazu genutzt werden, langwellige Wärmestrahlungsenergie (z.B. Wellenlängen grösser als 2 μm) abzuschwächen. Für jede Wärmestrahlung mit längeren Wellenlängen könnte dieses Fasermüllungsmaterial den Einfluss der Wärmestrahlung entweder aus dem heissen Gas oder von der Diffusorwand effektiv verhindern.

[0023] Des Weiteren weist gemäss Fig. 1 das FBG-Messkabelpaket 10 eine Lichtquelle 28 zum Übertragen von Licht durch die optische Faser 12 an die Bragg-Gitter 14 und ein Detektormodul 30 für den Empfang von aus den Bragg-Gittern 14 reflektiertem Licht auf. Das FBG-Messkabelpaket 10 kann auch einen optischen Koppler 32 enthalten, um das ankommende Licht aus der Lichtquelle 28 sowie die reflektierten Signale aus den Bragg-Gittern 14 zu handhaben. Der Koppler 32 führt die entsprechenden reflektierten Signale zum Detektormodul 30.

[0024] Das Detektormodul 30 empfängt die reflektierten optischen Signale aus den Bragg-Gittern 14 und analysiert im Zusammenwirken mit verschiedenen Hardware- und Softwarekomponenten die in den optischen Signalen enthaltene Information. In einer Ausführungsform ist das Detektormodul 30 dafür konfiguriert, einen Zustand oder einen Parameter der Umgebung auf der Basis eines von dem Bragg-Gitter 14 erzeugten Reflexionsspektrums abzuschätzen. In bestimmten Ausführungsformen verwendet das Detektormodul 30 einen optischen Spektralanalysator, um Signale aus den Bragg-Gittern 14 zu analysieren. Abhängig von der gewünschten Anwendung kann das Detektormodul 30 dafür konfiguriert sein, verschiedene Parameter in der Umgebung zu messen. Beispiele derartiger Parameter umfassen Temperatur, das Vorliegen von Gas, Zugspannung, Druck, Schwingung und Strahlung.

[0025] In einer Ausführungsform wird das FBG-Messkabelpaket 10 zur Temperaturmessung in der rauen industriellen Umgebung eines Turbomaschinensystems, wie z.B. einem Brenner, einem Generator, Triebwerk oder einem Vergaser verwendet. Wenn Licht aus der Lichtquelle 28 durch die optische Faser 12 an die Bragg-Gitter 14 übertragen wird, wird Lichtenergie von jedem der Bragg-Gitter 14 bei einer entsprechenden Bragg-Wellenlänge λ_B gemäss der Gleichung 2 reflektiert:

$$\lambda_B = 2n_{\text{eff}}\Lambda \quad \text{Gleichung 2}$$

wobei « λ_B » die Bragg-Wellenlänge des entsprechenden Bragg-Gitters 14 repräsentiert, « n_{eff} » der Brechungsindex ist und « Λ » die Periode des Bragg-Gitters 14 ist. Sowohl der Brechungsindex (n_{eff}) als auch die Periode (Λ) des Bragg-Gitters 14 sind Funktionen von Temperatur und Zugspannung. Wenn das FBG-Messkabelpaket 10 zur Temperaturmessung ohne Ausübung einer Zugspannung auf die Bragg-Gitter 14 verwendet wird, ist die Wellenlängenverschiebung ($\Delta\lambda$) jedes Bragg-Gitters 14 gemäss der nachstehenden Gleichung 3:

[0026]

$$\Delta\lambda(T) = \lambda_B \left(\frac{1}{n_{\text{eff}}} \frac{\partial n_{\text{eff}}}{\partial T} + \alpha \right) T = \lambda_B (\beta + \alpha) T \quad \text{Gleichung 3}$$

wobei « β » der Wärmeausdehnungskoeffizient und « α » der thermooptische Koeffizient ist. Unter Berücksichtigung sowohl nicht-linearer thermooptischer Effekte als auch von Wärmeausdehnungseffekten kann die Wellenlängenverschiebung ($\Delta\lambda$) als eine kubische Funktion der Temperatur (T) gemäss der Gleichung 4 kalibriert werden:

$$\Delta\lambda(T) = a\Delta T + b\Delta T^2 + c\Delta T^3. \quad \text{Gleichung 4}$$

[0027] Die Koeffizienten a , b und c können beispielsweise durch eine vorhergehende experimentelle Kalibrierung unter Verwendung von Thermometern, wie z.B. Thermoelementen, Widerstandstemperaturdetektoren (RTDs) oder Platinwiderstands-Thermometern (PRTs) gewonnen werden. Ein Beispiel von Koeffizientenwerten, die durch experimentelle Kalibrierung erzielt werden, ist $a = 4,87$, $b = 3,20 \times 10^{-3}$ und $c = -8,0 \times 10^{-7}$. Es ist einfach, mehrere Bragg-Gitter 14 für eine Mehrpunktemessung der Umgebung in dem kompakten FBG-Messkabelpaket 10 anzuordnen. In unterschiedlichen Ausführungsformen sind die mehreren Bragg-Gitter 14 mit unterschiedlichen Wellenlängen mit einer räumlichen Wellenlängentrennung von 0,5 nm bis 100 nm ausgelegt, um jede potentielle Spitzenüberlappung während der Messung zu vermeiden. Fig. 3 stellt ein exemplarisches Wellenlängenspektrum einer Anzahl (N) von Bragg-Gittern 14 innerhalb derselben optischen Faser 12 dar. Wie dargestellt, hat jedes Bragg-Gitter 14 eine eindeutige Wellenlänge, und kann somit von einer anderen unterschieden werden, wenn sie von dem Detektormodul 30 empfangen wird. Fig. 4 stellt ein exemplarisches Wellenlängenverschiebungsspektrum der mehreren Bragg-Gitter innerhalb einer bestimmten Zeitperiode (T) in Reaktion auf eine Temperaturänderung dar. Das FBG-Messkabelpaket 10 kann somit für eine Online-Datenanalyse verwendet werden, welche eine gemittelte Abgastemperatur und/oder lokale Temperatur für die Gasturbinensteuerung und Optimierung liefern kann. Obwohl jedes Bragg-Gitter 14 eine unterschiedliche Mittenwellenlänge besitzt, ist die Wellenlängenverschiebung im Wesentlichen proportional zur Temperaturveränderung. Die Umwandlung von Wellenlängenverschiebung in Temperatur basiert auf der Gleichung 4.

[0028] In bestimmten Ausführungsformen kann das FBG-Messkabelpaket 10 zwei oder mehr optische Fasern 12 in demselben FBG-Messkabel 11 enthalten, um mehr Bragg-Gitter 14 aufzunehmen. Gemäss Fig. 5 weist ein FBG-Messkabelpaket 34 gemäss einer weiteren Ausführungsform der Erfindung erste, zweite und dritte optische Fasern 12, 36, 38 in

demselben FBG-Messkabel 11 auf. In jede von den ersten, zweiten und dritten optischen Fasern 12, 36, 38 sind mehrere Bragg-Gitter 14 eingeschrieben. In einer Ausführungsform sind die Bragg-Gitter 14 in derselben optischen Faser 12 entlang der allgemeinen Längsrichtung verteilt. In einer Ausführungsform sind Bragg-Gitter 14 in unterschiedlichen Fasern entlang der Längsrichtung des FBG-Messkabels 14 gestaffelt. Mit mehreren Fasern können die Bragg-Gitter 14 in einer kompakteren Weise entlang der Längsrichtung angeordnet werden und es können mehr Punkte entlang der Längsrichtung gemessen werden. In einer Ausführungsform werden die ersten, zweiten und dritten optischen Fasern 12, 36, 38 jeweils von entsprechenden Gewebelagen 18 umgeben und dann ferner in dem Hüllrohr 16 aufgenommen. In einer weiteren Ausführungsform werden die ersten, zweiten und dritten optischen Fasern 12, 36, 38 durch eine gemeinsame Gewebelage 18 umgeben und dann weiter in dem Hüllrohr 16 aufgenommen.

[0029] Fig. 6-8 stellen ein exemplarisches FBG-basierendes verteiltes Temperaturmesssystem 44 dar, das in einem Gasturbinensystem beispielsweise für eine Mehrpunkte-Abgastemperaturmessung und Wärmeprofilierung verwendet wird. Gemäss Fig. 6 wird in einer exemplarischen Ausführungsform der Erfindung das FBG-Messsystem 44 in einer Gasturbine 46 zur Messung der Abgastemperatur der Gasturbine 46 verwendet. Die Gasturbine 46 weist eine zentrale Trommel 49 darin einschliessende Diffusorwand 48 auf. Die Diffusorwand 48 hat eine im Wesentlichen in Umfangsrichtung verlaufende Querschnittsansicht. Das FBG-Messsystem 94 weist mehrere Klemmvorrichtungen 50 in einer Innenoberfläche der Diffusorwand 48 auf und ein FBG-Messkabelpaket 52 mit einem in Umfangsrichtung verlaufenden FBG-Messkabel 53, das von der Klemmvorrichtung 50 gelagert wird. Das FBG-Messkabelpaket 52 weist wenigstens eine optische Faser 12 und mehrere in die optische Faser eingeschriebene Bragg-Gitter auf, wie es unter Bezugnahme auf die vorstehenden Fig. 1 und 2 diskutiert wurde. Es können eine optische Faser oder mehrere Fasern und/oder Kabel falls gewünscht verwendet werden. Wenn mehrere Bragg-Gitter 14 entlang der oder den in Umfangsrichtung verlaufenden optischen Faser oder Fasern verteilt sind, kann ein rundes Wärmeprofil entlang dem Pfad der optischen Faser durch Überwachen der Wellenlängenverschiebungen der Bragg-Gitter 14 abgebildet werden. In einer Ausführungsform kann die detaillierte Auslegung des FBG-Messkabels 53 ähnlich dem sein, das unter Bezugnahme auf das FBG-Messkabel 11 der Fig. 1 und 4 beschrieben wurde.

[0030] Unter erhöhter Temperatur hat das FBG-Messkabel 53 eine Wärmeausdehnung entlang der Umfangsrichtung und die Wärmeausdehnung induziert Zugspannung und Druck in das FBG-Messkabel 53, was Wellenlängenverschiebungen der Bragg-Gitter 14 induziert. In bestimmten Ausführungsformen kann das FBG-Messkabelpaket 52 zwei oder mehr in Reihe geschaltete FBG-Messkabel enthalten, um eine gesamte Umfangslänge der Innenoberfläche der Diffusorwand 48 abzudecken. In der dargestellten Ausführungsform von Fig. 6 weist das FBG-Messkabelpaket 52 zwei halbkreisförmige FBG-Messkabel 53 auf, die in Reihe geschaltet sind, um sich entlang der gesamten Umfangslänge der Innenoberfläche der Diffusorwand 48 zu erstrecken. Jedes FBG-Messkabel 53 nimmt somit einen Teil der Wärmeausdehnung entlang dem gesamten Umfang auf, um das Risiko eines Kabelbruches zu verringern und um die Genauigkeit der Temperaturmessung zu verbessern.

[0031] Fig. 7 und Fig. 8 sind jeweils eine vergrösserte Explosionsansicht und eine vergrösserte perspektivische Ansicht einer Klemmvorrichtung 50. In der dargestellten Ausführungsform weist die Klemmvorrichtung 50 ein an der Innenoberfläche der Diffusorwand 48 (Fig. 6) befestigtes Strahlungs-T-Stück 54, ein an einen oberen Bereich des Strahlungs-T-Stückes 54 fixiertes und Montagelöcher 58 zum Festhalten des FBG-Messkabels 53 definierendes Fixierungselement 56 und wenigstens ein an dem Fixierungselement 56 angebrachtes Befestigungselement 60 auf, um das FBG-Messkabel 53 in den Montagelöchern 58 zu befestigen. In bestimmten Ausführungsformen hat das Strahlungs-T-Stück 54 eine Höhe von etwa 30 cm und demzufolge befindet sich das von dem Fixierungselement 56 gelagerte FBG-Messkabel 53 von der Innenoberfläche der Diffusorwand 48 in einem Abstand von etwa 30 cm. In bestimmten Ausführungsformen weisen die Klemmvorrichtung 50 und das Strahlungs-T-Stück 54 dasselbe Material wie das Hüllrohr 16 für einen leichten Thermoelementeinbau und Schutz auf.

[0032] In einer Ausführungsform hat das Fixierungselement 56 einen mittleren konkaven Abschnitt 62 passend zu einer vorderen Aussenumfangsoberfläche des Strahlungs-T-Stückes 54, und wenigstens eine sich aus dem mittleren konkaven Abschnitt 62 erstreckende Platte 64. In der dargestellten Ausführungsform weist das Fixierungselement 56 ein Paar von Platten 64 auf, die sich seitlich aus dem mittleren konkaven Abschnitt zum Befestigen von zwei FBG-Messkabeln 53 erstrecken. Jede Platte 64 definiert wenigstens ein Montageloch 58 zur Aufnahme des FBG-Messkabels 53 und zur Beschränkung einer abwärts gerichteten Bewegung des FBG-Messkabels 53. In einer Ausführungsform weist jedes Montageloch 58 einen schrägen Schlitz auf, der sich durch einen oberen Rand der Platte 62 erstreckt, um eine leichtere Montage des FBG-Messkabels 53 in dem Montageloch 58 zu ermöglichen. Jedes Befestigungselement 60 weist ein dem Montageloch 58 entsprechendes Montageloch 68 auf. In einer Ausführungsform weist das Montageloch 68 einen schrägen Schlitz auf, der sich durch einen unteren Rand des Befestigungselementes 60 erstreckt, um eine leichtere Montage des FBG-Messkabels 53 in dem Montageloch 68 zu ermöglichen und eine Aufwärtsbewegung des FBG-Messkabels 53 zu begrenzen. In einer Ausführungsform weisen das Fixierungselement 56 bzw. das Befestigungselement 60 Befestigungslöcher 70 zum Zusammenschrauben des Fixierungselementes 56 und des Befestigungselementes 60 auf. In einer Ausführungsform ist das Fixierungselement 56 an dem Strahlungs-T-Stück 54 mittels Gewindelöchern 72 fixiert.

[0033] Gemäss nochmaligem Bezug auf Fig. 6 weist die Gasturbine 46 in einer Ausführungsform ferner eine Steuerung 73 zur Steuerung und Optimierung des Verbrennungsprozesses, beispielsweise zum Einspritzen eines mageren Gemisches aus Brennstoff und Luft in die Gasturbine 46, auf. Eine Temperaturveränderung ist eine sehr wichtige Anzeige für die

Brennprozessdynamik. Demzufolge empfängt die Steuerung 73 einen von dem FBG-Messsystem 44 überwachten Temperaturparameter zur Durchführung der Steuerung. In einer Ausführungsform ist die Gasturbine 46 ursprünglich mit als ein Kreisring in der Innenoberfläche der Umfangswand 48 verteilten Thermoelementen ausgelegt, und die Strahlungs-T-Stücke 54 sind ursprünglich für die Montage von Thermoelementen angeordnet. Das dargestellte FBG-Messkabel 53 nutzt die Strahlungs-T-Stücke 54 zum Montieren des FBG-Messkabels 53, welches die Thermoelemente ersetzt und optional die Dichte der Messpunkte ohne zusätzliche unhandliche elektrische Verdrahtung erhöht. Demzufolge wird die Temperaturmessgenauigkeit verbessert und ermöglicht der Steuerung 73, eine genauere Prozesssteuerung und Optimierung auszuführen. In weiteren Ausführungsformen können die Strahlungs-T-Stücke 54 speziell für die Montage des FBG-Messkabels 53 ausgelegt sein. Die FBG-Messkabel 53 erstrecken sich in einigen Ausführungen entlang dem gesamten Innenumfang des Abgaskanals der Gasturbine 46 und in anderen Ausführungsformen entlang einem Teil des Innenumfangs.

[0034] In der Ausführungsform von Fig. 9 verwendet ein FBG-Messsystem 74 ein FBG-Messkabelpaket 10 oder 34 wie unter Bezugnahme auf die Fig. 1-5 beschrieben. In der dargestellten Ausführungsform von Fig. 9 liegt das FBG-Kabel 75 im Wesentlichen in einer Form eines geraden und starren Stabes («FBG-Messstab 75») vor, und das FBG-Messsystem 74 weist einen Montageabschnitt 76 zum Befestigen des FBG-Messstabes 75 an dem Abgaskanal der Gasturbine 46 auf. Wie dargestellt erstreckt sich der FBG-Messstab 75 durch Löcher 87 in der Diffusorwand 58 in die Gasturbine 76 und im Wesentlichen senkrecht zu der Längsrichtung der Gasströmungsrichtung D der Gasturbine 46. In dieser Ausführungsform kann der FBG-Messstab 75 zum Messen eines radialen Wärmeprofiles der Gasturbine 46 von der Diffusorwand 48 zur zentralen Trommel 49 hin verwendet werden. In der dargestellten Ausführungsform ist der Montageabschnitt 76 an einer Aussenoberfläche der Diffusorwand 48 durch Verschrauben mit Gewindelöchern 88 bzw. 90 in dem Montageabschnitt 86 und der Diffusorwand 48 der Gasturbine 46 befestigt. In einer Ausführungsform ist die Gasturbine 46 ursprünglich mit Löchern 47 in der Diffusorwand 48 für die Montage von Thermoelementen versehen. In einer Ausführungsform definiert die Diffusorwand 48 mehrere in einem Ring angeordnete Löcher 87, und das FBG-Messsystem 84 weist mehrere FBG-Messstäbe 75 auf, die sich durch entsprechende Löcher 87 in die Gasturbine 46 für Messungen eines radialen Wärmeprofiles der Gasturbine 46 erstrecken.

[0035] Gemäss Fig. 10 verwendet ein in einem Abgaskanal der Gasturbine 46 eingesetztes FBG-Messsystem 84 ein FBG-Messkabelpaket 10 oder 34, wie unter Bezugnahme auf die Fig. 1-5 beschrieben, und weist einen Montageabschnitt 86 zum Befestigen des FBG-Messsystems 84 an dem Abgaskanal der Gasturbine 46 auf. In der dargestellten Ausführungsform erstreckt sich ein FBG-Messkabel oder Stab 85 entlang einer Mittenachse der Gasturbine 46 und im Wesentlichen entlang der Gasströmungsrichtung D in der Gasturbine 46. Das FBG-Messsystem 84 kann zum Messen eines axialen Wärmeprofiles der Gasturbine 46 verwendet werden. Der FBG-Messstab 85 kann sich aus der Gasturbine 46 heraus erstrecken, wobei Bragg-Gitter 14 daran entlang verteilt sind, und somit kann ein Wärmeprofil entlang einer Mittenrichtung der Gasturbine 46 vom Innenbereich der Gasturbine 46 bis zum Aussenbereich der Gasturbine 46 erhalten werden. In einer Ausführungsform ist der Montageabschnitt 86 an einer Aussenoberfläche der Brennkammerwand 48 durch Verschrauben mit Gewindelöchern 88 bzw. 90 in dem Montageabschnitt 86 und der Umfangswand 48 der Gasturbine 46 befestigt.

[0036] Gemäss Fig. 11 und 12 verwendet ein in einem Abgaskanal der Gasturbine 46 eingesetztes FBG-Messsystem 92 ein FBG-Messkabelpaket 10 oder 34, wie unter Bezugnahme auf die Fig. 1 - 5 beschrieben, und weist einen Montageabschnitt 94 zum Befestigen des FBG-Messsystems 92 an dem Abgaskanal der Gasturbine 46 auf. In der dargestellten Ausführungsform weist das FBG-Messsystem 92 ein FBG-Messkabel oder Stab 95 auf, der sich entlang einer Mittenachse der Gasturbine 46 und im Wesentlichen entlang der Gasströmungsrichtung D in der Gasturbine 46 erstreckt. Somit kann FBG-Messsystem 92 kann zum Messen eines axialen Wärmeprofiles der Gasturbine 46 verwendet werden. In der dargestellten Ausführungsform weist der FBG-Messstab 95 eine starre Stange 96 auf, die mehrere Durchtrittslöcher 98 in einer Aussenoberfläche der rohrförmigen Wand 100 definiert. Der FBG-Messstab 95 weist wenigstens eine Faser 102 in der Rohrwand 100 auf. In die Faser 102 sind mehrere Bragg-Gitter 14 eingeschrieben, und jedes Bragg-Gitter ist in einem entsprechenden Durchtrittsloch 98 in der Rohrwand 100 angeordnet. Demzufolge sind die Bragg-Gitter 14 gegen eine Temperaturänderung des Abgases der Gasturbine 46 empfindlicher und es kann ein schnelles Ansprechen auf die Temperatur erzielt werden. In einer Ausführungsform sind die Durchtrittslöcher 98 in dem Stab 96 ursprünglich für die Befestigung von TCs vorgesehen. In bestimmten Ausführungsformen ist die Faser 102 an der Aussenoberfläche des Stabs 96 befestigt. In einer Ausführungsform beinhaltet ein Verfahren zum Befestigen der Faser 102 an der Aussenoberfläche des Stabes 96 zuerst das Schneiden eines Schlitzes in die Aussenoberfläche des Stabs 96, das Einführen der Faser 102 in ein Metallhüllrohr, um ein Fasermessrohr auszubilden, und dann das Befestigen des Fasermessrohres an der Aussenoberfläche der Metallstange, das Platzieren des Fasermessrohres in den Schlitz mit den Bragg-Gittern in den entsprechenden Durchtrittslöchern 98; und dann das Einbetten des Fasermessrohres in die Aussenoberfläche der Stange 96 durch Einfüllen von Klebematerial in die Schlitz.

[0037] Obwohl die Erfindung unter Bezugnahme auf exemplarische Ausführungsformen beschrieben wurde, dürfte es sich für den Fachmann auf diesem Gebiet verstehen, dass verschiedene Änderungen durchgeführt werden können und Äquivalente deren Elemente ohne Abweichung von dem Schutzzumfang der Offenlegung ersetzen können. Zusätzlich können viele Modifikationen vorgenommen werden, um eine spezielle Situation oder Material an die Lehren der Offenlegung ohne Abweichung von deren wesentlichem Schutzzumfang anzupassen. Daher soll diese Erfindung nicht auf die als beste Ausführungsart für die Ausführung dieser Erfindung betrachtete spezielle Ausführungsform beschränkt sein, sondern soll alle Ausführungsformen beinhalten, die in den Schutzzumfang der beigefügten Ansprüche fallen.

[0038] Es dürfte sich verstehen, dass nicht notwendigerweise alle derartigen vorstehend beschriebenen Aufgaben oder Vorteile mit irgendeiner speziellen Ausführungsform erreicht werden können. Somit wird der Fachmann auf diesem Gebiet erkennen, dass die hierin beschriebenen Systeme und Techniken in einer Weise verkörpert und ausgeführt werden können, die einen Vorteil oder eine Gruppe von Vorteilen, wie hierin gelehrt, erzielt, ohne notwendigerweise andere Aufgaben oder Vorteile, wie sie hierin gelehrt oder vorgeschlagen werden, zu erzielen.

[0039] Ferner wird der Fachmann die Austauschbarkeit von verschiedenen Merkmalen aus verschiedenen Ausführungsformen erkennen. Die verschiedenen beschriebenen Merkmale sowie weitere bekannte Äquivalente für jedes Merkmal können von einem Fachmann auf diesem Gebiet kombiniert und angepasst werden, um zusätzliche Systeme und Techniken gemäss Prinzipien dieser Offenlegung aufzubauen.

[0040] Ein Faser-Bragg-Gitter-Mehrpunkte-Temperaturmesssystem 44 weist ein Fasermesskabelpaket 52 und mehrere entlang einer Innenoberfläche einer Wand in Umfangsrichtung verteilte Klemmvorrichtungen 50 zum Befestigen des Fasermesskabelpakets auf. Das Fasermesskabelpaket weist ein auf einem Faser-Bragg-Gitter basierendes Messkabel 53 auf, das wenigstens eine optische Faser 12, mehrere in die optische Faser eingeschriebene Bragg-Gitter 14 und eine Gewebelage 18 und ein die optische Faser umgebendes Hüllrohr 16 aufweist. Das Mehrpunkte-Fasermesssystem weist eine Lichtquelle zum Übertragen von Licht an die Bragg-Gitter und ein reflektiertes Licht empfangendes Detektormodul auf. Jede Klemmvorrichtung weist wenigstens ein Strahlungs-T-Stück 54 auf und definiert wenigstens ein Montageloch 58 zum Befestigen des Fasermesskabels.

Bezugszeichenliste

[0041]

10	FBG-Messpaket
11	FBG-Kabel
12	Optische Faser
14	Bragg-Gitter
16	Metallrohr
18	Gewebelage
20	Faserkern
22	Polymerbeschichtung
23	Mantel
24	Verstärkungselement
25	Kern des Verstärkungselementes
27	Metalllage des Verstärkungselementes
26	Gewebte Umhüllung
28	Lichtquelle
30	Detektormodul
32	Optischer Koppler
34	FBG-Messpaket
36, 38	zweite und dritte optische Faser
40, 42	Wellenlängenspektrum
44	FBG-Messsystem
46	Gasturbine
48	Diffusorwand des Brenners
49	Mittentrommel

50	Klemmvorrichtung
52	FBG-Messpaket
53	FBG-Kabel
54	Befestigungspfosten
56	Fixierungselement
58	Montagelöcher
60	Befestigungselement
62	mittlerer konkaver Abschnitt
64	Platten
68	Montagelöcher
70	Befestigungslöcher
72	Löcher
73	Steuerung
74	FBG-Messsystem
75	FBG-Messkabel oder Stab
76	Befestigungsabschnitt
84	FBG-Messsystem
85	FBG-Messkabel oder Stab
86	Befestigungsabschnitt
88, 90	Gewindeloch
92	FBG-Messsystem
94	Befestigungsabschnitt
95	FBG-Messkabel oder Stab

Patentansprüche

1. Faser-Bragg-Gitter-Mehrpunkte-Temperaturmesssystem (44), aufweisend:
ein Fasermesskabelpaket (52), mit:
einem auf einem Faser-Bragg-Gitter basierenden Temperaturmesskabel (53) mit wenigstens einer optischen Faser (12), mehreren in die optische Faser eingeschriebenen Bragg-Gittern (14), einer die optische Faser umgebenden Gewebelage (18) und einem die optische Faser umgebenden Hüllrohr (16);
einer Lichtquelle zum Übertragen von Licht an die Bragg-Gitter; und
einem Detektormodul zum Empfangen von aus den Bragg-Gittern reflektiertem Licht; und
mehrere Klemmvorrichtungen (50), die entlang einer Innenoberfläche einer Wand in einer Umfangsrichtung verteilt sind, wobei jede Klemmvorrichtung ein Strahlungs-T-Stück (54) aufweist und wenigstens ein Montageloch (58) zum Befestigen des Fasermesskabels definiert.
2. Faser-Bragg-Gitter-Mehrpunkte-Temperaturmesssystem nach Anspruch 1, wobei jede Klemmvorrichtung ein an dem Strahlungs-T-Stück befestigtes Fixierungselement und wenigstens ein Montageloch für die Aufnahme des auf einem Faser-Bragg-Gitter basierenden Temperaturmesskabels definierendes Fixierungselement und ein zusammen mit dem Fixierungselement lösbar befestigendes Befestigungselement zum Befestigen des auf einem Faser-Bragg-Gitter basierenden Temperaturmesskabel aufweist.
3. Faser-Bragg-Gitter-Mehrpunkte-Temperaturmesssystem nach Anspruch 1, wobei jedes Befestigungselement ein dem Montageloch in dem Fixierungselement entsprechendes Montageloch zur Aufnahme des auf einem Faser-Bragg-Gitter basierenden Temperaturmesskabels definiert.

4. Faser-Bragg-Gitter-Mehrpunkte-Temperaturmesssystem nach Anspruch 3, wobei das Montageloch in dem Fixierungselement einen sich durch einen oberen Rand des Fixierungselementes erstreckenden Schlitz aufweist, und wobei das Montageloch in dem Befestigungselement einen sich durch einen unteren Rand des Fixierungselementes erstreckenden Schlitz aufweist.
5. Faser-Mehrpunkte-Temperaturmesskabelpaket, aufweisend:
eine optische Faser mit einem Faserkern und einem Mantel und einer den Fasermantel umgebenden Beschichtungslage;
mehrere in den Faserkern eingeschriebene Bragg-Gitter;
eine den Fasermantel umgebende Gewebelage, wobei die Gewebelage einen Wärmeausdehnungskoeffizienten aufweist, der mit dem Wärmeausdehnungskoeffizienten des Fasermaterials kompatibel ist;
ein die Gewebelage umgebendes Hüllrohr;
eine Lichtquelle zum Übertragen von Licht an die Bragg-Gitter; und
ein Detektormodul zur Aufnahme von den Bragg-Gittern reflektiertem Licht.
6. Faser-Temperaturmesskabelpaket nach Anspruch 5, wobei die Gewebelage eine Umhüllung aus Siliziumdioxid oder Silikatmaterial aufweist.
7. Faser- Temperaturmesskabelpaket nach Anspruch 5, wobei die Faserumhüllungs-Gewelage wenigstens 80 Gewichtsprozent Siliziumdioxid oder Silikat aufweist.
8. Faser-Temperaturmesskabelpaket nach Anspruch 6, welches ferner ein in der Gewebelage eingeschlossenes Verstärkungselement aufweist.
9. Faser- Temperaturmesskabelpaket nach Anspruch 8, wobei das Verstärkungselement eine oder mehrere Multimode-Fasern aufweist.
10. Faser- Temperaturmesskabelpaket nach Anspruch 5, das wenigstens zwei optische Fasern mit mehreren in den Faserkernen eingeschriebenen Bragg-Gittern aufweist.

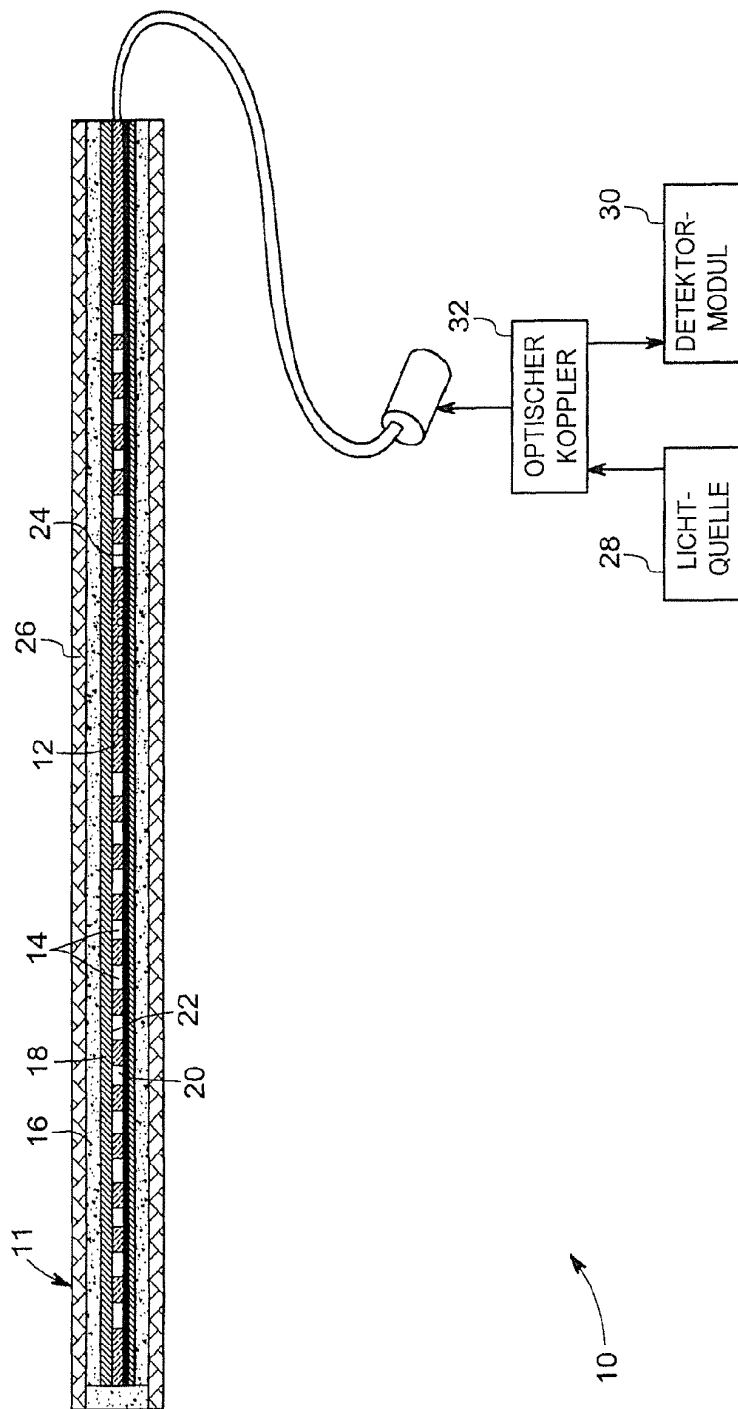


FIG. 1

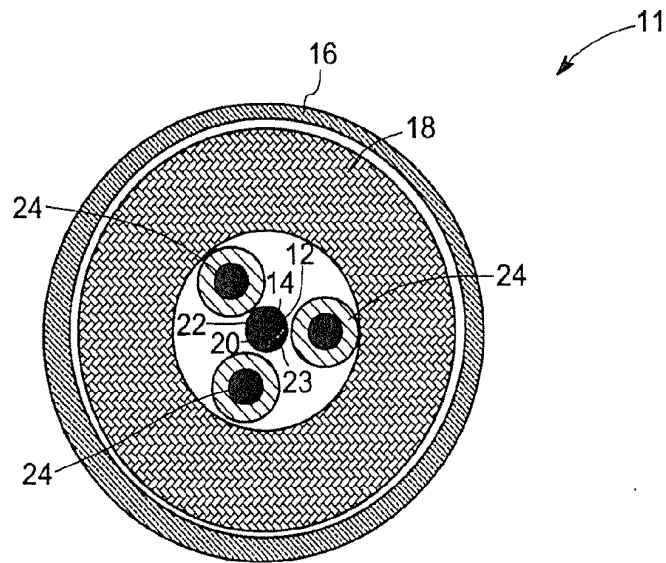


FIG. 2

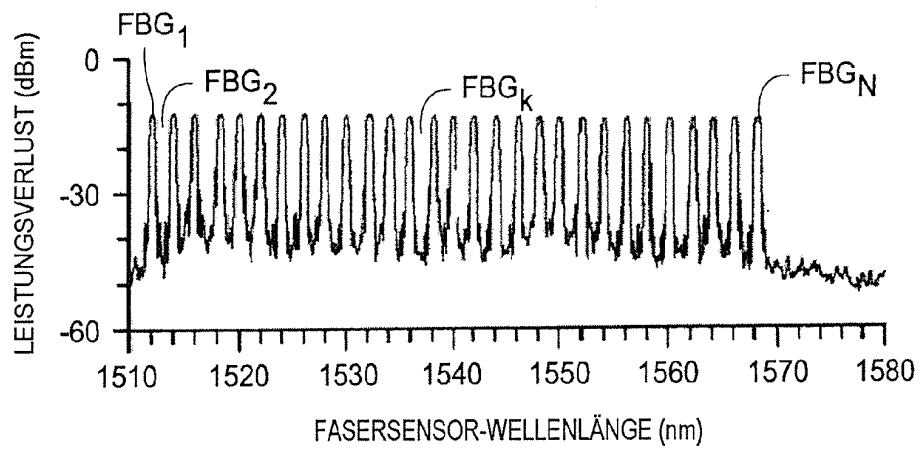


FIG. 3

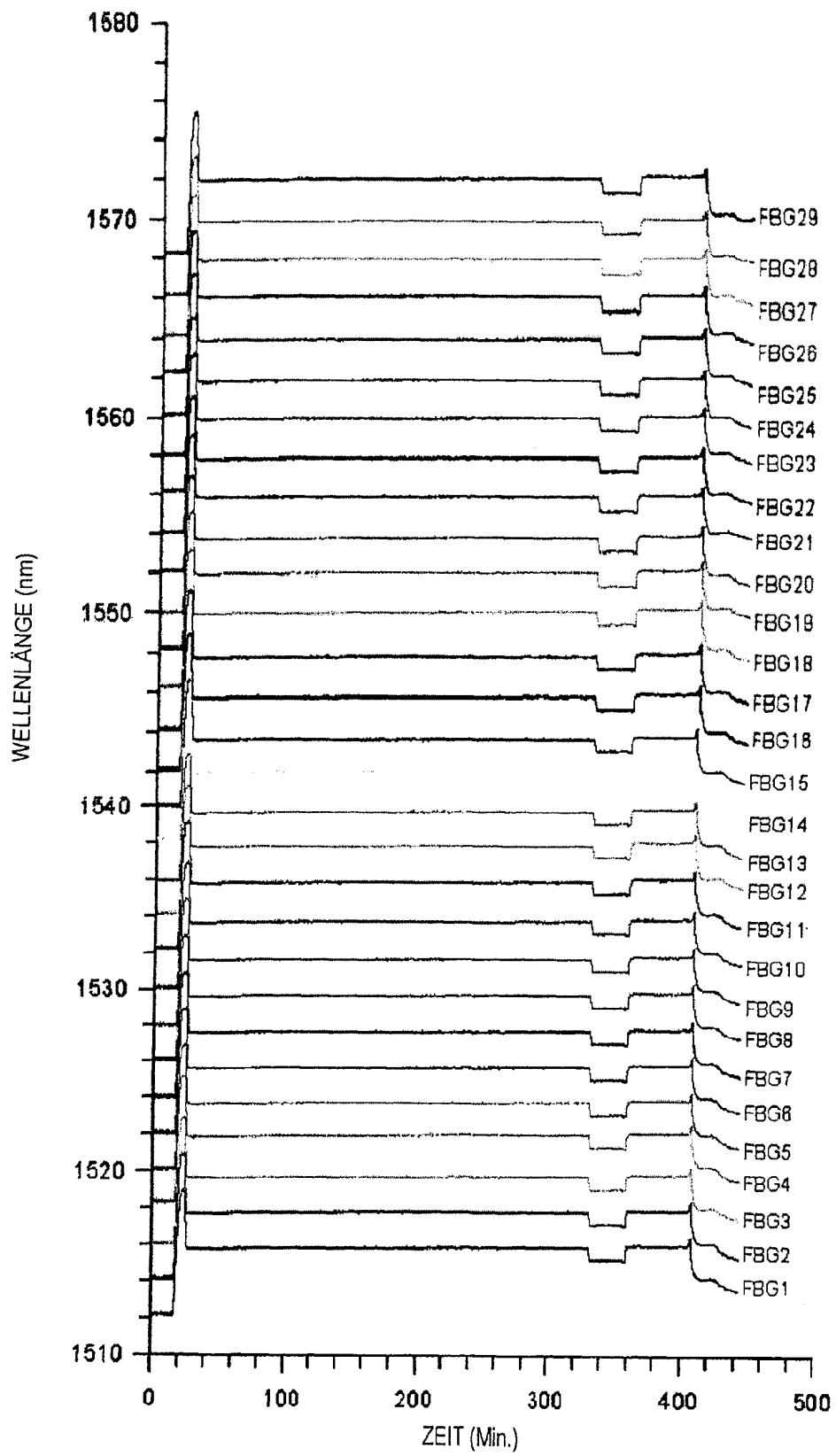


FIG. 4

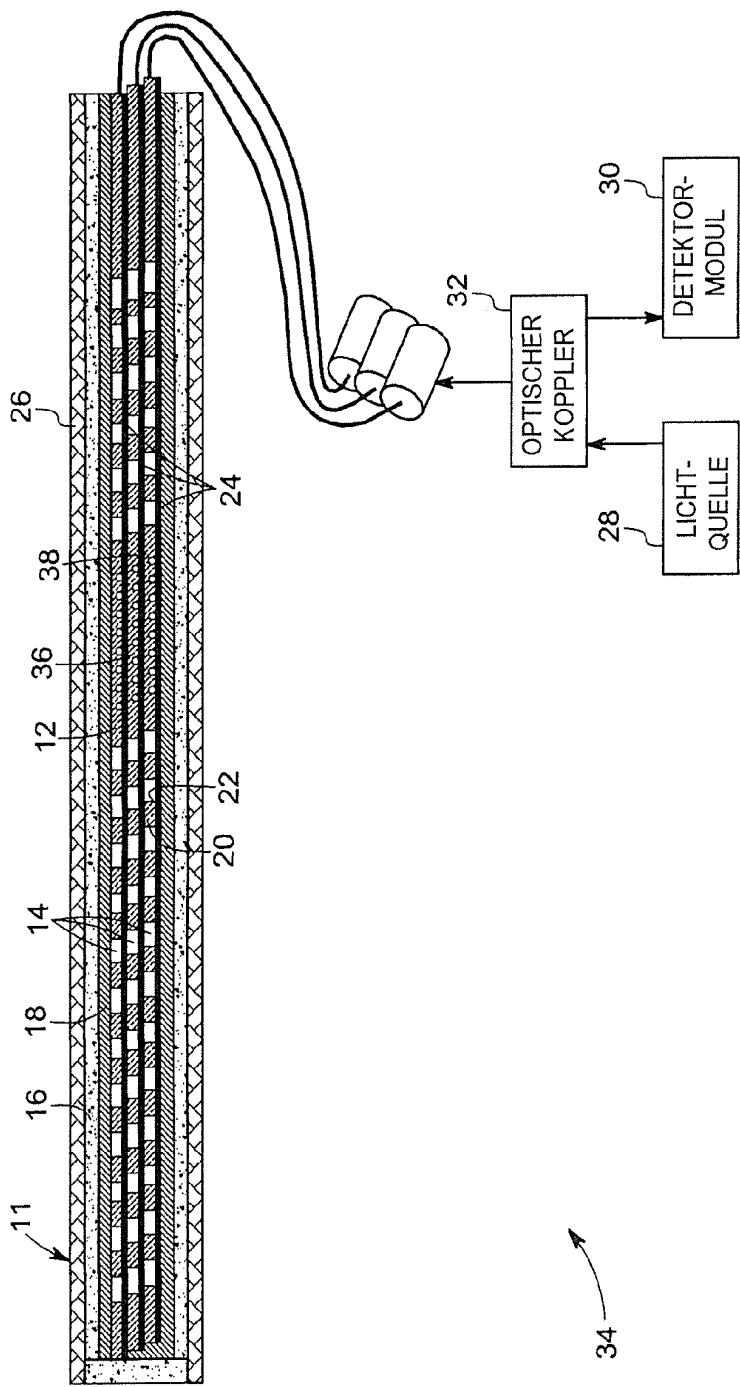


FIG. 5

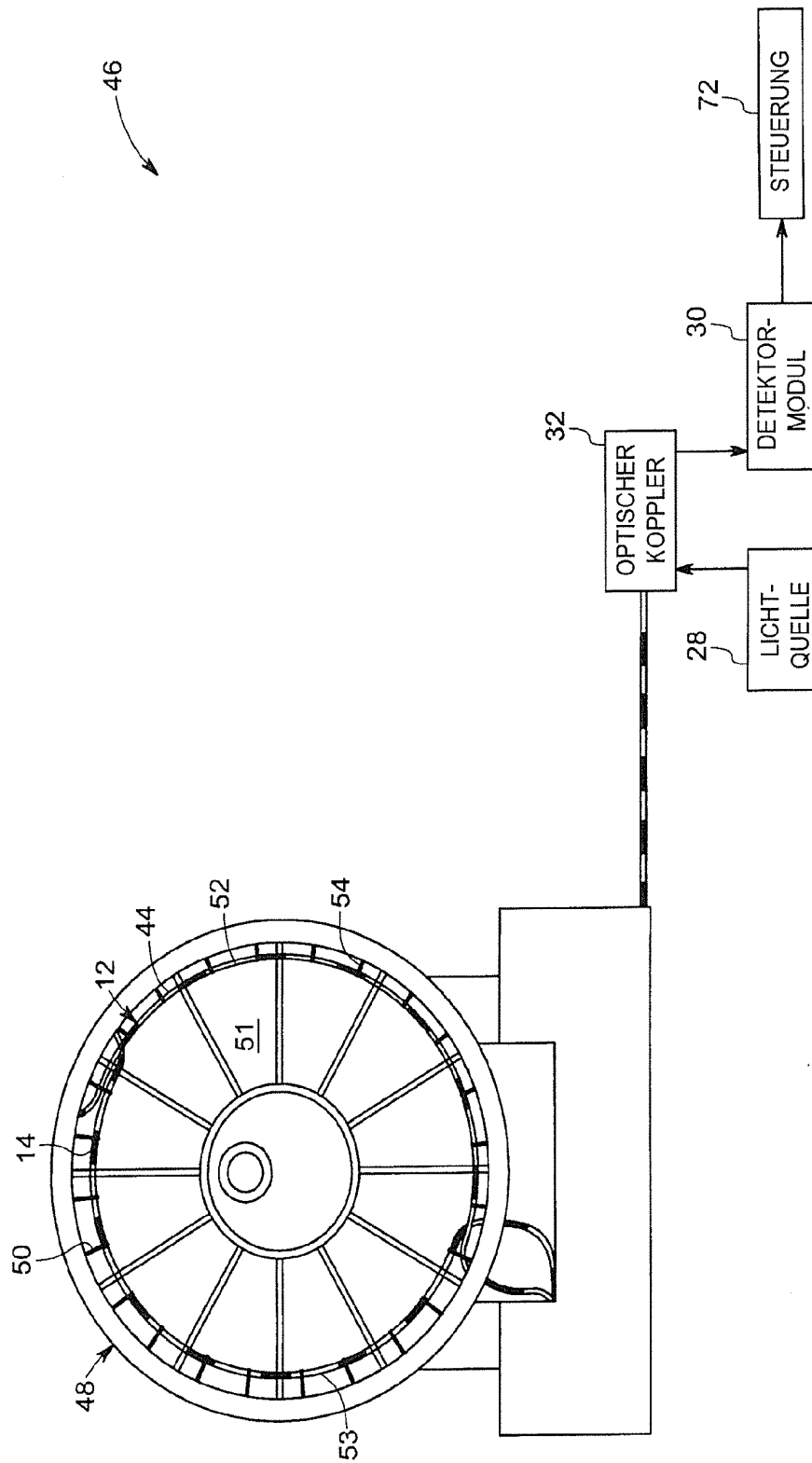


FIG. 6

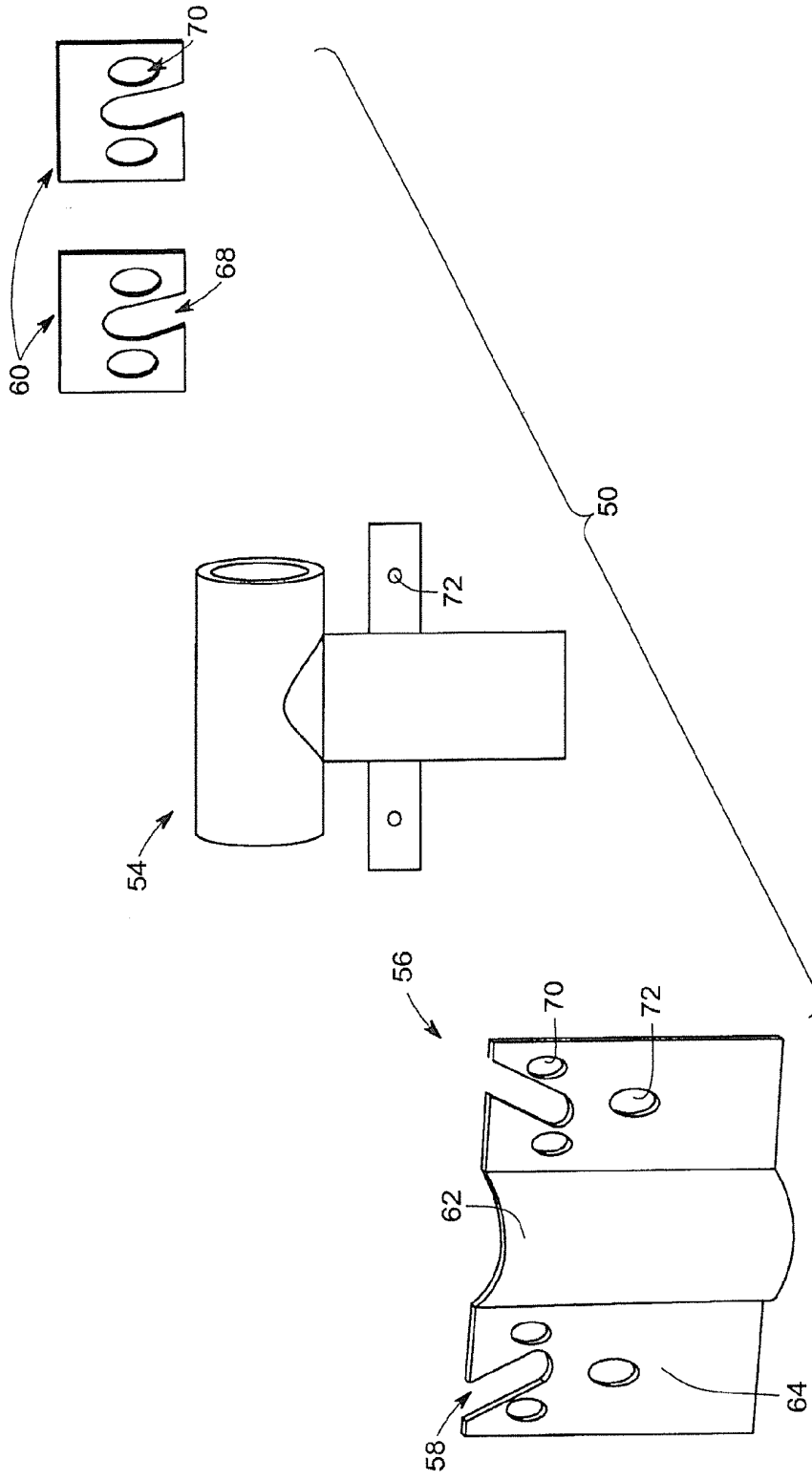


FIG. 7

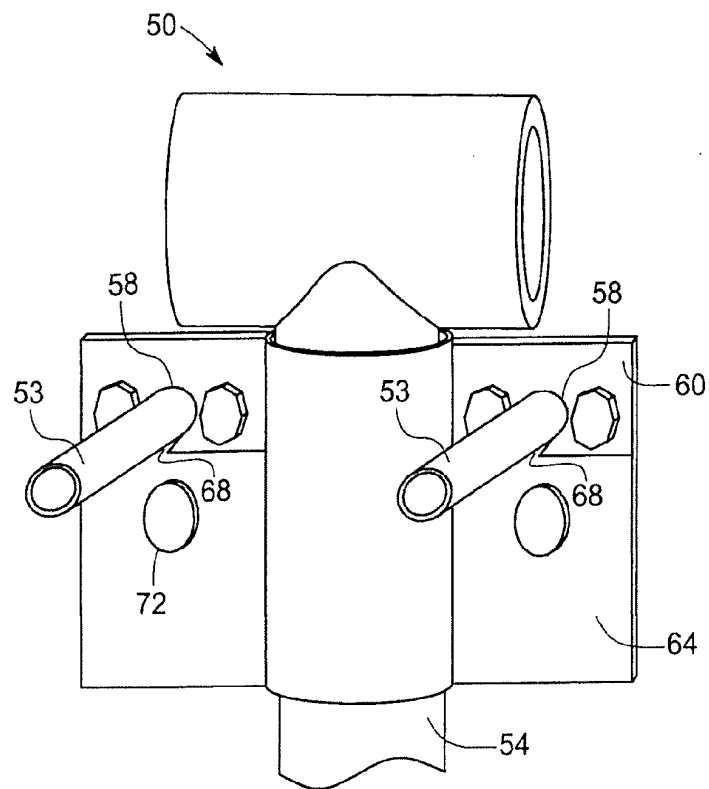


FIG. 8

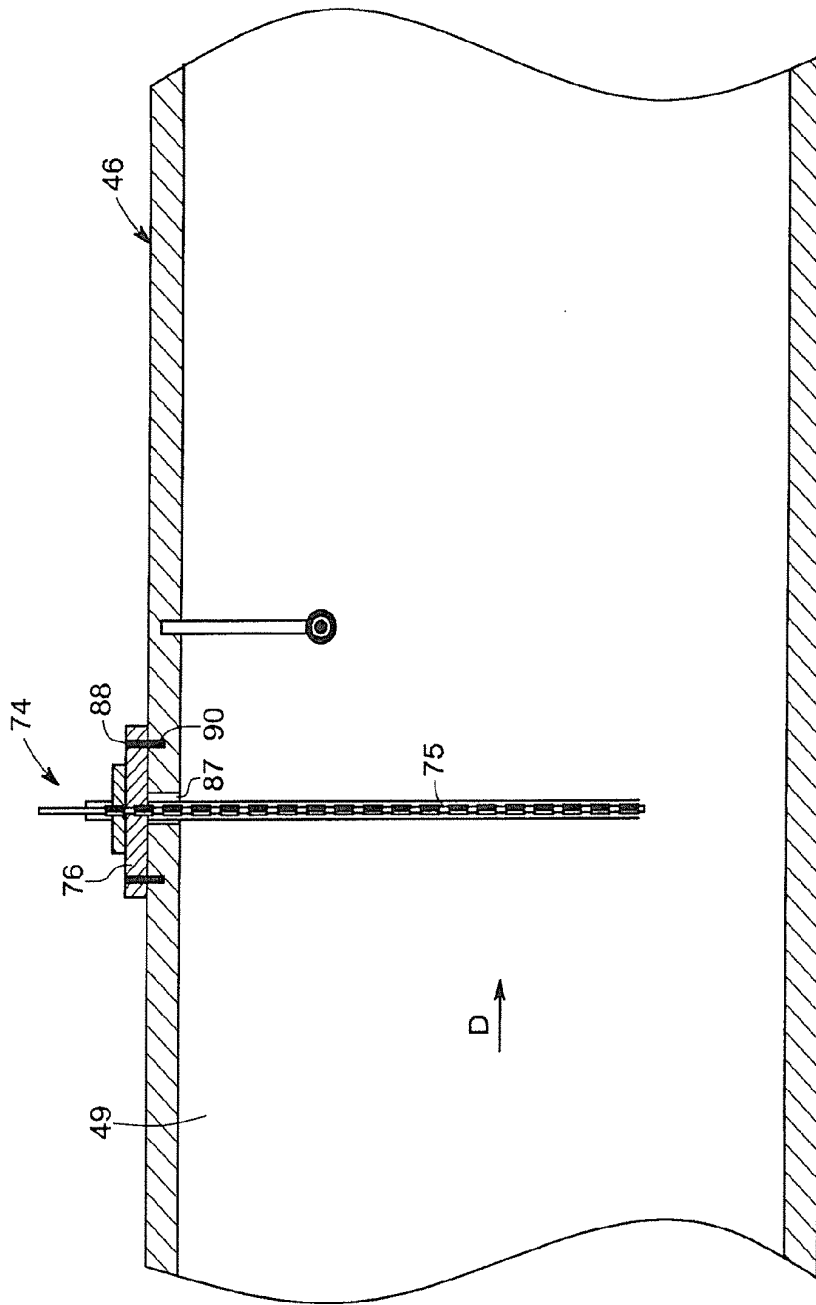


FIG. 9

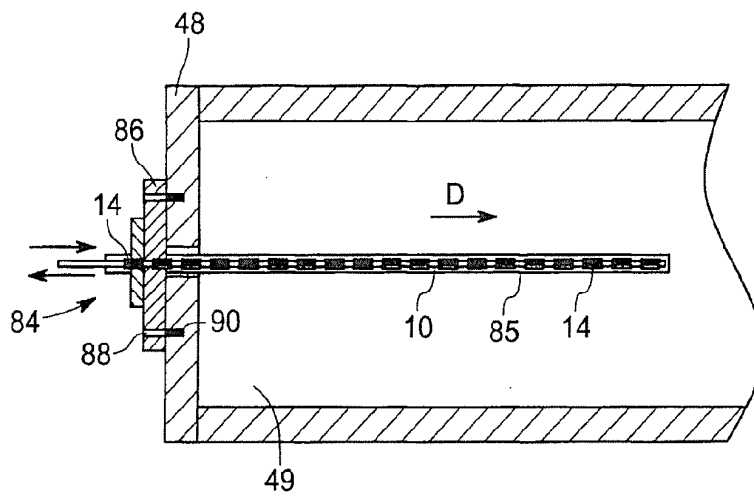


FIG. 10

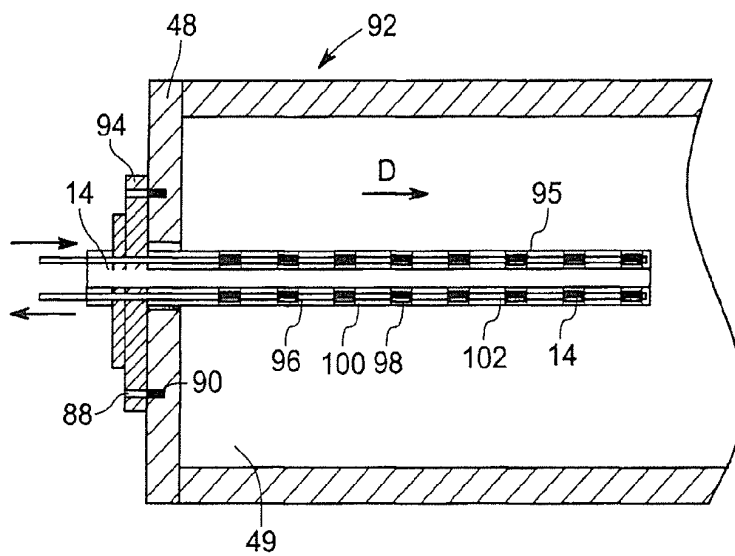


FIG. 11

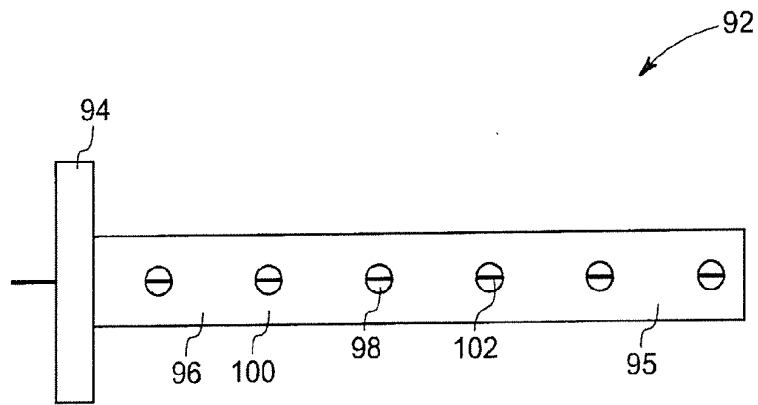


FIG. 12