

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
21. Februar 2002 (21.02.2002)

PCT

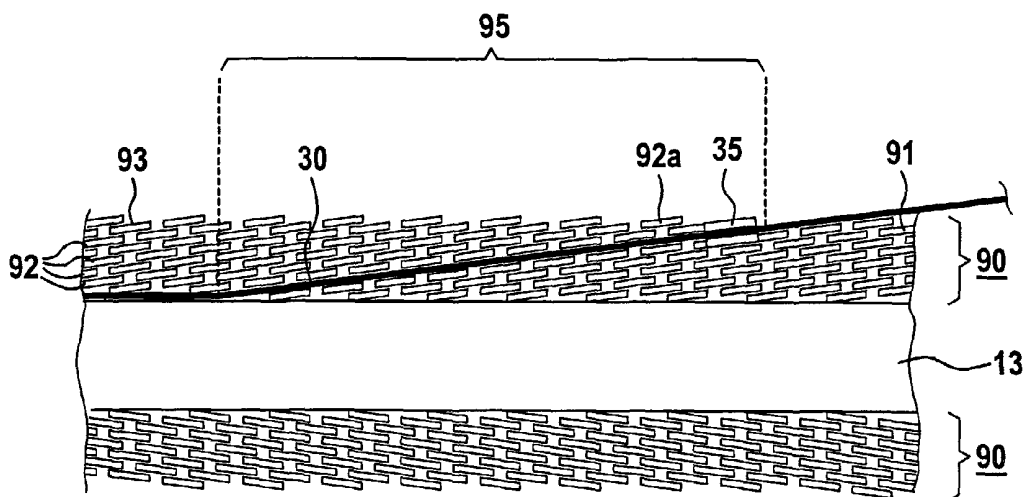
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 02/15200 A2**

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **H01B** (72) Erfinder; und  
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE01/03006 (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **BOSELMANN, Thomas** [DE/DE]; Ringstr. 30a, 91080 Marloffstein (DE).  
(22) Internationales Anmeldedatum: 6. August 2001 (06.08.2001) **THEUNE, Nils, Michael** [DE/DE]; Paul-Gossen-Str. 93, 91052 Erlangen (DE).  
(25) Einreichungssprache: Deutsch (74) Gemeinsamer Vertreter: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).  
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch  
(30) Angaben zur Priorität: 100 39 958.4 16. August 2000 (16.08.2000) DE (81) Bestimmungsstaaten (national): BR, CN, IN, JP, US.  
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT** [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE). (84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: WINDING ARRANGEMENT WITH A WINDING BODY AND AN OPTICAL WAVE GUIDE INTRODUCED THEREIN OR THERETHROUGH

(54) Bezeichnung: WICKELANORDNUNG MIT EINEM WICKELKÖRPER UND DURCH- ODER EINGEFÜHRTEM LICHTWELLENLEITER



200

(57) Abstract: The winding arrangement contains a multilayered winding body (91) consisting of a plurality of windings associated with a winding band (93) and an optical wave guide (30) which passes through the winding body (91) or is introduced into the winding body (91). The optical wave guide (30) is wound into the winding body (91) in the area (95) where it passes through or is introduced therein and comprises, at least in said area, a light guiding fiber (32) and a protective layer (33) applied thereto. The protective layer consists either entirely or partially of a layer of protective material having a maximum elasticity module of 2.5 Gpa.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 02/15200 A2



**Veröffentlicht:**

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

---

**(57) Zusammenfassung:** Die Wickelanordnung enthält einen mehrschichtigen Wickelkörper (91) aus einer Vielzahl von Windungen eines Wickelbandes (93) und einen durch den Wickelkörper (91) hindurchgeführten oder in den Wickelkörper (91) hineingeführten Lichtwellenleiter (30). Der Lichtwellenleiter (30) ist im Durch- oder Einführungsbereich (95) in den Wickelkörper (91) eingewickelt und setzt sich zumindest in diesem Bereich (95) aus einer lichtführenden Faser (32) und einer darauf aufgetragenen Schutzschicht (33) zusammen. Letztere besteht vollkommen oder teilweise aus einem Schutzschichtmaterial mit einem Elastizitätsmodul von höchstens 2,5 GPa.

## Beschreibung

Wickelanordnung mit einem Wickelkörper und durch- oder eingeführtem Lichtwellenleiter

5

Die Erfindung betrifft eine Wickelanordnung mit mindestens einem mehrschichtigen Wickelkörper aus einer Vielzahl von Windungen mindestens eines Wickelbandes und einem durch den Wickelkörper hindurchgeführten oder in den Wickelkörper

10 hineingeführten Lichtwellenleiter.

Eine solche Wickelanordnung kann beispielsweise in einem optisch überwachten elektrischen Gerät im Bereich der elektrischen Energieerzeugung und -verteilung zum Einsatz kommen.

15

Das elektrische Gerät kann dabei als elektrischer Generator oder auch als elektrischer Transformator ausgebildet sein.

Ein solches elektrisches Gerät stellt ein sehr teures und langlebiges Investitionsgut dar. Sein Ausfall ist gegebenenfalls mit sehr hohen Kosten verbunden. Deshalb wird zunehmend

20

der Einsatz von einem Diagnosesystem, das insbesondere auch eine optische Messeinrichtung umfassen kann, zur frühzeitigen Erkennung von Defekten, wie beispielsweise einer Überhitzung oder einem elektrischen Überschlag, erwogen. Der konstruktive

25

Aufbau eines in der elektrischen Energieerzeugung eingesetzten Geräts ist derzeit bereits in vielfältiger Hinsicht optimiert. Insbesondere ist mittlerweile eine sehr kompakte Bauweise erreicht, bei der zumindest im aktiven Teil des elektrischen Geräts ein Sensor mit einem größeren Platzbedarf

nicht ohne aufwendige Umkonstruktion des elektrischen Geräts

30

unterzubringen ist. Außerdem liegt oftmals zwischen verschiedenen Teilen eines solchen Betriebsmittels eine hohe Potentialdifferenz, die Werte von bis zu einigen 10 kV annehmen kann. Deshalb ist ein elektrischer Sensor in einem solchen elektrischen Gerät oftmals nicht einsetzbar. Weit besser

35

eignet sich dagegen ein optischer Sensor, insbesondere ein faseroptischer Sensor. Letzterer weist nämlich eine sehr geringe Baugröße auf. Außerdem kann dank der dielektrischen

Zuleitung in Form eines Lichtwellenleiters auch eine hohe Potenzialdifferenz problemlos überbrückt werden.

Auf Grund dieser Vorteile ist eine optische Messeinrichtung zur Überwachung eines in der elektrischen Energieerzeugung und -verteilung eingesetzten elektrischen Geräts bereits des Öfteren beschrieben worden. So offenbart der Übersichtsartikel „*Fiber Sensors for Industrial Applications*“ von M. Lequime, 12<sup>th</sup> International Conference on Optical Fiber Sensors, 28.-31.10.1997, pp. 66-71, eine optische Messeinrichtung für einen elektrischen Generator. Über einen optischen Sensor wird bei dieser Messeinrichtung das Vibrationspektrum sowie die Temperatur des zur Kühlung eines elektrischen Leiters verwendeten Kühlmittels erfasst.

Auch in dem Fachaufsatz „*A Temperature Optical Fiber Sensor Network: From Laboratory Feasibility to Field Trial*“ von H. Fevrier et al., 8<sup>th</sup> Optical Fiber Sensors Conference, 29.-31.01.1992, pp. 262-265, wird eine optische Messeinrichtung beschrieben. Hier dient ein faseroptisches Sensornetzwerk zur quasi verteilten Temperaturerfassung in einem 250 MW-Generator.

Eine andere optische Messeinrichtung zur Temperaturerfassung in einem 900 MW-Turbogenerator ist aus dem Fachaufsatz „*Industrial Prototype of a Fiber-Optic Sensor Network for the Thermal Monitoring of the Turbogenerator of a Nuclear Power Plant - Design, Qualification, and Settlement*“ von C. Meunier et al. in *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 13, No. 7, July 1995, pp. 1354-1361, bekannt. Die optischen Temperatursensoren sind bei dieser Messeinrichtung auf ein Wasseranschlusselement geklebt, das sich im Austrittsbereich der Kühlmittelleitung aus einem elektrischen Leiter befindet.

Bei diesen bekannten optischen Messeinrichtungen wird jeweils nur eine indirekte Messgrößenerfassung vorgenommen, oder es fehlen konkrete Angaben darüber, wie der zuführende Licht-

wellenleiter an einen zu überwachenden elektrischen Leiter herangeführt wird und der optische Sensor dort angebracht wird. Da die Leiter eines derartigen elektrischen Geräts im Betrieb oftmals einen sehr hohen elektrischen Strom, der Werte bis in den kA-Bereich annehmen kann, führen, ist die Leiter-Temperatur eine wichtige Messgröße für die Geräte-  
5 diagnose. Um ein möglichst genaues Messergebnis zu erhalten, ist es günstig, den optischen Sensor und damit auch den zuführenden Lichtwellenleiter möglichst nahe am stromführenden  
10 Leiter zu positionieren. Da der elektrische Leiter aus Isolationsgründen oft von einer elektrischen Isolierung in Form eines Wickelkörpers umgeben ist, führt die Maßgabe einer möglichst direkten Messgrößenerfassung dazu, dass der optische Sensor und auch der sensornahe Teil des zuführenden  
15 Lichtwellenleiters im Inneren des Wickelkörpers, genauer gesagt zwischen dem elektrischen Leiter und dem Wickelkörper, angeordnet sind. Bei den bekannten optischen Messeinrichtungen besteht dieses Erfordernis dagegen aufgrund der nur indirekten Messgrößenerfassung nicht. Ein möglichst unmittelbarer Kontakt zwischen dem elektrischen Leiter und dem sensornahen Teil des Lichtwellenleiters ist hier prinzipiell  
20 nicht vorgesehen.

In der *EP 0 753 130 B1* wird ein in eine mehrschichtige Verbundstruktur eingebetteter Lichtwellenleiter beschrieben.  
25 Eine zu detektierende Kraft wird durch die offenbarte spezielle Verbundstruktur auf den faseroptischen Sensor übertragen. Über die Art und Weise der Lichtwellenleiterführung aus der Verbundstruktur liefert die *EP 0 753 130 B1* keinen  
30 genauen Aufschluss.

Mit der *WO 95/13994 A1* werden eine Reihe von Lichtwellenleitertypen offenbart, die eine Schutzschicht in verschiedener Ausführungsform aufweisen. Eine besondere Eignung der  
35 einzelnen Lichtwellenleitertypen für einen Einsatz in einer der vorstehend beschriebenen Messeinrichtungen wird nicht angegeben.

Die Aufgabe der Erfindung besteht deshalb darin, eine Wickelanordnung mit mindestens einem mehrschichtigen Wickelkörper aus einer Vielzahl von Windungen mindestens eines Wickelbandes und einem durch den Wickelkörper hindurchgeführten oder in den Wickelkörper hineingeführten Lichtwellenleiter anzugeben, mit der eine Führung des Lichtwellenleiters durch den Wickelkörper möglich ist.

10 Zur Lösung der Aufgabe wird eine Wickelanordnung entsprechend den Merkmalen des Patentanspruchs 1 angegeben.

Die erfindungsgemäße Wickelanordnung umfasst mindestens

- 15 a) einen mehrschichtigen Wickelkörper aus einer Vielzahl von Windungen mindestens eines Wickelbandes,
- b) einen durch den Wickelkörper hindurchgeführten oder in den Wickelkörper hineingeführten Lichtwellenleiter, wobei der Lichtwellenleiter
- 20 c) im Durch- oder Einführungsbereich in den Wickelkörper eingewickelt ist und
- d) sich zumindest im Durch- oder Einführungsbereich aus einer lichtführenden Faser und einer darauf aufgebracht
- 25 ein solches Schutzschichtmaterial enthält, zusammensetzt.

Die Erfindung beruht dabei auf der Erkenntnis, dass es trotz der insbesondere bei der Herstellung des Wickelkörpers gegebenenfalls auftretenden hohen mechanischen Belastungen des Lichtwellenleiters günstig ist, den Lichtwellenleiter direkt in den Wickelkörper einzuwickeln. Der Lichtwellenleiter verläuft also insbesondere im Durch- oder Einführungsbereich ohne eine gesonderte sich über die gesamte Länge dieses Bereichs erstreckende mechanische Schutzhülse. Gerade bei einer Anwendung in einem Gerät der elektrischen Energieerzeugung und -verteilung, bei der der Wickelkörper zur Isolation einer hohen elektrischen Spannung dient, kann eine solche geson-

derte Schutzhülse nämlich Ausgangspunkt eines elektrischen Überschlags sein. Es wurde erkannt, dass ein Überschlag bei einer direkten Verlegung des Lichtwellenleiters innerhalb des Wickelkörpers vermieden werden kann.

5

Zum Schutz gegen die innerhalb des Wickelkörpers auftretende mechanische Belastung wird ein Lichtwellenleiter eingesetzt, bei dem zumindest im Durch- oder Einführungsbereich die lichtführende Faser nicht von einer ansonsten üblichen Acrylat-Schutzschicht, sondern von einer anderen mechanisch und/oder thermisch stabileren Schutzschicht umgeben ist. Diese Schutzschicht stellt für die lichtführende Faser dann insbesondere eine Armierung dar. Das normalerweise als Schutzschichtmaterial verwendete spröde Acrylat, für das auch die Kurzbezeichnung PMMA gebräuchlich ist, bietet nämlich keinen ausreichenden mechanischen Schutz vor der innerhalb des Wickelkörpers auftretenden mechanischen Belastung. Das spröde mechanische Verhalten von Acrylat wird auch durch einen Elastizitätsmodul (= E-Modul) von etwa 3,3 GPa dokumentiert. Das stattdessen eingesetzte Schutzschichtmaterial mit einem E-Modul von höchstens 2,5 GPa schützt den Lichtwellenleiter dagegen sehr gut vor den im Wickelkörper auftretenden mechanischen Kräften. Es verhindert damit eine Zerstörung des Lichtwellenleiters. Die Schutzschicht kann dabei vollkommen oder auch nur teilweise aus diesem vorteilhaften Schutzschichtmaterial bestehen.

15  
20  
25

Besondere Ausgestaltungen der Wickelanordnung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

30

Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist der Lichtwellenleiter beim Durchtritt durch die äußerste Wicklungsschicht innerhalb einer zusätzlichen Schutztülle geführt. Diese zusätzliche Schutztülle ist nur sehr kurz und verhindert ein Abknicken des Lichtwellenleiters beim Austritt aus dem Wickelkörper. Dadurch wird der mechanische Schutz des Lichtwellenleiters erhöht. Eine Schutztülle, die nur in der äußer-

35

sten Wicklungsschicht vorgesehen ist, führt auch nicht zu einer erhöhten Durchschlagsneigung.

5 Günstig ist es, wenn das Schutzschichtmaterial einen Elastizitätsmodul von höchstens 1,5 GPa aufweist. Die mechanische Schutzwirkung wird dadurch weiter erhöht.

10 Bei einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung enthält das Schutzschichtmaterial kein Lösungsmittel. Ein lösungsmittelfreies Schutzschichtmaterial bewirkt eine sehr hohe thermische Stabilität des Lichtwellenleiters. Der Lichtwellenleiter kann dann in einem weiten Temperaturbereich eingesetzt werden. Insbesondere ist eine minimale Einsatztemperatur von unter  $-50^{\circ}\text{C}$ , vorzugsweise sogar von unter  $-100^{\circ}\text{C}$  möglich.  
15 Ebenso ist eine maximale Einsatztemperatur von über  $+120^{\circ}\text{C}$ , vorzugsweise sogar von über  $+200^{\circ}\text{C}$  möglich. Demgegenüber ist das Acrylat nur für einen Temperaturbereich zwischen  $-40^{\circ}\text{C}$  und  $+85^{\circ}\text{C}$  spezifiziert.

20 Darüber hinaus gibt es auch eine Ausführungsform, bei der das Schutzschichtmaterial einen anorganischen Feststoffanteil aufweist. Der anorganische Feststoffanteil verbessert sowohl die mechanische als auch die thermische Stabilität. Günstig ist insbesondere ein anorganischer Feststoffanteil in dem  
25 Schutzschichtmaterial von mindestens 50 %. Die zulässige maximale Einsatztemperatur steigt nämlich mit dem anorganischen Feststoffanteil.

Das Schutzschichtmaterial besteht vorzugsweise aus Ormocer  
30 (Organic Modified Ceramics), das insbesondere lösungsmittelfrei ist. Ormocer ist ein Kompositmaterial, das sich aus organischen und anorganischen Bestandteilen zusammensetzt. Je nach Anteil des anorganischen Feststoffs, der als Keramik ausgebildet ist, kann der Elastizitätsmodul und auch der zu-  
35 lässige Temperaturbereich eingestellt werden. Bei Ormocer, das als Schutzschichtmaterial eines Lichtwellenleiters verwendet wird, liegt der Elastizitätsmodul insbesondere zwi-

schen 0,02 GPa und 1,5 GPa. Ein typischer Wert ist 0,2 GPa. Damit hat Ormocer verglichen mit dem Standardmaterial Acrylat eine deutlich höhere mechanische Schutzwirkung für die umschlossene lichtführende Faser. Folglich ist ein Lichtwellenleiter aus einer derart beschichteten optischen Faser auch in einer rauen Umgebung, wie z. B. in einem elektrischen Generator oder einem elektrischen Transformator einsetzbar.

Günstig ist eine Variante, bei der die Schutzschicht aus zwei Lagen besteht. Dadurch kann die Schutzschicht sowohl hinsichtlich der Anforderung an die Haftung auf der lichtführenden Faser als auch hinsichtlich der Anforderung an die mechanische und thermische Stabilität ausgelegt werden. Insbesondere bevorzugt ist es, wenn die erste Lage, die direkt auf die optische Faser aufgebracht ist, aus Polyimid und die darauf aufgebrachte zweite Lage aus dem Schutzschichtmaterial bestehen. Insbesondere auf einer als Glasfaser ausgebildeten optischen Faser hat Polyimid ein sehr gutes Haftvermögen. Polyimid ist außerdem in einem sehr weiten Temperaturbereich von  $-190^{\circ}\text{C}$  bis  $+385^{\circ}\text{C}$  einsetzbar. Das für die zweite Lage vorgesehene Schutzschichtmaterial bezweckt dann in erster Linie einen ausreichenden mechanischen Schutz.

Vorteilhaft ist es außerdem, wenn der Lichtwellenleiter zumindest im Durch- oder Einführungsbereich einen Durchmesser von höchstens 1 mm aufweist. Diese Bemessung gilt für den Gesamtaufbau aus optischer Faser und umgebender Schutzschicht. Ein derartiger Lichtwellenleiter beeinträchtigt die Eigenschaften des Wickelkörpers nur unmaßgeblich. Dies trifft gerade auch für das Isolationsvermögen eines isolierenden Wickelkörpers zu. Dieses Isolationsvermögen spielt insbesondere im Bereich der elektrischen Energieerzeugung und -verteilung eine entscheidende Rolle. Der Lichtwellenleiter mit einem entsprechend kleinen Durchmesser bildet dann vor allem auch keinen potenziellen Ausgangspunkt für einen elektrischen Überschlag.

Bevorzugte Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Wickelanordnung werden nunmehr an Hand der Zeichnung näher erläutert. Zur Verdeutlichung ist die Zeichnung nicht maßstäblich ausgeführt und gewisse Merkmale sind schematisiert dargestellt. Im Einzelnen zeigen:

- Figur 1 eine Wickelanordnung mit Wickelkörper und Lichtwellenleiter als Bestandteil eines durch eine optische Messeinrichtung überwachten elektrischen Generators,
- Figur 2 einen Längsschnitt durch die Wickelanordnung von Figur 1 und
- Figuren 3 und 4 Ausführungsformen des in der Wickelanordnung gemäß den Figuren 1 und 2 eingesetzten Lichtwellenleiters.

Einander entsprechende Teile sind in den Figuren 1 bis 4 mit den selben Bezugszeichen versehen.

In Figur 1 ist ein elektrischer Generator 80 angedeutet, der einen Stator 81 und einen Rotor 82 beinhaltet. Der elektrische Generator 80 wird über eine optische Messeinrichtung 100, die zur optischen Messgrößenerfassung innerhalb des Generators 80 bestimmt ist, überwacht. Die optische Messeinrichtung 100 enthält eine außerhalb des Generators 80 angeordnete Auswerteeinheit 70, die über einen Lichtwellenleiter 30 mit dem Innenraum des Generators 80, insbesondere mit dem Stator 81 optisch verbunden ist. Mittels eines über den Lichtwellenleiter 30 übertragenen Lichtsignals LS wird mindestens eine optische Messstelle im Generator 80 abgefragt. Der in Figur 1 dargestellte elektrische Generator 80 ist für eine hohe elektrische Leistung insbesondere von mehr als 100 MW ausgelegt.

Im Generator 80 treten Ströme von bis zu einigen kA und Potenzialunterschiede von bis zu mehreren 10 kV auf. An Stelle des in Figur 1 beispielhaft gezeigten elektrischen

Generators 80 kann die optische Messeinrichtung 100 ebenso gut für eine elektrodynamische Antriebsmaschine, wie z. B. einen Synchron- oder auch Asynchronmotor, die in ihrem konstruktiven Aufbau dem des elektrischen Generators 80 sehr  
5 ähnlich ist, eingesetzt werden. Weiterhin lässt sich die optische Messeinrichtung 100 auch für einen Leistungstransformator, dessen Betriebsspannung sogar bis zu einigen 100 kV betragen kann, einsetzen. Mit dem Lichtwellenleiter 30 kann eine so hohe Potenzialdifferenz grundsätzlich problemlos  
10 überbrückt werden. Die eingesetzten optischen Komponenten beeinträchtigen die dielektrische Festigkeit des elektrischen Generators 80 nicht.

Der Lichtwellenleiter 30 wird an einen elektrischen Leiter  
15 13, der innerhalb einer Nut des Stators 82 angeordnet und Bestandteil einer Statorwicklung ist, geführt. Direkt an dem Leiter 13 befindet sich auch mindestens ein nicht näher dargestellter optischer Sensor zur direkten Messgrößenerfassung.

20 Im Inneren des elektrischen Generators 80 ist somit mindestens eine in Figur 2 näher gezeigte elektrische Leiteranordnung 200 vorhanden, die sich aus dem elektrischen Leiter 13 und einer darum herum angeordneten Wickelanordnung 90 zusammensetzt. Die Wickelanordnung 90 ihrerseits umfasst eine  
25 elektrische Isolierung in Form eines mehrschichtigen Wickelkörpers 91 sowie einen in einem Durchführungsbereich 95 durch den Wickelkörper 91 hindurchgeführten Lichtwellenleiter 30. Der Lichtwellenleiter 30 ist in einem sensornahen Abschnitt zwischen der Isolierung und dem elektrischen Leiter 13 an-  
30 geordnet.

In Figur 2 ist ein Längsschnitt der elektrischen Leiteranordnung 200 in dem Bereich dargestellt, in dem der Lichtwellenleiter 30 durch die Isolierung hindurchgeführt wird. Der  
35 isolierende Wickelkörper 91 enthält mehrere Wicklungsschichten 92, die durch sukzessives Aufbringen einer Vielzahl von

Windungen mindestens eines isolierenden Wickelbands 93 auf den elektrischen Leiter 13 entstehen.

5 Im Durchführungsbereich 95 ist der Lichtwellenleiter 30 in den Wickelkörper 91 eingewickelt. Er verläuft also insbesondere jeweils zwischen zwei Windungen von einer zur nächsten Wicklungsschicht 92. Vorzugsweise befindet sich der bloße Lichtwellenleiter 30 außer an der vom elektrischen Leiter 13 aus betrachteten letzten Wicklungsschicht 92a in unmittelbarem Kontakt zum Wickelkörper 91. Am Ort des Durchtritts durch die äußerste Wicklungsschicht 92a ist der Lichtwellenleiter 30 im gezeigten Ausführungsbeispiel dagegen von einer zusätzlichen Schutztülle 35 umgeben, die ein Abknicken des Lichtwellenleiters 30 an der Austrittsstelle aus dem Wickelkörper 91 verhindert.

Gemäß der Querschnittsdarstellung von Figur 3 ist der Lichtwellenleiter 30 im Durchführungsbereich 95 abgesehen von der äußersten Wicklungsschicht 92a nur durch eine spezielle Schutzschicht 33 aus Ormocer gegen eine mechanische Belastung innerhalb des Wickelkörpers 91 geschützt. Die Schutzschicht 33 hat dabei insbesondere armierendes Verhalten. Sie ist auf eine Faser 32, die der eigentlichen Lichtführung dient, aufgebracht. Üblicherweise wird eine derartige Schutzschicht in der englischsprachigen Fachliteratur als „Coating“ bezeichnet. Die Faser 32 enthält einen lichtführenden Kern (englischer Fachbegriff = „Core“) und einen Mantel (englischer Fachbegriff = „Cladding“). Beide sind in Figur 3 nicht näher dargestellt. Die Schutzschicht 33 hat eine Schichtdicke von typischerweise 30  $\mu\text{m}$ . Die Faser 32 ist eine Glasfaser mit einem Durchmesser von 125  $\mu\text{m}$ . Damit ergibt sich für den Lichtwellenleiter 30 ein äußerer Durchmesser D1 von etwa 185  $\mu\text{m}$ .

35 Aufgrund seiner guten mechanischen Eigenschaften eignet sich Ormocer besonders gut als Schutzschichtmaterial. Es bietet einen guten mechanischen Schutz für den Lichtwellenleiter 30.

Ormocer ist ein Kompositmaterial, das sich aus organischen und anorganischen Bestandteilen zusammensetzt. Über das Mischungsverhältnis lassen sich das mechanische und das thermische Verhalten einstellen. So kann der Elastizitätsmodul Werte zwischen 0,02 GPa und 1,5 GPa annehmen. Ein typischer Wert, der auch zu einem guten mechanischen Schutz für den Lichtwellenleiter 30 führt, liegt bei etwa 0,2 GPa. Mit einer Erhöhung des anorganischen Anteils kann man auch die maximal zulässige Einsatztemperatur anheben. Dies ist insbesondere für eine Anwendung in dem elektrischen Generator 80 von Figur 1 von Bedeutung, da sowohl bei der Herstellung des isolierenden Wickelkörpers 91 als auch während des Generatorbetriebs Temperaturen von teilweise deutlich über 100°C auftreten können. Das bei diesem Anwendungsfall als Schutzschichtmaterial für den Lichtwellenleiter 30 eingesetzte Ormocer hat typischerweise einen anorganischen Anteil von etwa 85%.

Um die dielektrische Festigkeit des isolierenden Wickelkörpers 91 nicht zu beeinträchtigen, wird bei dem Ausführungsbeispiel des elektrischen Generators 80 ein dielektrisches, d.h. elektrisch isolierendes Schutzschichtmaterial benötigt. Ormocer erfüllt diese Bedingung ebenfalls.

Bei einem anderen Ausführungsbeispiel eines Lichtwellenleiters 301 besteht die Schutzschicht 33 gemäß Figur 4 aus einer ersten und einer zweiten Lage 36 bzw. 37. Als Material für die erste Lage 36 ist Polyimid und für die zweite Lage 37 Ormocer vorgesehen. Die Schichtdicke der ersten Lage bewegt sich zwischen 5 und 15 µm. Polyimid haftet sehr gut auf der als Glasfaser ausgebildeten Faser 32 und ist außerdem auch sehr temperaturstabil. Die äußere Beschichtung mit Ormocer im Rahmen der zweiten Lage 37 verleiht der Schutzschicht 33 und damit dem Lichtwellenleiter 301 insgesamt eine hohe Beständigkeit gegenüber der im Wickelkörper 91 auftretenden mechanischen Belastung. Mit der doppelagigen Beschichtung ergibt

sich für den Lichtwellenleiter 301 ein Durchmesser D2 zwischen 200 und 250  $\mu\text{m}$ .

Sowohl der Durchmesser D1 bei der einlagigen Beschichtung  
5 gemäß Figur 3 als auch der Durchmesser D2 bei der zweilagigen  
Beschichtung gemäß Figur 4 sind klein genug, um eine Beein-  
trächtigung der Eigenschaften des Wickelkörpers 91 auszu-  
schließen. Insbesondere wird das Isolationsvermögen des  
Wickelkörpers 91 durch die Lichtwellenleiter 30 und 301 nicht  
10 gemindert. Dies gilt auch noch für einen nicht dargestellten  
Lichtwellenleiter mit einem Durchmesser von bis zu 1 mm. Erst  
bei einem noch größeren Durchmesser steigt bei einer Anwen-  
dung beispielsweise innerhalb des Generators 80 von Figur 1  
das Risiko eines Durchschlags im Durchführungsbereich 95.  
15 Längs eines so dicken Lichtwellenleiters kann sich ein Durch-  
schlagskanal bilden. Dies wird durch den Einsatz eines Licht-  
wellenleiters mit einem Durchmesser von kleiner als 1 mm ver-  
mieden.

20 Bei einer nicht gezeigten Ausführungsform ist der Wickel-  
körper 91 nicht aus einem elektrisch isolierenden Wickelband  
93 wie im dem Beispiel der Figur 2, sondern aus einem elek-  
trisch leitfähigen Band gewickelt. Insbesondere kann dieses  
leitfähige Band auch eine supraleitende, vorzugsweise eine  
25 hochtemperatursupraleitende Eigenschaft haben. Anstelle des  
elektrischen Leiters 13 von Figur 2 wird bei dieser Ausfüh-  
rungsform dann ein an die spezielle Anwendung angepasster  
Wicklungsträger verwendet. Die Durchführung des Lichtwellen-  
leiters 30 durch den Wickelkörper 91 sowie die Ausgestaltung  
30 der Schutzschicht 33 erfolgt dagegen auch bei dieser Aus-  
führungsform analog zum Beispiel von Figur 2.

Bei einer weiteren nicht gezeigten Ausführungsform wird der  
Lichtwellenleiter 30 nicht durch den Wickelkörper 91 hin-  
35 durch-, sondern nur in den Wickelkörper 91 eingeführt. Bei  
dieser weiteren Ausführungsform verläuft der Lichtwellen-  
leiter 30 dann auch nach dem Einführungsbereich innerhalb des

Wickelkörpers 91 zwischen zwei Wicklungsschichten 92. Darüber hinaus ist beispielsweise auch mindestens ein zur Erfassung einer Messgröße vorgesehener optischer Sensor innerhalb des Wickelkörpers 91 zwischen zwei Wicklungsschichten 92 angeordnet. Dieser optische Sensor wird über den Lichtwellenleiter 30 abgefragt.

## Patentansprüche

1. Wickelanordnung mit mindestens
  - a) einem mehrschichtigen Wickelkörper (91) aus einer Vielzahl  
5 von Windungen mindestens eines Wickelbandes (93),
  - b) einem durch den Wickelkörper (91) hindurchgeführten oder  
in den Wickelkörper (91) hineingeführten Lichtwellenleiter  
(30), wobei der Lichtwellenleiter (30)
  - c) im Durch- oder Einführungsbereich (95) in den Wickelkörper  
10 (91) eingewickelt ist und
  - d) sich zumindest im Durch- oder Einführungsbereich (95) aus  
einer lichtführenden Faser (32) und einer darauf aufge-  
brachten Schutzschicht (33), die aus einem Schutzschicht-  
material mit einem Elastizitätsmodul von höchstens 2,5 GPa  
15 besteht oder ein solches Schutzschichtmaterial enthält,  
zusammensetzt.
  
2. Wickelanordnung nach Anspruch 1, d a d u r c h g e -  
k e n n z e i c h n e t , dass der Lichtwellenleiter (30)  
20 beim Durchtritt durch die äußerste Wicklungsschicht (92a) von  
einer zusätzlichen Schutztülle (35) umgeben ist.
  
3. Wickelanordnung nach Anspruch 1 oder 2, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t , dass das Schutzschichtmate-  
25 rial einen Elastizitätsmodul von höchstens 1,5 GPa hat.
  
4. Wickelanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass das  
Schutzschichtmaterial lösungsmittelfrei ist.  
30
  
5. Wickelanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass das  
Schutzschichtmaterial einen anorganischen Feststoffanteil  
aufweist.  
35

6. Wickelanordnung nach Anspruch 5, d a d u r c h g e -  
k e n n z e i c h n e t , dass der anorganische Feststoff-  
anteil des Schutzschichtmaterials mindestens 50% beträgt.
- 5 7. Wickelanordnung nach einem der Ansprüche 5 oder 6, d a -  
d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass das Schutz-  
schichtmaterial Ormocer ist.
8. Wickelanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
10 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass die  
Schutzschicht (33) doppellagig ausgebildet ist.
9. Wickelanordnung nach Anspruch 8, d a d u r c h g e -  
k e n n z e i c h n e t , dass eine auf die Faser (32) auf-  
15 gebrachte erste Lage (36) der Schutzschicht (33) aus Polyimid  
und eine auf die erste Lage (36) aufgebrachte zweite Lage  
(37) der Schutzschicht (33) aus dem Schutzschichtmaterial  
bestehen.
- 20 10. Wickelanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass der  
Lichtwellenleiter (30) zumindest im Durchführungsbereich (95)  
einen Durchmesser (D 1, D 2) von höchstens 1 mm aufweist.

1/2

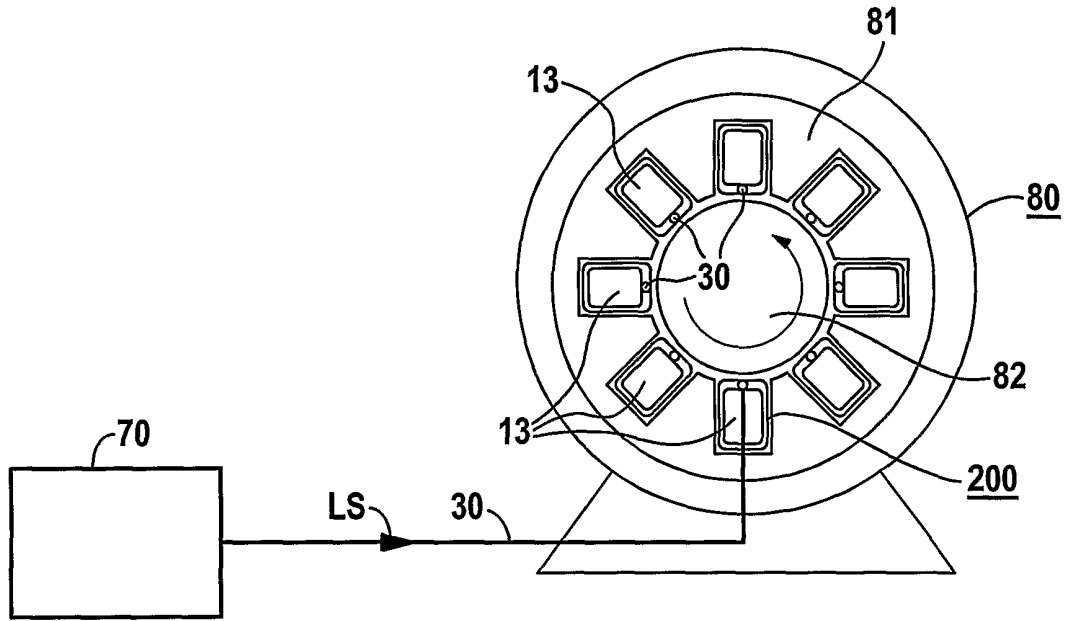
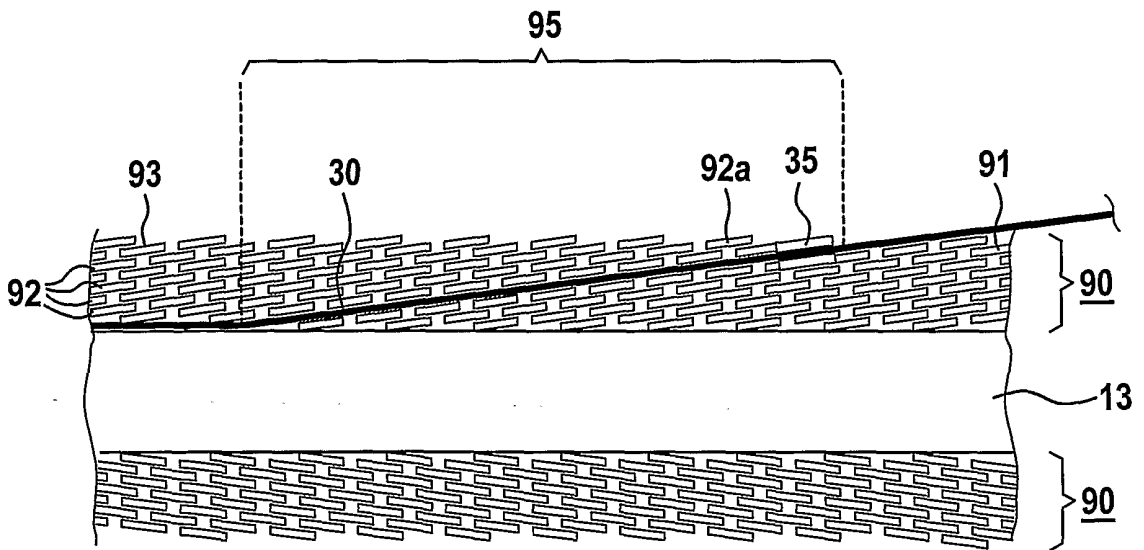


FIG 1

100



200

FIG 2

2/2

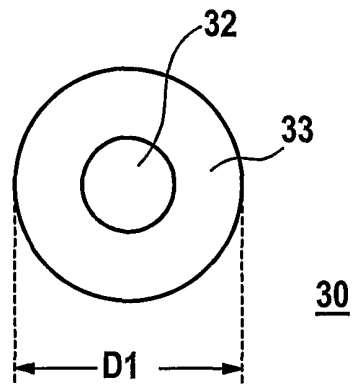


FIG 3

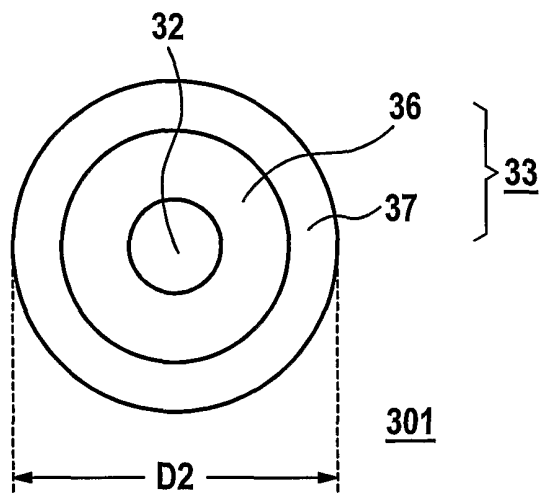


FIG 4