



(10) **DE 10 2016 125 809 A1** 2018.06.28

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2016 125 809.1**

(22) Anmeldetag: **28.12.2016**

(43) Offenlegungstag: **28.06.2018**

(51) Int Cl.: **G01N 22/00** (2006.01)

**G01F 1/58** (2006.01)

**G01P 5/24** (2006.01)

(71) Anmelder:  
**Endress+Hauser Flowtec AG, Reinach, CH**

(74) Vertreter:  
**Hahn, Christian, Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., 79576 Weil  
am Rhein, DE**

(72) Erfinder:  
**Pflüger, Stefan, 81379 München, DE; Ziegler,  
Steffen, 79650 Schopfheim, DE; Voigt, Frank,  
79576 Weil am Rhein, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

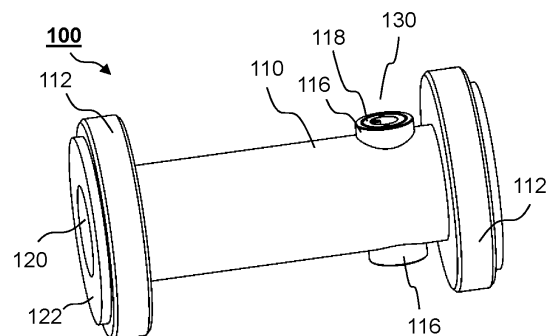
DE	101 64 107	C1
DE	30 38 725	A1
DE	44 26 280	A1
DE	10 2006 034 884	A1
US	2016 / 0 313 259	A1
WO	91/ 05 243	A1
WO	2015/ 165 554	A1

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Messanordnung zur Analyse von Eigenschaften eines strömenden Mediums mittels Mikrowellen**

(57) Zusammenfassung: Eine Messanordnung umfasst: ein beidseitig offenes, metallisches Messrohr (110) zum Führen eines Mediums, wobei das Messrohr (110) eine äußere Mantelfläche, eine innere Mantelfläche und mindestens zwei Durchbrüche aufweist, wobei; sich die beiden Durchbrüche von der äußeren Mantelfläche zur inneren Mantelfläche erstrecken; eine dielektrische Auskleidungsschicht (120), welche an der inneren Mantelfläche des Messrohrs (110) anliegt; eine erste Mikrowellenantenne (130), welche in dem Messrohr (110) angeordnet und durch den ersten Durchbruch kontaktiert ist; eine zweite Mikrowellenantenne (130), welche in dem Messrohr angeordnet und durch den zweiten Durchbruch kontaktiert ist; wobei die dielektrische Auskleidungsschicht (120) einen dielektrischen Wellenleiter bildet, über den Mikrowellen zumindest anteilig von der ersten Mikrowellenantenne (130) zur zweiten Mikrowellenantenne (130) gelangen können.



## Beschreibung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft eine Messanordnung zur Analyse von Eigenschaften eines strömenden Mediums mittels Mikrowellen. Mittels Mikrowellen lassen sich insbesondere die physikalischen Größen Permittivität sowie Verlustfaktor eines Mediums in einer Prozessleitung ermitteln. Aus diesen beiden Größen gemessen entweder bei einer oder über viele unterschiedliche Frequenzen lassen sich Rückschlüsse auf anwendungsspezifische Parameter ziehen, beispielsweise auf den Anteil von Wasser in einem Gemisch aus Wasser und anderen nicht oder wenig polaren Komponenten.

**[0002]** Die etablierte Transmissions-/Reflexionsmessung ist beschrieben in L.F. Chen, C.K. Ong, C.P. Neo, V.V. Varadan, V. K. Varadan Microwave Electronics, Measurement and Materials Characterization, John Wiley & Sons Ltd., 2004. Hierfür wird das Mikrowellensignal an zwei unterschiedlichen Positionen an das Medium in einem Behälter bzw. Rohr angekoppelt, die Streuparameter (Transmission und ggfs. Reflexion) zwischen diesen Ankoppelstrukturen gemessen und aus den gemessenen Streuparametern auf die genannten physikalischen Eigenschaften des Mediums zurückgerechnet.

Herkömmliche Einkoppelstrukturen besitzen jedoch verschiedene Nachteile:

**[0003]** Viele Einkoppelstrukturen wie z.B. eine gekürzte Dipolantenne ragen in das Messrohr hinein. Dies ist jedoch in Hinblick auf einen Druckverlust sowie bei Medien mit Feststoffanteilen aufgrund der Gefahr einer Blockage des Messrohrs oder möglicher Beschädigung der Einkoppelstruktur unerwünscht.

**[0004]** Koppelstrukturen, die außerhalb des metallischen Messrohres angebracht werden und daher nicht in das Messrohr hineinragen, benötigen ein dielektrisches (nicht leitfähiges) Fenster, durch das das Mikrowellensignal eingekoppelt werden kann. Sowohl in Hinblick auf die Hygieneanforderungen für Anwendungen im Lebensmittelbereich als auch in Hinblick auf die Druckbelastbarkeit ist eine Abdichtung dieses Fensters gegenüber dem metallischen Messrohr jedoch konstruktiv aufwendig.

**[0005]** Soll gleichzeitig zur Messung der Materialeigenschaften durch Mikrowellensensorik auch eine Messung der Durchflussgeschwindigkeit durch das magnetisch-induktive Messprinzip erfolgen, so ist das die üblichen Koppelstrukturen umgebende, medienberührende Stahlrohr nicht mit der notwendigen Isolation des Mediums des magnetisch-induktive Messprinzips gegenüber der leitfähigen Rohrwand kompatibel. Eine Kombination beider Messprinzipien in einer Messstelle bzw. in einem Gerät verbietet sich daher.

**[0006]** Es ist daher die Aufgabe der Erfindung eine Messanordnung bereitzustellen, welche die obigen Nachteile überwindet.

**[0007]** Die Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch die Messanordnung gemäß dem unabhängigen Patentanspruch 1.

**[0008]** Die erfindungsgemäße Messanordnung umfasst:

ein beidseitig offenes, metallisches Messrohr zum Führen eines Mediums, wobei das Messrohr eine äußere Mantelfläche, eine innere Mantelfläche und mindestens zwei Durchbrüche aufweist, wobei sich die beiden Durchbrüche von der äußeren Mantelfläche zur inneren Mantelfläche erstrecken;

eine dielektrische Auskleidungsschicht, welche an der inneren Mantelfläche des Messrohrs anliegt;

eine erste Mikrowellenantenne, welche im Bereich des ersten Durchbruchs angeordnet und durch den ersten Durchbruch kontaktiert ist;

eine zweite Mikrowellenantenne, welche im Bereich des zweiten Durchbruchs angeordnet und durch den zweiten Durchbruch kontaktiert ist;

wobei die dielektrische Auskleidungsschicht einen dielektrischen Wellenleiter bildet, über den Mikrowellen zumindest anteilig von der ersten Mikrowellenantenne zur zweiten Mikrowellenantenne gelangen können.

**[0009]** In einer Weiterbildung der Erfindung umfasst die Messanordnung weiterhin eine erste leitfähige Ringstruktur und eine zweite leitfähige Ringstruktur, die jeweils an einer Stirnseite des metallischen Messrohrs angeordnet sind und die dielektrische Auskleidungsschicht stirnseitig begrenzen.

**[0010]** Diese Ringstrukturen können beispielsweise Bestandteil des Messrohrs selbst sein, oder stirnseitig am Messrohr montiert sein, beispielsweise beim Einbau in eine Rohrleitung, in Gestalt angrenzender Rohre oder in Form von Ringscheiben passenden Innendurchmessers.

**[0011]** Die Einkopplung der elektromagnetischen Leistung in die die dielektrische Auskleidungsschicht, die auch als Liner bezeichnet wird, kann analog zur Einkopplung in einen klassischen Hohlleiter erfolgen. Diese Möglichkeiten schließen insbesondere die Kopplung durch eine Sonde ein, die entweder leitfähig mit dem Medium verbunden ist oder isoliert vom Medium innerhalb des Liners endet. Die Durchführung durch das metallische Außenrohr kann zweckmäßigerweise in Koaxialleitungstechnik erfolgen. Sofern die Sonde leitfähig mit dem Medium verbunden ist, besteht die Möglichkeit, diese zusätzlich parallel als Messelektrode für die Durchflussmessung nach dem magnetisch-induktiven Prinzip zu verwenden. Die unterschiedlichen Messsignale können durch ihren großen Frequenzunterschied zwischen Mikrowellensignalen mit Frequenzen oberhalb von 1 GHz und den Signalen zur Durchflussmessung mit Frequenzen von nicht mehr als 10 MHz) getrennt werden. Hierfür kann ein sog. Bias-Tee, eine Kombination aus Hoch- und Tiefpass, zum Einsatz kommen.

**[0012]** In einer Weiterbildung der Erfindung ist die erste Mikrowellenantenne von der Auskleidungsschicht bedeckt und/oder die zweite Mikrowellenantenne ist von der Auskleidungsschicht bedeckt.

**[0013]** In einer Weiterbildung der Erfindung ist das Messrohr im Wesentlichen zylindrisch ist, wobei die Auskleidungsschicht eine Stärke  $b$  aufweist, die nicht mehr als ein Zehntel insbesondere nicht mehr als ein Zwanzigstel des Innendurchmessers des Messrohrs beträgt.

**[0014]** In einer Weiterbildung der Erfindung weist die Auskleidungsschicht eine mittlere Stärke  $d$  auf, die nicht weniger als 2 mm, insbesondere nicht weniger als 4 mm und bevorzugt nicht weniger als 5 mm beträgt.

**[0015]** In einer Weiterbildung der Erfindung weist das Messrohr eine Messrohrachse auf, wobei eine gerade Verbindungslinie zwischen der ersten Mikrowellenantenne und der zweiten Mikrowellenantenne existiert, welche die Messrohrachse in einem rechten Winkel schneidet.

**[0016]** In einer Weiterbildung der Erfindung umfasst die erste Mikrowellenantenne eine Planarantenne und/oder die zweite Mikrowellenantenne umfasst eine Planarantenne.

**[0017]** Die Planarantenne kann insbesondere über einen Koaxialanschluss differentiell gespeist werden.

**[0018]** In einer Weiterbildung der Erfindung ist die Planarantenne bzw. sind die Planarantennen spiralförmig ausgebildet.

**[0019]** In einer Weiterbildung der Erfindung umfassen die Planarantennen eine drucktragende Keramikplatte.

**[0020]** In einer Weiterbildung der Erfindung, umfasst die Messanordnung weiterhin eine Magnetbaugruppe zum Erzeugen eines Magnetfelds, welches das Messrohr im Wesentlichen senkrecht zur Messrohrachse durchdringt.

**[0021]** In einer Weiterbildung der Erfindung umfasst die Messanordnung eine erste Elektrode und eine zweite Elektrode welche sich durch die Auskleidungsschicht in das Messrohr erstrecken, wobei die Elektroden dazu eingerichtet sind, ein in dem Messrohr geführtes Medium elektrisch zu kontaktieren, wobei insbesondere eine gerade Verbindungslinie zwischen den beiden Elektroden im Wesentlichen senkrecht zum Magnetfeld und senkrecht zur Messrohrachse verläuft.

**[0022]** In einer Weiterbildung der Erfindung weist die erste Mikrowellenantenne die erste Elektrode auf, und die zweite Mikrowellenantenne weist die zweite Elektrode auf.

**[0023]** In einer Weiterbildung der Erfindung umfasst die Messanordnung weiterhin eine Betriebs- und Auswerteelektronik, welche einen Hochfrequenzgenerator zum Speisen mindestens einer der Mikrowellenantennen mit mindestens einem Hochfrequenzsignal aufweist, und welche dazu eingerichtet ist anhand der von der anderen Antenne empfangenen Mikrowellensignale mindestens eine Eigenschaft eines in dem Messrohr geführten Mediums zu bestimmen.

**[0024]** In einer Weiterbildung der Erfindung ist der Hochfrequenzgenerator dazu eingerichtet, die mindestens eine der Mikrowellenantennen mit einer Folge von Hochfrequenzsignalen unterschiedlicher Frequenzen zu speisen.

**[0025]** In einer Weiterbildung der Erfindung ist die Betriebs- und Auswerteelektronik dazu eingerichtet, die mindestens eine Eigenschaft des in dem Messrohr geführten Mediums anhand der Dämpfung der Hochfrequenzsignale und/oder der Phasenlage zwischen den eingestrahlenen und empfangenen Hochfrequenzsignalen zu bestimmen.

**[0026]** In einer Weiterbildung der Erfindung umfasst die die Magnetbaugruppe mindestens eine Feldspule umfasst, wobei die Betriebs- und Auswerteelektronik dazu eingerichtet ist, die mindestens eine Feldspulen zu speisen, ein Potential zwischen der ersten Elektrode und der zweiten Elektrode zu erfassen, welches von der Durchflussgeschwindigkeit des eines Mediums durch das Messrohr abhängt, und anhand des Potentials einen Durchflussmesswert zu ermitteln.

**[0027]** Die Erfindung wird nun anhand des in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert. Es zeigt:

**Fig. 1a:** eine räumliche Darstellung eines Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Messanordnung;

**Fig. 1b:** eine Seitenansicht der Messanordnung aus **Fig. 1a**;

**Fig. 1c:** einen Querschnitt durch die Messanordnung aus **Fig. 1b** in der Ebene C-C;

**Fig. 1d:** einen Querschnitt durch die Messanordnung aus **Fig. 1b** in der Ebene D-D;

**Fig. 1e:** eine Detailansicht der Messanordnung aus **Fig. 1d** an der mit E gekennzeichneten Position;

**Fig. 2a:** einen Längsschnitt durch einen Rohrleitungsabschnitt, in dem die Messanordnung aus **Fig. 1a** bis **Fig. 1e** eingebaut ist;

**Fig. 2b:** einen Längsschnitt durch ein weiteres Ausführungsbeispiel einer Messanordnung mit stirnseitigen Metallscheiben;

**Fig. 2c:** einen Detaillängsschnitt durch einen Messrohrabschnitt eines weiteren Ausführungsbeispiels einer Messanordnung;

**Fig. 2d:** eine räumliche Darstellung eines zweiten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Messanordnung;

**Fig. 3a:** eine Frontansicht einer Planarantenne eines Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Messanordnung;

**Fig. 3b:** einen Detaillängsschnitt durch eine eine Hohlleiterantenne mit MID-Elektrode einem Messrohr einer erfindungsgemäßen Messanordnung;

**Fig. 3c:** eine Feldsimulation für die Hohlleiterantenne mit MID-Elektrode aus **Fig. 3b**;

**Fig. 4:** einen schematischen Halbschnitt durch ein Messrohr einer erfindungsgemäßen Messanordnung;

**Fig. 5a:** exemplarische Simulationsergebnisse zur Feldverteilung Wellenausbreitung in einer erfindungsgemäßen Messanordnung; und

**Fig. 5b:** ein Diagramm zur Transmission von Mikrowellen in einer erfindungsgemäßen Messanordnung und in einer Messanordnung nach dem Stand der Technik.

**[0028]** Die in **Fig. 1a** bis **Fig. 1e** dargestellte Messanordnung umfasst ein Metallisches Messrohr **110** mit endseitigen, metallischen Anschlussflanschen **112**, das mit einem Liner **120** ausgekleidet ist, der einen Kunststoff umfasst, beispielsweise ein Polyurethan oder ein Fluoropolymer wie PFA oder PTFE aufweist. Der Liner **120** kann stirnseitig Dichtflächen **122** aufweisen, die aus dem Messrohr **110** herausgeführt sind und an den Stirnseiten der Flansche **112** anliegen.

**[0029]** Um Mikrowellen ein- und auskoppeln zu können, umfasst die Messanordnung **100** zwei an einer Mantelfläche des Messrohrs **110** einander gegenüberliegend angeordnete Antennenbaugruppen **130**, deren Einzelheiten insbesondere in **Fig. 1e** dargestellt sind. Im Bereich der Antennenbaugruppen **130** weist das Messrohr **110** jeweils einen Durchbruch **114** auf, welcher an der äußeren Mantelfläche des Messrohrs **100** mit einer Gewindehülse **116** umgeben ist, in welche ein Spannring **118** eingeschraubt ist, um eine Keramikplatte

**132**, welche einen Trägerkörper für eine Planarantenne bildet, sowie eine an der Keramikplatte **132** außen-seitig angeordnete Anschlussplatine **134** gegen den Liner **120** einzuspannen. Zum Ausgleich von Temperaturschwankungen und Fertigungstoleranzen kann zwischen dem Spannring **118** und der Keramikplatte **132** bzw. der Anschlussplatine **134** zusätzlich ein elastischer Ring **136** angeordnet sein. Der Liner **120** weist an der Position der Keramikplatte **132** von seiner Außenseite her eine Vertiefung **124** auf, die vollständig von der Keramikplatte **132** ausgefüllt wird. Im Ergebnis ist ein Trägerkörper einer Planarantenne in den Liner **120** eingebracht, ohne die Integrität des Liners **120** zum Inneren des Messrohrs hin zu beeinträchtigen. Zudem bleibt die Druckfestigkeit der Messanordnung durch geeignete Dimensionierung der Keramikplatte **132** und des Spannrings **118** erhalten.

**[0030]** Für die erfindungsgemäße Messanordnung ist es vorteilhaft, wenn der Liner **120** in Längsrichtung des Messrohrs **110** durch elektrisch leitendes Material, insbesondere Metall begrenzt ist. Zur Realisierung dieser Bedingung sind zwei Alternativen in **Fig. 2a** bis **Fig. 2c** dargestellt.

**[0031]** **Fig. 2a** zeigt eine erfindungsgemäße Messanordnung **100**, deren Messrohr **110** in einen Rohrleitungsabschnitt zwischen einem ersten metallischen Rohr **210** und einem zweiten metallischen Rohr **210** eingebaut wobei jeweils ein Flansch **320** der Rohre **310** mit einem Flansch **112** des Messrohrs **110** verbunden ist. Die beiden metallischen Rohre **310** weisen einen Innendurchmesser auf, der dem Innendurchmesser des Liners **120** entspricht. Damit ist eine Begrenzung des Liners **120** durch ein metallisches Material in Längsrichtung der Messanordnung **100** erreicht.

**[0032]** **Fig. 2b** zeigt eine erfindungsgemäße Messanordnung **100a**, die eine Begrenzung des Liners **120a** durch ein metallisches Material in Längsrichtung der Messanordnung **100a** unabhängig von einer Einbausituation in einen Rohrleitungsabschnitt erzielt. Hierzu weist die Messanordnung **100a** metallische Ringscheiben **117** auf, deren Innendurchmesser mit dem des Liners **120a** übereinstimmt, und die an den Stirnflächen der Flansche **112a** befestigt sind, beispielsweise durch Fügen mittels Löten oder Schweißen. Im Ergebnis bilden die Ringscheiben **117** zusammen mit dem Messrohr **110a** einen leitfähigen Abschluss des Liners **120a** in radialer Richtung nach außen und beide axiale Richtungen.

**[0033]** Die **Fig. 2c** dargestellte erfindungsgemäße Messanordnung **100b** weist eine Modifikation gegenüber der Messanordnung aus **Fig. 1a** auf. Der Flansch **112b** weist an seiner Stirnfläche eine ringförmig umlaufende axiale Vertiefung **115b** auf, in welcher die stirnseitige Dichtfläche **122b** des Liners **120** aufgenommen ist. Insofern, als der Flansch **112b** in einem radialen Abschnitt, der an die axiale Vertiefung **115b** anschließt, mit einem Flansch **320** eines metallischen Rohrs **310** verbunden ist, verbleibt zwischen den kein Spalt, welcher die Mikrowellensignale beeinträchtigen könnte. Ansonsten weist das an die Messanordnung angeschlossene metallische Rohr **310** einen Innendurchmesser auf, der dem Innendurchmesser des Liners **120b** entspricht. Damit ist die Begrenzung des Liners **120b** durch ein metallisches Material in Längsrichtung der Messanordnung **100b** erreicht. **Fig. 2c** zeigt nur einen axialen Endabschnitt der Messanordnung. Selbstverständlich ist der andere Endabschnitt entsprechend gestaltet. Im Sinne der Vereinfachung wurde auf die Darstellung der Antennenbaugruppen in dieser Zeichnung verzichtet, wenngleich die erfindungsgemäßen Messanordnung **100b** selbstverständlich zwei Antennenbaugruppen aufweist.

**[0034]** **Fig. 2d** zeigt eine weitere Ausgestaltung einer erfindungsgemäßen Messanordnung **100c**, die sich von dem Ausführungsbeispiel aus **Fig. 1a** bis **Fig. 1e** durch die axiale Position der Antennenbaugruppen **130c** unterscheidet. Während die in **Fig. 1a** bis **Fig. 1e** dargestellte asymmetrische Positionierung der Antennenbaugruppen in axialer Richtung Platz für weitere Komponenten am Messrohr **110** frei lässt, sind die Antennenbaugruppen **130c** in beim Ausführungsbeispiel aus **Fig. 2d** in axialer Richtung symmetrisch zwischen den beiden Flanschen des **112c** der Messanordnung positioniert. Ansonsten entspricht diese Ausgestaltung der Erfindungsgemäßen Messanordnung **100c** der Ausgestaltung aus **Fig. 1a** bis **Fig. 1e**.

**[0035]** Die Einkopplung der elektromagnetischen Leistung in den Liner kann analog zur Einkopplung in einen klassischen Hohlleiter erfolgen. Diese Möglichkeiten schließen insbesondere die Kopplung durch eine Sonde ein, die entweder leitfähig mit dem Medium verbunden ist oder isoliert vom Medium innerhalb des Liners endet.

**[0036]** Die Durchführung durch das metallische Außenrohr kann zweckmäßigerweise in Koaxialleitungstechnik erfolgen. Sofern die Sonde leitfähig mit dem Medium verbunden ist, besteht die Möglichkeit, diese zusätzlich parallel als Messelektrode für die Durchflussmessung nach dem magnetisch-induktiven Prinzip zu verwenden. Die unterschiedlichen Messsignale können durch ihren großen Frequenzunterschied (Mikrowellensignale meist > 1 GHz, Signal zur Durchflussmessung meist < 10 MHz) getrennt werden. Hierfür kann ein sog. Bias-Tee (Kombination aus Hoch- und Tiefpass) zum Einsatz kommen.

**[0037]** Des Weiteren ist zur Ankopplung der elektromagnetischen Leistung auch die Verwendung einer differentiell gespeisten Antenne, insbesondere eine differentiell gespeiste Spiralantenne, denkbar.

**[0038]** Fig. 3a zeigt eine Planarantenne mit zwei spiralförmigen metallische Leiterbahnen 140, 142, die auf der Stirnseite der Keramikplatte 132 präpariert sind. Die Planarantennen 132 sind im Messbetrieb mit den Leiterbahnen 140, 142 voran in das Messrohr eingesetzt, so dass die Leiterbahnen 140, 142 in der Vertiefung 124 des Liners 120 positioniert sind. Die Leiterbahnen, 142, 144 werden im Zentrum der Keramikplatte 132 über elektrischen Durchführungen 144, 146 von der Rückseite der Keramikplatte her 132 kontaktiert. Sie sind über die Durchführungen an die beispielsweise in Fig. 1e dargestellte Anschlussplatine 134 angeschlossen, um die Planarantenne mit einem Mikrowellensignal zu speisen bzw. ein von der Planarantenne empfangenes Mikrowellensignal abzuleiten.

**[0039]** Fig. 3b zeigt eine Hohlleiterantenne 345, die durch ein metallische Messrohr 310 und einen Liner 320 zum Medium M geführt ist und zum Medium M hin mit einer metallischen MID-Elektrode 146 terminiert ist, welche mit dem Medium im galvanischen Kontakt steht, um bei der Realisierung der Messanordnung als magnetisch induktivem Durchflussmessgerät durchflussabhängige Potentiale zu erfassen.

**[0040]** Die in Fig. 3c dargestellten Ergebnisse einer Simulation zeigen die Ausbreitung der Mikrowellensignale im Liner 320 und im Medium M.

**[0041]** Das Wirkprinzip der erfindungsgemäßen Messanordnung 100 wird nun anhand der Fig. 4a und Fig. 4b erläutert. Der (beispielsweise in einem magnetisch-induktiven Durchflussmesser vorhandene) elektrisch isolierende Liner 120a kann als funktionaler Teil einer Einkoppelstruktur für ein Mikrowellensignal genutzt werden. Die Konstruktion ist so gestaltet, dass der Liner 120a zu allen Seiten mit Ausnahme der medienberührenden Innenflächen an eine metallische Wand angrenzt, nämlich das den Liner 120a umgebende Messrohr 110a und die stirnseitigen Ringscheiben 112a. In dem Schnittbild nach Fig. 4a ist dies schematisch dargestellt. Durch Abrollen entlang des Rohrumfangs lässt sich zeigen, dass der Liner 120a in guter Näherung einem Hohlleiter entspricht, wie in Fig. 4b skizziert ist. Im Vergleich zu einem idealen Rechteckhohlleiter, der an allen Seiten von einer ideal leitfähigen elektrischen Wand begrenzt ist, ist die Leitfähigkeit der oberen medienberührenden Hohlleiterwand endlich und von dem Medium im Messrohr abhängig.

**[0042]** Im Fall sehr gut leitfähiger Medien kann die Wellenausbreitung in dieser Struktur durch die Wellenausbreitung in einem idealen, mit dem dielektrischen Material des Liners gefüllten, Rechteckhohlleiter approximiert werden. Aus den Maxwell-Gleichungen lassen sich dann mehrere Lösungen bestimmen ( $TE_{mn}$  und  $TM_{mn}$ -Moden), die diese Randbedingungen erfüllen. Diese Feldmoden besitzen eine Cutoff-Frequenz  $f_{c,mn}$ , die gegeben ist als

$$f_{c,mn} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\epsilon\mu}} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2} \quad (1)$$

oberhalb derer sie ausbreitungsfähig sind. Dabei bezeichnet a die Länge des Wellenleiters in Richtung der in Abb. 2 bezeichneten x-Koordinatenachse, b die Länge entlang der y-Koordinatenachse. Die ganzzahligen Indizes m und n geben die Ordnung des jeweiligen Modes an. Der Ausbreitungskoeffizient des jeweiligen Mode lässt sich ebenfalls aus den Maxwell-Gleichungen ableiten zu

$$\gamma_{mn}(f) = j \frac{2\pi f \sqrt{\epsilon_r \mu_r}}{c_0} \sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f}\right)^2} \quad (2)$$

**[0043]** Bei Medien mit geringerer Leitfähigkeit kann eine genaue Berechnung der ausbreitungsfähigen Moden sowie der damit verknüpften Ausbreitungskoeffizienten durch Anpassung der Randbedingung der medienberührenden Seite des Hohlleiters und Simulation der Struktur durch Software zur Vollwellensimulation erfolgen. Durch nicht ideal leitfähige Randbedingungen tritt ein zusätzlicher Verlustanteil bei der Wellenausbreitung auf.

**[0044]** Weiterhin besteht durch die ringförmige Anordnung des Wellenleiters entlang des Rohrumfanges die zusätzliche Randbedingung, dass das Feldbild in der vorderen und hinteren Stirnfläche des Modells nach **Abb. 2** in der x-y-Ebene ( $z=\min$  und  $z=\max$ ) identisch sein müssen. Diese zusätzliche Randbedingung kann nur erfüllt werden, wenn die Länge  $l$  des Wellenleiters einem ganzzahligen Vielfachen der Wellenlänge im Wellenleiter entspricht. Diese Bedingung lautet im verlustfreien Fall dann:

$$\lambda = j \frac{2\pi}{\gamma_{mn}(f)} = p \cdot l$$

(3)

**[0045]** Diese Bedingung kann nur für bestimmte Frequenzen  $f$  erfüllt werden, die zugehörigen Resonanzfrequenzen lassen sich hierdurch berechnen. Im verlustbehafteten Fall erfolgt diese Berechnung bevorzugt mit numerischen Hilfsmitteln. Durch die auftretenden Verluste wird die im ideal verlustfreien Fall auftretende Resonanzfrequenz zu einer Resonanzkurve verbreitert, eine Wellenausbreitung ist innerhalb deren Resonanzbreite möglich. Mehrere dieser Resonanzen können ineinander übergehen und so innerhalb eines weiten Frequenzbereiches Wellenausbreitung ermöglichen.

**[0046]** Jede dieser sich vorwiegend im Liner ausbreitenden Moden führt zu einer zugehörigen Stromdichteverteilung in den leitfähigen Grenzflächen. Eine derartige Stromdichteverteilung in der medienberührenden Grenzschicht des Liners bedingt jedoch auch die Ausbreitung eines elektromagnetischen Feldes in das nicht ideal leitfähige Medium hinein. Die Grenzschicht erfüllt also die Funktion einer Antenne. Durch die schnellere Ausbreitungsgeschwindigkeit im Liner im Vergleich zu typischen wässrigen Medien kommt es dabei zu einer gerichteten Abstrahlung elektromagnetischer Leistung durch das Medium, wie in **Fig. 5a** dargestellt ist. Die Graustufen entsprechen hier der elektrischen Feldstärke.

**[0047]** Durch die Überlagerung eines Ausbreitungspfades im Liner mit einem Ausbreitungspfad durch das Medium werden insbesondere für Medien mit geringer elektrischer Leitfähigkeit, aussagekräftigere Transmissionskurven erzielt, wie anhand von **Fig. 5b** verdeutlicht. Die punktierte Kurve zeigt die Transmissionskurve für Mikrowellen in einer erfindungsgemäßen Messanordnung, die mit einem Medium mit einer Leitfähigkeit von 1, 5 S/m gefüllt ist. Die gestrichelte Kurve zeigt die Transmissionskurve für Mikrowellen in einer Messanordnung ohne Liner, die mit einem Medium mit dem gleichen Medium gefüllt ist. Die mit der erfindungsgemäßen Messanordnung gewonnene Transmissionskurve ist deutlich konturenreicher und ermöglicht damit eine zuverlässigere Bestimmung von Medieneigenschaften.

**[0048]** **Fig. 6** zeigt schließlich ein weiteres Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Messanordnung **200**, welche im Wesentlichen die Messanordnung aus **Fig. 1a** bis **Fig. 1e** weiterbildet. Zusätzlich zu zwei Antennenbaugruppen **230** für die Mikrowellensignale sind in gleicher Orientierung zwei Feldspulenbaugruppen **240** zur magnetisch-Induktiven Durchflussmessung (MID) an einem Messrohr **210** angeordnet. In der axialen Position der Feldspulenbaugruppen **240** sind senkrecht zur Richtung eines zwischen Feldspulenbaugruppen **240** wirkenden Magnetfelds und senkrecht zur axialen Richtung des Messrohrs zwei einander gegenüberliegende Elektroden **245** angeordnet die sich durch das Messrohr **210** und eine Liner **220** ins Innere des Messrohrs erstrecken, um ein durchflussabhängiges Potential eines strömenden Mediums zu erfassen. (In der Zeichnung ist nur eine Elektrode dargestellt.) Zusätzlich umfasst die Messanordnung einen Temperatursensor **250** zum Erfassen einer Temperatur des Mediums. Die Messanordnung **200** umfasst weiterhin eine Betriebs- und Auswertungseinheit **260**, an welche die Antennenbaugruppen **230**, die Feldspulenbaugruppen **240**, die Elektroden **245** und der Temperatursensor **250** angeschlossen sind. Die Betriebs- und Auswertungseinheit kann verschiedene Untereinheiten aufweisen, welche unterschiedlichen Messaufgaben der Messanordnung **200** separat bearbeiten.

**[0049]** Anstelle der separaten Antennenbaugruppen **230** können in einer Modifikation auch Hohlleiterantennen mit integrierter MID-Elektrode an der Position der Elektroden **245** verwendet werden.

**ZITATE ENHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Nicht-Patentliteratur**

- L.F. Chen, C.K. Ong, C.P. Neo, V.V. Varadan, V. K. Varadan Microwave Electronics, Measurement and Materials Characterization , John Wiley & Sons Ltd., 2004 [0002]



**Patentansprüche**

1. Messanordnung (100), umfassend:  
ein beidseitig offenes, metallisches Messrohr (110) zum Führen eines Mediums, wobei das Messrohr (110) eine äußere Mantelfläche, eine innere Mantelfläche und mindestens zwei Durchbrüche aufweist, wobei; sich die beiden Durchbrüche von der äußeren Mantelfläche zur inneren Mantelfläche erstrecken;  
eine dielektrische Auskleidungsschicht (120), welche an der inneren Mantelfläche des Messrohrs (110) anliegt;  
eine erste Mikrowellenantenne (130), welche in dem Messrohr (110) angeordnet und durch den ersten Durchbruch kontaktiert ist;  
eine zweite Mikrowellenantenne (130), welche in dem Messrohr angeordnet und durch den zweiten Durchbruch kontaktiert ist;  
wobei die dielektrische Auskleidungsschicht (120) einen dielektrischen Wellenleiter bildet, über den Mikrowellen zumindest anteilig von der ersten Mikrowellenantenne (130) zur zweiten Mikrowellenantenne (130) gelangen können.
2. Messanordnung nach Anspruch 1, weiterhin umfassend eine erste leitfähige Ringstruktur und eine zweite leitfähige Struktur, die jeweils an einer Stirnseite des metallischen Messrohrs angeordnet sind und die dielektrische Auskleidungsschicht stirnseitig begrenzen.
3. Messanordnung nach Anspruch 1 oder 2,  
wobei die erste Mikrowellenantenne von der Auskleidungsschicht bedeckt ist und/ oder;  
wobei die zweite Mikrowellenantenne von der Auskleidungsschicht bedeckt ist.
4. Messanordnung nach Anspruch 1, 2 oder 3,  
wobei das Messrohr im Wesentlichen zylindrisch ist;  
wobei die Auskleidungsschicht eine Stärke  $b$  aufweist, die nicht mehr als 10 mm, insbesondere nicht mehr als 8 mm und bevorzugt nicht mehr als 7 mm beträgt,  
und/oder ein Fünftel insbesondere nicht mehr als ein Sechstel des Innendurchmessers des Messrohrs beträgt.
5. Messanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Auskleidungsschicht eine Stärke  $d$  aufweist, die nicht weniger als 2 mm, insbesondere nicht weniger als 4 mm und bevorzugt nicht weniger als 5 mm beträgt.
6. Messanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Messrohr eine Messrohrachse aufweist, wobei eine gerade Verbindungslinie zwischen der ersten Mikrowellenantenne und der zweiten Mikrowellenantenne existiert, welche die Messrohrachse in einem rechten Winkel schneidet.
7. Messanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei mindestens eine der Mikrowellenantennen eine Planarantenne umfasst, wobei insbesondere beide Mikrowellenantennen eine Planarantenne umfassen.
8. Messanordnung nach Anspruch 7, wobei mindestens eine der Planarantennen spiralförmig ausgebildet ist, wobei insbesondere beide Planarantennen spiralförmig ausgebildet sind.
9. Messanordnung nach Anspruch 7 oder 8, wobei mindestens eine der Planarantennen eine drucktragende Keramikplatte als Trägerkörper aufweist, wobei insbesondere beide Planarantennen eine drucktragende Keramikplatte als Trägerkörper aufweisen.
10. Messanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, weiterhin umfassend eine Magnetbaugruppe zum Erzeugen eines Magnetfelds, welches das Messrohr im Wesentlichen senkrecht zur Messrohrachse durchdringt.
11. Messanordnung nach Anspruch 10, weiterhin umfassend eine erste Elektrode und eine zweite Elektrode welche sich durch die Auskleidungsschicht in das Messrohr erstrecken, wobei die Elektroden dazu eingerichtet sind, ein in dem Messrohr geführtes Medium elektrisch zu kontaktieren, wobei insbesondere eine gerade Verbindungslinie zwischen den beiden Elektroden im Wesentlichen senkrecht zum Magnetfeld und senkrecht zur Messrohrachse verläuft.
12. Messanordnung nach Anspruch 10, wobei die erste Mikrowellenantenne die erste Elektrode aufweist, und die zweite Mikrowellenantenne die zweite Elektrode aufweist.

13. Messanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, weiterhin umfassend: eine Betriebs- und Auswertungselektronik welche einen Hochfrequenzgenerator zum Speisen mindestens einer der Mikrowellenantennen mit mindestens einem Hochfrequenzsignal aufweist, und welche dazu eingerichtet ist anhand der von der anderen Antenne empfangenen Mikrowellensignale mindestens eine Eigenschaft eines in dem Messrohr geführten Mediums zu bestimmen.

14. Messanordnung nach Anspruch 13, wobei der Hochfrequenzgenerator dazu eingerichtet ist, die mindestens eine der Mikrowellenantennen mit einer Folge von Hochfrequenzsignalen unterschiedlicher Frequenzen zu speisen.

15. Messanordnung nach Anspruch 13 oder 14, wobei die Betriebs- und Auswerteelektronik dazu eingerichtet ist, die mindestens eine Eigenschaft des in dem Messrohr geführten Mediums anhand der Dämpfung der Hochfrequenzsignale und/oder der Phasenlage zwischen den eingestrahlten und empfangenen Hochfrequenzsignalen zu bestimmen.

16. Messanordnung nach Anspruch 10, und einem der Ansprüche 11 oder 12 und einem der Ansprüche 13 bis 15, wobei die Magnetbaugruppe mindestens eine Feldspule umfasst, wobei die Betriebs- und Auswerteelektronik dazu eingerichtet ist, die mindestens eine Feldspulen zu speisen, ein Potential zwischen der ersten Elektrode und der zweiten Elektrode zu erfassen, welches von der Durchflussgeschwindigkeit des eines Mediums durch das Messrohr abhängt, und anhand des Potentials einen Durchflussmesswert zu ermitteln.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

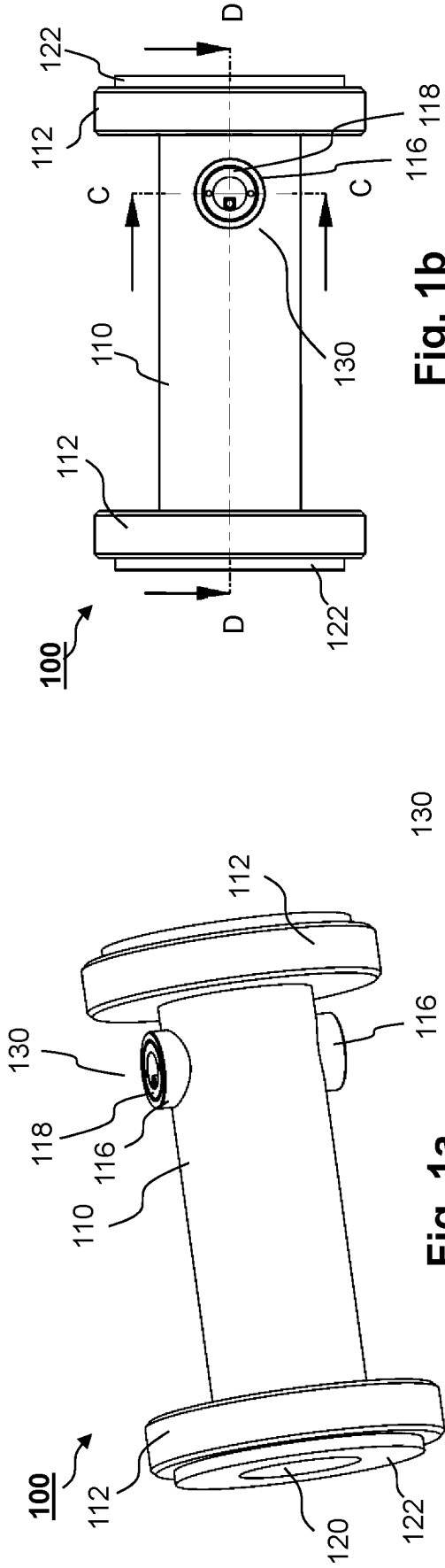


Fig. 1b

Fig. 1a

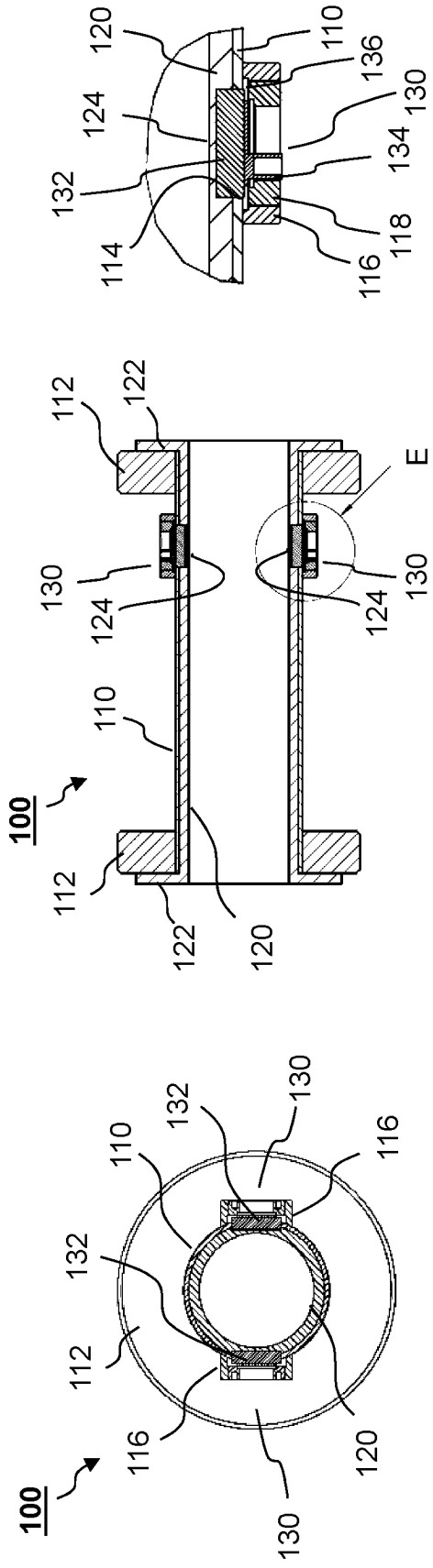
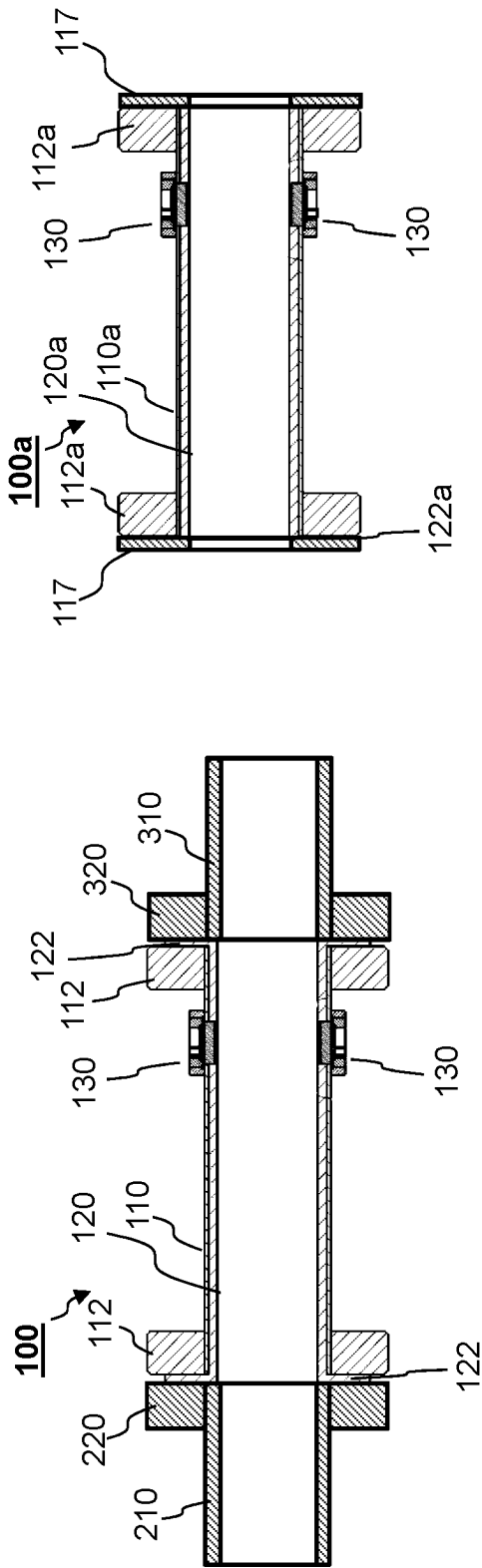


Fig. 1c

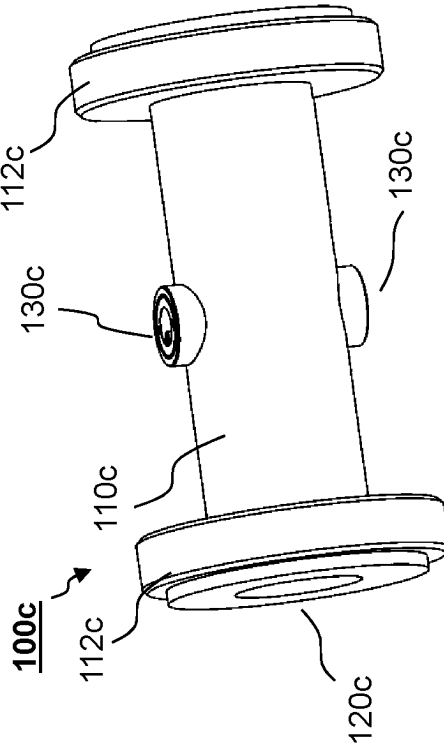
Fig. 1d

Fig. 1e



**Fig. 2a**

**Fig. 2b**



**Fig. 2c**

**Fig. 2d**

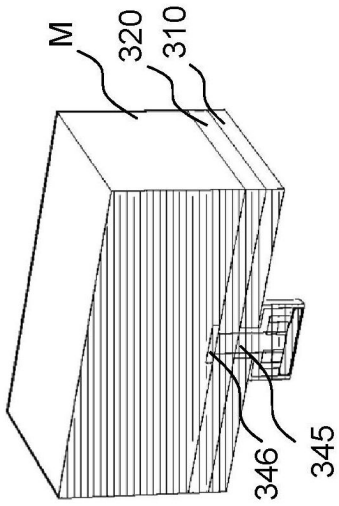


Fig. 3b

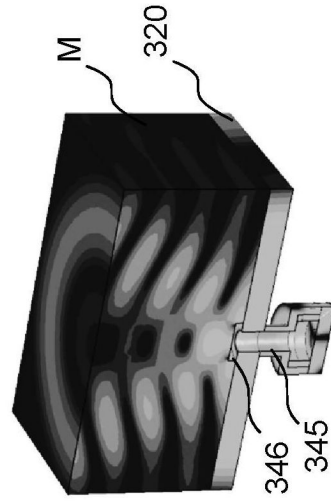


Fig. 3c

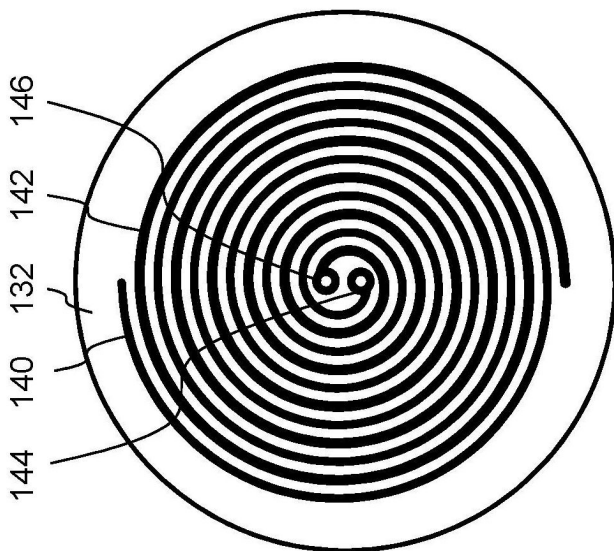


Fig. 3a

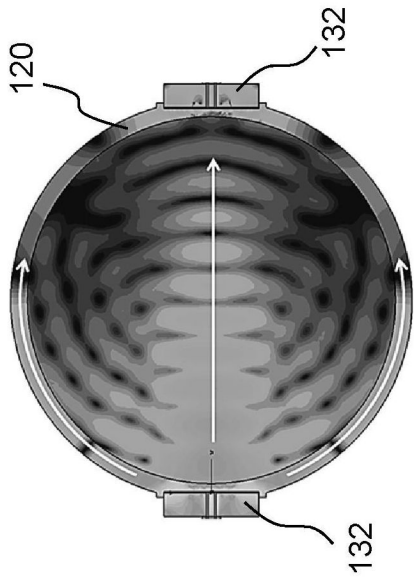


Fig. 5a

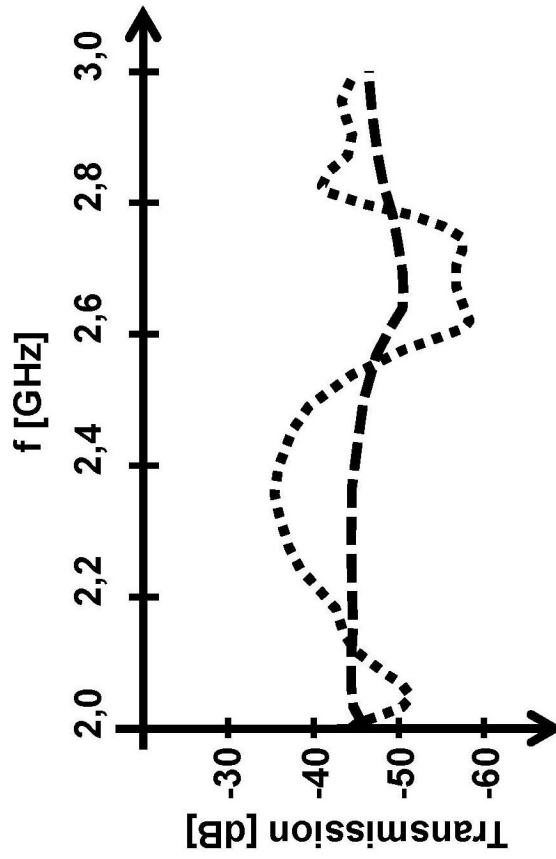


Fig. 5b

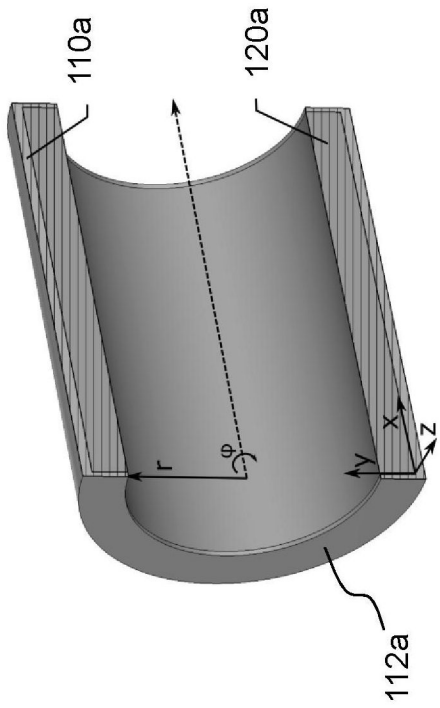


Fig. 4a

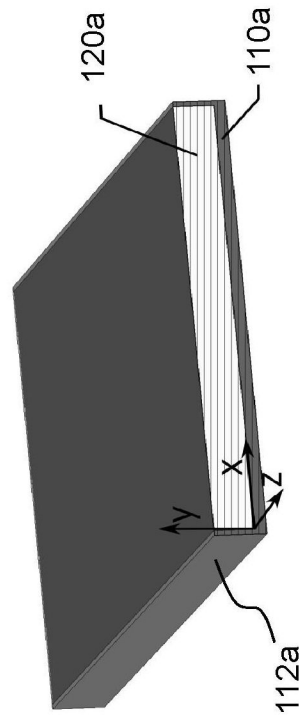


Fig. 4b

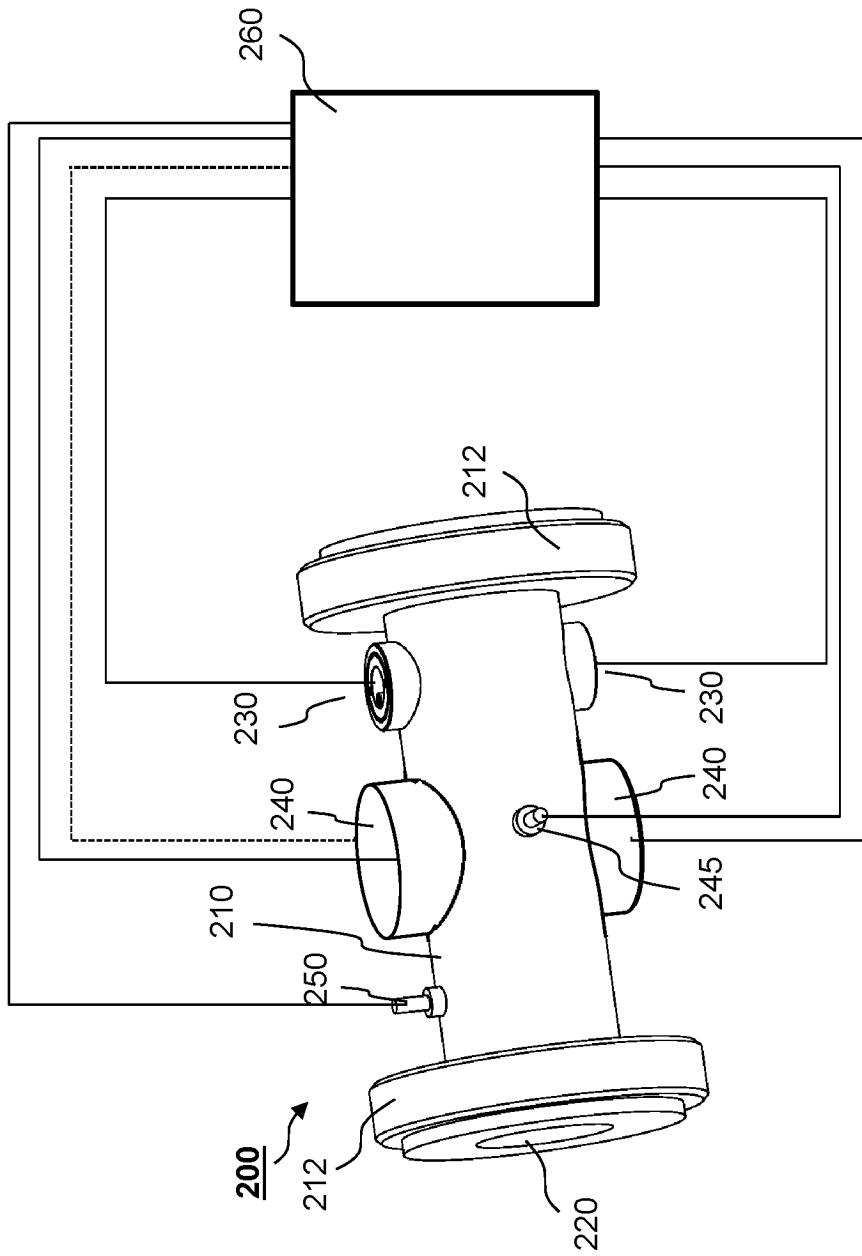


Fig. 6