



(10) **DE 10 2018 110 655 A1** 2018.11.08

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2018 110 655.6**

(22) Anmeldetag: **03.05.2018**

(43) Offenlegungstag: **08.11.2018**

(51) Int Cl.: **G01L 7/02 (2006.01)**

**G01K 7/22 (2006.01)**

**G01K 13/02 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:  
**15/586,627**                      **04.05.2017**      **US**

(74) Vertreter:  
**Reitstötter Kinzebach, 81679 München, DE**

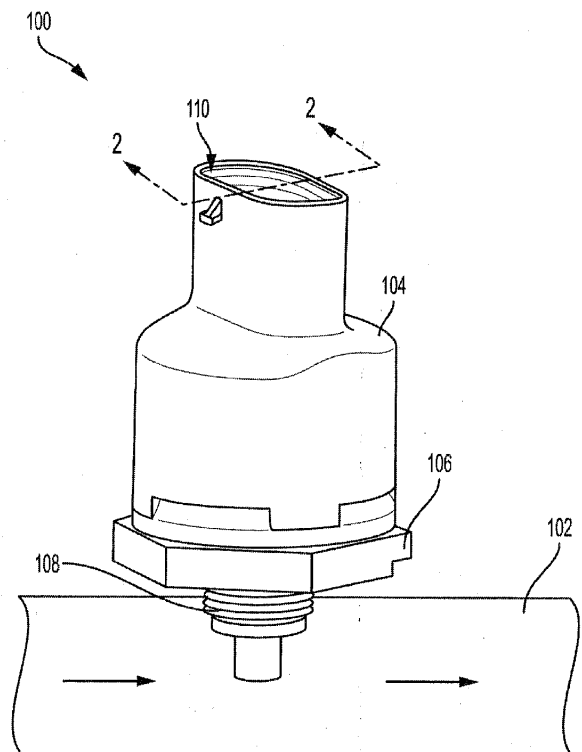
(71) Anmelder:  
**Sensata Technologies, Inc., Attleboro, Mass., US**

(72) Erfinder:  
**Petrarca, Neil, Warwick, R.I., US; Vonk, Edwin, WK  
Enschede, NL**

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

(54) Bezeichnung: **Integrierter Druck- und Temperatursensor**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Erfassung von Druck und Temperatur in einer Fluidumgebung, die eine Abdeckung umfasst, die einen Innenraum definiert. Eine Thermistorröhre ist zumindest teilweise in dem Innenraum angeordnet, wobei sich die Thermistorröhre im Wesentlichen entlang einer Längsachse erstreckt. Ein Anschlusskörper ist außerdem wenigstens teilweise in dem Innenraum angeordnet, wobei der Anschlusskörper einen Kanal bildet, der sich entlang der Längsachse erstreckt, um Fluid aus einer Fluidumgebung aufzunehmen. Eine Membran ist in dem Anschlusskörper befestigt. Die Membran weist eine erste Oberfläche auf, die dem Fluid in dem Kanal ausgesetzt ist und eine zweite Oberfläche, die gegenüber dem Kanal abgedichtet ist.



## Beschreibung

### Gebiet der Erfindung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft Sensoren, insbesondere verbesserte Vorrichtungen zur Messung von sowohl Druck als auch Temperatur.

### Hintergrund der Erfindung

**[0002]** Druck- und Temperatursensortechnologien werden zurzeit in einer zunehmenden Zahl von Anwendungen in unterschiedlichsten Umgebungen eingesetzt. Beispielsweise werden in der Automobilindustrie Druck- und/oder Temperatursensoren heutzutage in Brennstoffsysteme, Bremssysteme, Fahrzeugstabilitätssysteme und viele andere eingebaut. Mit der zunehmenden Verbreitung der Sensortechnologie geht ein zunehmender Bedarf an genauen und kostengünstigen Vorrichtungen zur Messung von Druck und Temperatur einher. Darüber hinaus ist es mit der kontinuierlichen Weiterentwicklung der Technologie wünschenswert, dass Sensoren so konstruiert werden, dass sie so wenig Platzbedarf wie nötig beanspruchen und dabei immer noch zuverlässig sind.

### Zusammenfassung der Erfindung

**[0003]** Die erfindungsgemäße Technologie überwindet Nachteile des Standes der Technik, indem sie einen Druck- und Temperatursensor bereitstellt, der in eine Einzelvorrichtung integriert ist, die genau arbeitet, kostengünstig ist und nur wenig Platz beansprucht.

**[0004]** In wenigstens einigen Ausführungsformen betrifft die erfindungsgemäße Technologie eine Vorrichtung zur Erfassung von Druck und Temperatur in einer fluiden Umgebung. Die Vorrichtung weist eine Abdeckung auf, die einen Innenraum definiert, wobei die Abdeckung im Innenraum einen ringförmigen Flansch umfasst. Ein Anschlussgehäuse weist einen äußeren ringförmigen Ring auf, der mit dem ringförmigen Flansch zur Bildung einer Doppelclinch-Abdichtung zusammenwirkt. Die Doppelclinch-Abdichtung dichtet den Anschlusskörper hermetisch mit der Abdeckung ab. Der Anschlusskörper weist außerdem Innenwände auf, die eine Thermistorröhre umgeben und so einen Kanal zur Aufnahme von Fluid aus der Fluidumgebung bilden, wobei sich der Kanal im Wesentlichen parallel zu einer Längsachse erstreckt. Wenigstens eine Membran ist in dem Anschlusskörper entlang einer Ebene montiert, die im Wesentlichen parallel zu der Längsachse verläuft. Jede Membran weist wenigstens ein Drucksensorelement auf, das mit einer distal von dem Kanal befindlichen Fläche gekoppelt ist. Die Vorrichtung umfasst außerdem eine Elektronikmodulbaugruppe mit einem ersten Ende und einem zweiten Ende. Das erste Ende ist über

der Thermistorröhre entlang der Längsachse angeordnet und weist eine Vielzahl von Elektronikkomponenten auf. Das zweite Ende ist innerhalb der Thermistorröhre angeordnet und weist eine Vielzahl von Thermistorelementen auf, die elektrisch mit den Elektronikkomponenten verbunden sind. Jedes Thermistorelement ist so kalibriert, dass es Temperatur innerhalb eines vorgegebenen, von anderen Elementen verschiedenen Bereichs misst. Jedes Drucksensorelement ist so kalibriert, dass es Druck innerhalb eines vorgegebenen, von anderen Elementen verschiedenen Bereichs misst und gegenüber der Elektronikmodulbaugruppe versetzt ist.

**[0005]** In wenigstens einigen Ausführungsformen betrifft die erfindungsgemäße Technologie eine Vorrichtung zur Erfassung von Druck und Temperatur in einer Fluidumgebung, die eine Abdeckung umfasst, die einen Innenraum definiert. Eine Thermistorröhre ist wenigstens teilweise innerhalb von dem Innenraum angeordnet, wobei sich die Thermistorröhre im Wesentlichen entlang der Längsachse erstreckt. Ein Anschlussgehäuse ist wenigstens teilweise in dem Innenraum angeordnet, wobei das Anschlussgehäuse einen Kanal bildet, der sich entlang der Längsachse erstreckt, um Fluid aus der Fluidumgebung aufzunehmen. Eine erste Membran ist in dem Anschlussgehäuse montiert. Die erste Membran hat eine erste Oberfläche, die dem Fluid in dem Kanal ausgesetzt ist und eine zweite Oberfläche, die gegenüber dem Kanal abgedichtet ist. In einigen Ausführungsformen ist die Thermistorröhre von dem Anschlussgehäuse abgesetzt und das Anschlussgehäuse ist mit der Abdeckung über eine Doppelclinch-Abdichtung abgedichtet. In einigen Ausführungsformen weist der Anschlusskörper Innenwände auf, welche die Thermistorröhre bezüglich der Längsachse umgeben und der Kanal wird zwischen dem Anschlusskörper und der Thermistorröhre gebildet. Die erste Membran bildet dann eine Ebene, die im Wesentlichen parallel zu der Längsachse verläuft.

**[0006]** In einigen Ausführungsformen umfasst die Vorrichtung ein erstes Drucksensorelement, welches mit der zweiten Oberfläche der ersten Membran gekoppelt ist. In einigen Fällen umfasst die Vorrichtung ein zweites Drucksensorelement, das mit der zweiten Oberfläche der ersten Membran gekoppelt ist. In anderen Ausführungsformen ist eine zweite Membran in den Anschlusskörper montiert und verläuft im Wesentlichen parallel zu der Längsachse. Die zweite Membran kann eine erste Oberfläche aufweisen, die dem Fluid innerhalb des Kanals ausgesetzt ist, und eine zweite Oberfläche, die gegenüber dem Kanal abgedichtet ist. Ein zweites Drucksensorelement kann mit der zweiten Oberfläche der zweiten Membran gekoppelt sein. In einigen Ausführungsformen sind die Drucksensorelemente jeweils so kalibriert, dass sie Druck in unterschiedlichen vorgegebenen Druckbereichen messen können. Die Thermistorröh-

re kann außerdem einen Last tragenden Flansch umfassen, der sich über den Kanal erstreckt, um mit einem oberen Abschnitt des Anschlusskörpers in Kontakt zu treten.

**[0007]** In einigen Ausführungsformen umfasst die Vorrichtung außerdem eine Elektronikmodulbaugruppe, die sich im Wesentlichen entlang der Längsachse erstreckt. Die Elektronikmodulbaugruppe weist ein unteres Ende auf, das innerhalb der Thermistorröhre angeordnet und mit einem Thermistorelement gekoppelt ist. Die Elektronikmodulbaugruppe kann wenigstens ein zusätzliches unteres Thermistorelement aufweisen, das mit dem unteren Ende der Elektronikmodulbaugruppe innerhalb der Thermistorröhre gekoppelt ist. In einigen Fällen ist jedes zusätzliche untere Thermistorelement so kalibriert, dass es Temperaturen innerhalb für jedes Element verschiedener Temperaturbereiche messen kann. Die Elektronikmodulbaugruppe kann außerdem ein oberes Ende umfassen, das über der Thermistorröhre entlang der Längsachse angeordnet ist, wobei das obere Ende eine Vielzahl von Elektronikkomponenten aufweist.

**[0008]** In einigen Ausführungsformen betrifft die erfindungsgemäße Technologie eine Vorrichtung zur Messung von Druck und Temperatur in einer Fluidumgebung. Die Vorrichtung umfasst eine Abdeckung, die einen Innenraum definiert, die in dem Innenraum einen ringförmigen Flansch umfasst. Ein Anschlusskörper mit einem äußeren ringförmigen Ring ist in dem Innenraum positioniert. Der äußere ringförmige Ring koppelt mit dem ringförmigen Flansch zur Bildung einer mechanischen Abdichtung, die den Anschlusskörper gegenüber der Abdeckung abdichtet. In wenigstens einer Ausführungsform ist die mechanische Abdichtung eine Doppelclinch-Abdichtung. Eine Thermistorröhre kann in dem Innenraum angeordnet sein und einen offenen oberen Abschnitt und einen geschlossenen unteren Abschnitt aufweisen. Ein Kanal kann zwischen der Thermistorröhre und der Abdeckung gebildet werden, um ein Fluid aus der Fluidumgebung aufzunehmen.

**[0009]** In einigen Ausführungsformen umfasst die Vorrichtung eine Elektronikmodulbaugruppe. Die Elektronikmodulbaugruppe weist ein unteres Ende auf, das innerhalb der Thermistorröhre angeordnet ist und eine Vielzahl von unteren Elektronikkomponenten besitzt. Die Elektronikmodulbaugruppe weist außerdem einen zentralen Abschnitt auf, der sich durch den offenen oberen Abschnitt der Thermistorröhre erstreckt. Schließlich ist ein oberer Abschnitt der Elektronikmodulbaugruppe über der Thermistorröhre angeordnet und weist eine Vielzahl von oberen Elektronikkomponenten auf. Das untere Ende der Elektronikmodulbaugruppe kann ebenfalls eine Vielzahl von Thermistorelementen aufweisen. In einigen Ausführungsformen umfassen die Elektronikkomponenten des unteren Endes eine Signalaufbereitungselek-

tronik. Die Vorrichtung kann eine Membran umfassen, die innerhalb des Anschlusskörpers montiert ist und eine Ebene bildet, die im Wesentlichen parallel zu dem Kanal verläuft. Die Membran kann so konfiguriert sein, dass sie sich in Abhängigkeit von einem Druck des Fluids verbiegt. Außerdem kann ein Drucksensorelement mit einer Oberfläche der Membran gekoppelt sein, um Druck in der Fluidumgebung abhängig von der Biegung der Membran zu messen.

#### Figurenliste

**[0010]** Damit der Fachmann auf dem Gebiet, zu welchem das hier beschriebene System gehört, besser versteht, wie dieses hergestellt und verwendet werden soll, kann auf die folgenden Zeichnungen Bezug genommen werden.

**Fig. 1** ist eine perspektivische Ansicht eines erfindungsgemäßen integrierten Druck- und Temperatursensors.

**Fig. 2** ist eine perspektivische Ansicht im Querschnitt eines erfindungsgemäßen integrierten Druck- und Temperatursensors.

**Fig. 3** ist eine Stirnansicht im Querschnitt eines erfindungsgemäßen integrierten Druck- und Temperatursensors.

**Fig. 4** ist eine perspektivische Ansicht des Inneren eines Anschlusskörpers gemäß der erfindungsgemäßen Technologie.

**Fig. 5** ist eine perspektivische Ansicht einer Elektronikmodulbaugruppe gemäß der erfindungsgemäßen Technologie.

Die **Fig. 6A** - **Fig. 6E** zeigen ein Verfahren zur Herstellung eines integrierten Druck- und Temperatursensors gemäß der erfindungsgemäßen Technologie.

**Fig. 7** ist eine Querschnittsansicht eines integrierten Druck- und Temperatursensors mit einem Last tragenden Flansch gemäß der erfindungsgemäßen Technologie.

**Fig. 8A** ist eine perspektivische Ansicht eines integrierten Druck- und Temperatursensors gemäß der erfindungsgemäßen Technologie, wobei ein Spannungsprofil dargestellt ist.

**Fig. 8B** ist eine perspektivische Ansicht einer Ausführungsform eines integrierten Druck- und Temperatursensors gemäß der erfindungsgemäßen Technologie.

**Fig. 9A** ist eine perspektivische Ansicht eines integrierten Druck- und Temperatursensors gemäß der erfindungsgemäßen Technologie, wobei ein Temperaturprofil dargestellt ist.

**Fig. 9B** ist eine perspektivische Ansicht einer Ausführungsform eines integrierten Druck- und

Temperatursensors gemäß der erfindungsgemäßen Technologie.

**Fig. 10** ist eine Querschnittsansicht einer weiteren Ausführungsform eines integrierten Druck- und Temperatursensors gemäß der erfindungsgemäßen Technologie.

#### DETAILLIERTE BESCHREIBUNG EINER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORM

**[0011]** Die erfindungsgemäße Technologie überwindet viele der im Stand der Technik mit Sensoren zusammenhängenden Probleme. Die Vorteile und andere Merkmale der hier offenbarten Systeme und Verfahren werden dem Durchschnittsfachmann aus der folgenden detaillierten Beschreibung bestimmter bevorzugter Ausführungsformen in Verbindung mit den Zeichnungen, die repräsentative Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung darstellen, leichter ersichtlich. Im Folgenden werden gleiche Bezugszeichen verwendet, um gleiche Teile zu bezeichnen.

**[0012]** In **Fig. 1** ist eine integrierte Druck- und Temperaturerfassungsvorrichtung gemäß der erfindungsgemäßen Technologie insgesamt mit der Bezugsziffer **100** bezeichnet. Die Vorrichtung **100** enthält Komponenten zur Erfassung eines Drucks in einer Fluidumgebung **102**, wie im Folgenden ausführlicher erörtert werden wird. Die Vorrichtung **100** weist ein Gehäuse **104** und eine Abdeckung **106** auf, die lösbar miteinander verbunden sind, um die inneren Komponenten zu umschließen. Die Abdeckung **106** weist einen mit einem Gewinde versehenen Bodenabschnitt **108** auf, der eine sichere Befestigung der Vorrichtung in der Fluidumgebung **102** ermöglicht. Das Gehäuse **104** enthält einen oberen Auslass **110**, der einen Stecker aufnehmen kann, um die inneren Komponenten mit externen Einrichtungen elektrisch zu verbinden.

**[0013]** In den **Fig. 2-3** wird eine Querschnittsansicht eines integrierten Druck- und Temperatursensors allgemein mit der Bezugsziffer **200** bezeichnet. Wie dargestellt, hält die Abdeckung **206** die Vorrichtung **200** sicher in der Fluidumgebung **208**. Ein Kanal **226** zur Aufnahme eines Fluids **228** aus der Fluidumgebung **202** wird zwischen einer Thermistorröhre **224**, einem Anschlusskörper **216** und der Abdeckung **206** definiert. Im Allgemeinen umfasst der Anschlusskörper **216** Sensorelemente **230** zur Druckerfassung, während die Thermistorröhre **224** Thermistorelemente **232** zur Temperaturerfassung enthält. Der Kanal **226** erstreckt sich entlang der Längsachse „a“, was die seitliche Aufnahme von Fluid bezüglich dem Fluss „f“ der Fluidumgebung **202** ermöglicht.

**[0014]** Die Abdeckung **206** definiert einen Innenraum, in welchem sie einen inneren ringförmigen Flansch **212** aufweist. Der innere ringförmige Flansch **212** ist mit einem äußeren ringförmigen Ring **214** des Anschlusskörpers **216** zur Bildung einer mecha-

nischen Dichtung **218** verbunden, um so die Abdeckung **206** gegen den Anschlusskörper **214** abzudichten. In der dargestellten Ausführungsform ist die mechanische Dichtung **218** eine Doppelcrimp-Dichtung. Die Dichtung **218** verhindert, dass Fluid **228** in einen Hohlraum **220** eintritt, der von dem Gehäuse **204** und der Abdeckung **206** definiert wird und in dem eine Elektronikmodulbaugruppe **222** angeordnet ist. Die Elektronikmodulbaugruppe **222** ist außerdem an dem Gehäuse **206** und dem Anschlusskörper **216** zur Verbesserung der Stabilität durch ein Stützelement **248** befestigt.

**[0015]** Immer noch Bezug nehmend auf die **Fig. 2-3** erkennt man in der dargestellten Ausführungsform, dass Thermistorelemente **232** die Temperatur aufzeichnen können, wenn Fluid **228** in dem Kanal **226** die Thermistorröhre **224** kontaktiert. Obwohl in dem dargestellten Beispiel nur ein Thermistorelement **232** gezeigt ist, sei darauf hingewiesen, dass mehrere Thermistorelemente **232** an verschiedenen Stellen innerhalb der Thermistorröhre **224** verwendet werden können, um Temperaturen in unterschiedlichen Bereichen aufzuzeichnen, wie im Folgenden detaillierter beschrieben werden wird. Im Allgemeinen sind die Thermistorelemente **232** irgendwo im unteren Abschnitt **242** der Elektronikmodulbaugruppe **222** angeordnet, die in der Thermistorröhre **224** eingeschlossen ist. Die Thermistorelemente **232** stehen in elektrischer Verbindung mit den elektrischen Komponenten **238** im oberen Abschnitt **240** der Elektronikmodulbaugruppe **222**. Beispielsweise können die Thermistorelemente **232** über (hier nicht dargestellte) Verbindungen mit den elektrischen Komponenten **238** verbunden sein.

**[0016]** In ähnlicher Weise, allerdings für die Druckerfassung, sind zwei Sensorelemente **230** an einem biegsamen Abschnitt des Anschlusskörpers **216** befestigt. Insbesondere weist der Anschlusskörper **216** eine Seitenwand **234** mit einem oder mehreren Bereichen mit verringerter Breite im Vergleich zum Rest des Anschlusskörpers **216** auf. Die innere Oberfläche der Seitenwand **234** ist dem Fluid **228** in dem Kanal **226** ausgesetzt. Dies ermöglicht einem oder mehreren Bereichen der Seitenwand **234** sich abhängig vom Druck in der Fluidumgebung **202** zu biegen. Beispielsweise kann die Seitenwand **234** mehrere dünne, flexible Bereiche enthalten, die als einzelne Diaphragmen wirken und unter jedem Sensorelement **230** positioniert sind. Alternativ kann die gesamte Seitenwand **234** als Membran wirken und ein oder mehrere Sensorelemente **230** können an unterschiedlichen Stellen an der Seitenwand **234** positioniert werden. Im Allgemeinen werden die Sensorelemente **230** an der äußeren Oberfläche der Seitenwand **234** oder der Membran befestigt, wodurch ein physischer Kontakt zwischen den Sensorelementen **230** und dem Fluid **228** eingeschränkt oder verhindert wird (in der vorliegenden Beschreibung wer-

den die Begriffe „Seitenwand“ und „Membran“ austauschbar verwendet, um flexible Abschnitte des Anschlusskörpers **216** zu bezeichnen). Die Sensorelemente **230** übertragen ein Signal über die Verbindungen **236** an die elektrischen Komponenten **238** im oberen Abschnitt **240** der Elektronikmodulbaugruppe **222**. Die Kombination von Gehäuse **204**, Abdeckung **206** und Anschlusskörper **216** halten die Sensorelemente **230** von dem Fluid **228** des Kanals **226** isoliert.

**[0017]** In der dargestellten Ausführungsform sind die Seitenwand **234** und die Sensorelemente **230** entlang einer Ebene parallel zu der Längsachse „a“ (und somit parallel zu dem Kanal **226**) angeordnet. Durch Positionieren der Seitenwand **234** und somit auch der Sensorelemente **230** entlang einer Ebene parallel zu dem Fluidkanal „a“, können die Sensorelemente **230** so kalibriert werden, dass sie den verschiedenen Druckwerten entsprechen, die an unterschiedlichen Stellen der Seitenwand **234** gemessen werden können, wie im Folgenden ausführlicher beschrieben werden wird. Ferner wird durch die seitliche Ausrichtung vieler Komponenten (d. h. der Elektronikmodulbaugruppe **222**, der Thermistorröhre **224**, der Seitenwand **234**) entlang der Längsachse „a“ die Breite der Vorrichtung **200** verringert, während ihre Genauigkeit noch erhalten bleibt. Obwohl zwei Sensorelemente **230** dargestellt sind, sei darauf hingewiesen, dass eine unterschiedliche Zahl von Sensorelementen **230** verwendet werden kann, beispielsweise eines, drei, vier oder mehr, abhängig von der gewünschten Anwendung, wie im Folgenden detaillierter beschrieben werden wird.

**[0018]** In **Fig. 4** ist eine perspektivische Unteransicht des Anschlusskörpers **216** dargestellt. Sensorelemente **230**, die gestrichelt dargestellt sind, sind an der Außenseite der Seitenwand **234** befestigt. Wenn der Anschlusskörper **216** in den Rest der Vorrichtung **200** eingebaut ist und in der Praxis verwendet wird, erwartet man, dass die Seitenwand **234** parallel und angrenzend an den Fluidkanal **226** verläuft. Da sie parallel zum Fluidkanal **226** verläuft, biegt sich die Seitenwand **234** senkrecht zu der Strömung des Fluids **228** durch den Fluidkanal **226**. Es können beliebige Sensorelemente **230** verwendet werden, die in der Lage sind, Druck in Abhängigkeit von der Biegung einer Oberfläche zu erfassen. Beispielsweise können die Sensorelemente **230** Dehnmessers mit Piezowiderständen sein. Wenn sie die Seitenwand **234** biegt, ändert sich der Widerstand der Widerstände in Abhängigkeit von der Biegung. Der Widerstand des Dehnmessers **230** kann beispielsweise dadurch gemessen werden, dass ein oder mehrere Wheatstone-Brücken angeordnet werden, um die Widerstandsänderung der Piezowiderstände in jedem Sensorelement **230** zu messen. Auf der Grundlage des Widerstandes der Piezowiderstände in dem Sensorelement **230** kann die Biegung einer Stelle der Seitenwand **234** und somit der Druck des

Fluids in der Fluidumgebung **202** ermittelt werden. Der Widerstand kann an die Elektronik **238** über Verbindungen **236** übermittelt werden.

**[0019]** In **Fig. 5** ist eine Elektronikmodulbaugruppe gemäß der erfindungsgemäßen Technologie insgesamt mit der Bezugsziffer **222** dargestellt. Ein unteres Thermistorelement **232**, das in einem unteren Abschnitt **242** angeordnet ist, befindet sich in elektrischer Verbindung mit der Elektronik **238** im oberen Abschnitt **240**. Im Allgemeinen ist die Elektronikmodulbaugruppe **222** derart in die Vorrichtung eingebaut, dass die Baugruppe **222** entlang der Längsachse „a“ ausgerichtet ist, wobei sich der untere Abschnitt **242** durch die Thermistorröhre **224** erstreckt und sich der obere Abschnitt **240** oberhalb der Thermistorröhre **224** im Innenraum des Gehäuses **204** befindet (vgl. **Fig. 2-3**). Die Elektronik **238** kann Komponenten zur Speicherung, Interpretation, Veränderung und/oder Übertragung von Signalen von verschiedenen anderen Komponenten, beispielsweise den Sensorelementen **230** und den Thermistorelementen **232** umfassen. Beispielsweise können die oberen Elektronikkomponenten **238** eine Anzahl Bondpads, Signalverarbeitungs- oder Übertragungsausrüstung, oder ein oder mehrere anwendungsspezifische integrierte Schaltkreise enthalten. Ein Signal der Elektronik **238** kann auf unterschiedliche Weise an externe Einrichtungen übertragen werden, beispielsweise als drahtloses Signal oder über einen drahtgebundenen Anschluss durch den oberen Auslass **210**.

**[0020]** In den **Fig. 6A-6E** ist ein Verfahren zum Zusammenbau eines integrierten Druck- und Temperatursensors **200** gemäß der erfindungsgemäßen Technologie dargestellt. Wie in **Fig. 6A** dargestellt, gleitet die Thermistorröhre **224** (beispielsweise ein NTC(Negative Temperature Coefficient)-Thermistor) in eine obere Öffnung des Anschlusskörpers **216**. Der Kanal **226** wird teilweise zwischen dem größeren Innendurchmesser „D1“ des Anschlusskörpers **216** und dem kleineren Außendurchmesser „D2“ der Thermistorröhre **216** gebildet. Die Thermistorröhre **224** weist einen oberen Abschnitt **244** mit einem Außendurchmesser „D3“ auf, der nur geringfügig kleiner als der Innendurchmesser D1 des Anschlusskörpers ist. Daher sitzt der obere Abschnitt des Thermistorrohrs **224** dicht in dem Anschlusskörper **216** und die beiden Teile können dicht an der Oberseite für eine permanente Kopplung zusammengeschweißt werden.

**[0021]** Wie in **Fig. 6B** dargestellt, wird die Elektronikmodulbaugruppe (Elektronikmodulanordnung EMA) **222** dann an anderen Komponenten der Vorrichtung **200** angebracht. Die Elektronikmodulbaugruppe **222** wird mit den gewünschten Komponenten vormontiert, bevor sie mit dem Rest der Vorrichtung **200** verbunden wird. Beispielsweise kann der untere Abschnitt **242** der Elektronikmodulbaugruppe **222** ein Thermistorelement **232** umfassen, welches elektrisch

mit den Elektronikkomponenten **238** des oberen Abschnitts **240** der Elektronikmodulbaugruppe **222** gekoppelt wird. Eine Wärmeleitpaste wird dann in die Thermistorröhre **224** eingebracht. Die Elektronikmodulbaugruppe **222** wird dann entlang der Längsachse „a“ eingeschoben, wobei das untere Ende **242** der Elektronikmodulbaugruppe **222** in den oberen Abschnitt der Thermistorröhre **224** eindringt. Die Sensorelemente **230** können dann mit den Bondpads (Teile der Elektronik **238**) auf der Elektronikmodulbaugruppe **222** verbunden werden. Wie in **Fig. 6C** dargestellt, ist die Elektronikmodulbaugruppe außerdem mechanisch mit einem Stützelement **248** verbunden, welches an dem Gehäuse **206** und/oder dem Anschlusskörper **216** angebracht ist, um die Elektronikmodulbaugruppe **222** an Ort und Stelle zu halten.

**[0022]** Wie in **Fig. 6D** dargestellt, wird eine Dichtung **218** (beispielsweise eine Doppelcrimp- oder Doppelclinch-Dichtung, wie in den **Fig. 2-3** dargestellt) zwischen dem Anschlusskörper **216** und der Abdeckung **206** gebildet. Um diese Dichtung **218** zu erzeugen, wird der Anschlusskörper **216** im Inneren der Abdeckung **206** so positioniert, dass der ringförmige Ring **214** des Anschlusskörpers **216** gegen den ringförmigen Flansch **212** der Abdeckung **206** in Anlage kommt. Die Abdeckung **206** besteht aus einem Material, das leichter verformbar ist als das Material des Anschlusskörpers **216**. Beispielsweise kann die Abdeckung **206** aus Aluminium bestehen, während der Anschlusskörper **216** aus Stahl besteht. Ein Klemmelement **250** wird dann über der oberen Oberfläche des ringförmigen Flansches **212** positioniert. Wenn das Klemmelement **250** nach unten gedrückt wird, wird die obere Oberfläche des ringförmigen Flansches **212** nach innen gepresst und über die obere Oberfläche des ringförmigen Rings **214** gefaltet. Auf diese Weise wird der ringförmige Flansch **212** der Abdeckung **206** über den ringförmigen Ring **214** des Anschlusskörpers **216** gefaltet, so dass der ringförmige Flansch **212** sowohl bezüglich der oberen Oberfläche, als auch der unteren Oberfläche des ringförmigen Rings **214** zur Bildung einer Doppelclinch-Abdichtung **218** abgedichtet wird. Die Doppelclinch-Abdichtung **218** stellt eine hermetische Abdichtung dar, die verhindert, dass Fluid **228** aus dem Kanal **226** zwischen den Anschlusskörper **216** und die Abdeckung **206** in den Hohlraum **220** lecken kann.

**[0023]** Wie in **Fig. 6E** dargestellt, wird das Gehäuse **204** dann an der Vorrichtung **200** befestigt, um den Innenraum **220** vollständig abzudichten. Die untere Oberfläche des Gehäuses **204** und die obere Oberfläche der Abdeckung **206** weisen abwechselnde Zähne **252** auf, die sich um die Längsachse „a“ herum erstrecken. Zur Abdichtung der Abdeckung **206** und des Gehäuses **204** wird das Gehäuse **204** entlang der Längsachse „a“ nach unten gedrückt und die untere Oberfläche des Gehäuses **204** bildet eine Crimp-Verbindung mit der oberen Oberfläche der Abdeckung

**206**. Die Zähne **252** greifen ineinander und der innere Hohlraum **220** zwischen dem Gehäuse **204** und der Abdeckung **206** wird so abgedichtet.

**[0024]** In **Fig. 7** ist eine Ausführungsform der Thermistorröhre **624** mit einem Lastflansch **654** dargestellt. Im Gegensatz zu den anderen hier dargestellten Ausführungsformen weist der obere Abschnitt der Thermistorröhre **624** im Allgemeinen einen Durchmesser „D1“ auf, der im Wesentlichen der gleiche ist, wie der Durchmesser des mittleren Abschnitts der Thermistorröhre. Geringfügig unterhalb der oberen Öffnung der Thermistorröhre **624** ist jedoch ein breiterer Lastflansch **654** (mit einem Durchmesser „D2“) ausgebildet. Der Anschlusskörper **616** verjüngt sich an seinem oberen Ende nach innen, um ausgehend von einem breiteren Innendurchmesser „D3“ einen Durchmesser auszubilden, der nur geringfügig größer als der Durchmesser D1 ist, was es dem Anschlusskörper **616** ermöglicht, sich passgenau an den oberen Abschnitt der Thermistorröhre **624** anzulegen und mit diesem verschweißt zu werden. Ein breiterer Lastflansch **654** erzeugt einen Druckhohlraum, in welchem in den Kanal **626** einströmendes Fluid eine nach oben gerichtete Kraft auf den Lastflansch **654** der Thermistorröhre **624** ausübt, so dass die Thermistorröhre **624** fester gegen den Anschlusskörper **616** gedrückt wird. Auf diese Weise reagiert der Lastflansch **654** auf einen erhöhten Druck in dem Fluidkanal **626**, indem die Thermistorröhre **624** noch dichter gegen den Anschlusskörper **616** abgedichtet wird.

**[0025]** Wie in den **Fig. 8A** und **Fig. 8B** dargestellt, ist die Vorrichtung **200** bei einigen Ausführungsformen so konstruiert, dass mehr als ein Sensorelemente **230** enthalten ist, wobei jedes Sensorelement so kalibriert ist, dass Druck in einem anderen Bereich erfasst wird. Die Messstellen und die kalibrierten Bereiche der Sensorelemente **230** können auf einem Spannungsprofil basieren, welches die Stärke der Spannung auf den Anschlusskörper **216**, die durch das Fluid **228** verursacht wird, beschreibt. Beispielsweise zeigt das Spannungsprofil in **Fig. 8A** eine erste Stelle „a“ im Bereich des Zentrums der Seitenwand **234** des Anschlusskörpers **216**, die ein hohes Ausmaß an Belastung verglichen mit dem Rest der Seitenwand **234** erfährt. Im Gegensatz dazu zeigen Bereiche an den Seiten der Seitenwand **234** „b“ eine geringere Spannung. Folglich resultiert diese Konstruktion in einer Anordnung, bei der die Seitenwand **234** die Rolle mehrerer Membranen über Bereichen mit veränderlichem Druck wahrnehmen kann (oder die Rolle einer einzelnen Membran über Bereichen mit variierendem Druck).

**[0026]** Wie in **Fig. 8B** dargestellt, sind drei Sensorelemente **230** an der Seitenwand **234** montiert. Das erste Sensorelement **230a** ist an einem ersten Ort „a“ montiert und erfährt die größte Biegung. An dem Ort

„a“ kann eine kleine Änderung im Fluiddruck eine Biegung der Seitenwand **234** verursachen und so den elektrischen Widerstand des ersten Sensorelements **230a** beeinflussen. Folglich wird das erste Sensorelement **230a** so kalibriert, dass es auf einen engeren Druckbereich ausgelegt ist, der auf erwartete Betriebsbereiche oder kritische Werte, abhängig von dem Anwendungsfall für das zu messende Fluid **202**, bezieht. Demgegenüber werden die Sensorelemente **230b**, **230c** zumindest teilweise über dem Ort „b“ montiert, der weniger Biegung durch den Druck des Fluids **202** erfährt. Daher können Piezowiderstände der anderen Sensorelemente **230b**, **230c** über diesen Bereich geringerer Biegung (für den dies im vorliegenden Fall unterstellt wird) positioniert werden. Die Sensorelemente **230b**, **230c** werden dann für unterschiedliche Druckbereiche kalibriert. Dies kann vorteilhaft sein, um einen breiteren Druckbereich abzudecken oder um Redundanz zusammen mit anderen Drucksensorelementen **230** herzustellen. Es ist außerdem möglich, Sensorelemente **230b**, **230c** an dem zweiten Ort „b“ zu verwenden, wenn ein Nutzer scharfe Sprünge beim gemessenen Druck infolge von kleinen Druckstößen, die nicht repräsentativ für den tatsächlichen Druck in der Fluidumgebung **202** sind, vermeiden will. Es sei darauf hingewiesen, dass diese Ausführungsform nur exemplarisch zu verstehen ist. In anderen Ausführungsformen können mehr oder weniger Sensorelemente **230** vorgesehen sein. In einigen Fällen können Sensorelemente **230** in Abhängigkeit von einem Spannungsprofil spezifisch positioniert und kalibriert werden. In anderen Fällen können mehrere Sensorelemente **230** auf den gleichen oder überlappende Bereiche kalibriert werden, um einfach Redundanz bereitzustellen und eine gewünschte Genauigkeit zu gewährleisten.

**[0027]** Wie in den **Fig. 9A-9B** dargestellt, kann in ähnlicher Weise in einigen Ausführungsformen die Vorrichtung **200** so konstruiert sein, dass sie mehr als ein Thermistorelement **232** umfasst, wobei jedes Thermistorelement **232** derart kalibriert ist, dass Temperatur in einem unterschiedlichen Bereich erfasst wird. Die Verwendung von mehreren Thermistorelementen **232** an mehreren Stellen entspricht der Verwendung mehrerer Sensorelemente **230**, wie sie oben beschrieben wurde, abgesehen davon, dass die Thermistorelemente **232** Temperatur erfassen. Die Orte und die kalibrierten Bereiche der Thermistorelemente **232** können auf einem Temperaturprofil (vgl. **Fig. 9A**) bestehen, welche die Temperatur beschreibt, die von verschiedenen Abschnitten der Thermistorröhre **224** als Folge der Fluidtemperatur gefühlt werden. Beispielsweise ist in der dargestellten Ausführungsform das Thermistorelement **232c** am dichtesten an der Fluidumgebung **202** positioniert (wo die Temperatur am höchsten ist) und kann so kalibriert sein, dass es auf einen spezifischen Temperaturbereich in einen erwarteten oder kritischen Betriebsbereich fokussiert ist. Demgegenüber erfährt

das Thermistorelement **232a** die geringste Temperaturänderung und kann so kalibriert sein, dass ein viel größerer Bereich erfasst wird oder dass Redundanz von einem Messort gewährleistet wird, der für schnelle, nicht repräsentative Änderungen der durch die Thermistorröhre **224** gefühlten Temperatur weniger anfällig ist. Entsprechend sind in einigen Fällen mehrere Thermistorelemente **232** in ähnlichen Bereichen des Temperaturprofils angeordnet, um Genauigkeit oder Redundanz zu gewährleisten.

**[0028]** Bezug nehmend auf **Fig. 10** wird nun eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen integrierten Druck- und Temperaturerfassungsvorrichtung beschrieben, die insgesamt mit der Bezugsziffer **1000** bezeichnet ist. Im Gegensatz zu der in **Fig. 2** dargestellten Ausführungsform weist die Vorrichtung **1000** einen Anschlusskörper **1016** auf, der gegenüber der Thermistorröhre **1024** versetzt ist. Stattdessen bildet die Abdeckung **1006** zwei separate Kanäle **1026**, **1060** entlang der Längsachse „a“. Der untere Abschnitt der Elektronikmodulbaugruppe **1042** ist in den ersten Kanal **1060** eingesetzt, dessen unterer Bereich direkt innerhalb der Strömung „f“ des Fluids in der Fluidumgebung **1002** angeordnet ist. Der zweite Kanal **1026** ist zu der Fluidumgebung **1002** hin offen und erlaubt die Einstromung von Fluid. Ein Anschlusskörper **1016** ist innerhalb des zweiten Kanals **1026** montiert und bildet eine Doppelclinch-Abdichtung **1018** mit der Innenwand der Abdeckung **1006**. Der Anschlusskörper **1016** nimmt Fluid **1028** durch den Kanal **1026** auf und leitet es an die Seitenwand **1034**. Die Seitenwand **1034** fungiert als Membran, ganz ähnlich wie die anderen hier gezeigten Seitenwände **234**, abgesehen davon, dass die Seitenwand **1034** entlang einer zur Längsachse „a“ senkrechten Ebene verläuft. Ein Drucksensorelement **1030** erfasst Biegungen der Seitenwand **1034** und ist mit einer (nicht dargestellten) Elektronik im oberen Abschnitt der Elektronikmodulbaugruppe **1022** verbunden. Ebenso wie bei den anderen Ausführungsformen ist eine Gehäuse **204** an der Abdeckung **1006** angebracht, um den inneren Hohlraum **1020** abzudichten. Die Vorrichtung **1000** funktioniert ähnlich wie die anderen Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Technologie, abgesehen von den beschriebenen und dargestellten Unterschieden, die aus der unterschiedlichen Orientierung der Vorrichtung resultieren.

**[0029]** Die Erfindung betrifft auch ein Vorrichtung zur Erfassung von Druck und Temperatur in einer Fluidumgebung umfassend:

- eine Abdichtung, die einen Innenraum definiert, wobei die Abdichtung in dem Innenraum einen ringförmigen Flansch umfasst; und

- einen Anschlusskörper, der in dem Innenraum positioniert ist und einen äußeren ringförmigen Ring aufweist, wobei der äußere ringförmige

Ring mit dem ringförmigen Flansch zur Bildung einer mechanischen Dichtung gekoppelt ist,

wobei die mechanische Dichtung den Anschlusskörper mit der Abdeckung dicht verbindet.

**[0030]** Vorzugsweise ist dabei die mechanische Dichtung eine Doppelclinch-Dichtung.

**[0031]** Die Vorrichtung umfasst vorzugsweise außerdem:

eine Thermistorröhre, die in dem Innenraum positioniert ist und einen offenen oberen Abschnitt und einen geschlossenen unteren Abschnitt aufweist; und

einen Kanal, der zwischen der Thermistorröhre und der Abdeckung gebildet wird, um Fluid aus der Fluidumgebung aufzunehmen.

**[0032]** Besonders bevorzugt umfasst die Vorrichtung außerdem:

eine Elektronikmodulbaugruppe mit einem unteren Ende, das innerhalb der Thermistorröhre positioniert ist und mehrere untere Elektronikkomponenten aufweist; einen zentralen Abschnitt, der sich durch den offenen oberen Abschnitt der Thermistorröhre erstreckt; und einen oberen Abschnitt, der über der Thermistorröhre angeordnet ist und mehrere obere elektronische Komponenten aufweist.

**[0033]** Bevorzugt weist das untere Ende der Elektronikmodulbaugruppe mehrere Thermistorelemente auf.

**[0034]** Die Elektronikkomponenten können am unteren Ende vorzugsweise Elektronik zur Signalaufbereitung umfassen.

**[0035]** Vorzugsweise umfasst die Vorrichtung außerdem:

eine Membran, die in dem Anschlusskörper befestigt ist und eine im Wesentlichen parallel zu dem Kanal orientierte Ebene bildet, wobei die Membran so gestaltet ist, dass sie sich in Abhängigkeit von einem Druck des Fluids verbiegen kann; und

ein Drucksensorelement, das mit einer Oberfläche der Membran gekoppelt ist, um Druck in der Fluidumgebung auf Basis der Biegung der Membran zu erfassen.

**[0036]** Für den Fachmann auf dem einschlägigen technischen Gebiet ist ersichtlich, dass die Funktionen mehrerer Elemente bei alternativen Ausführungsformen durch weniger Elemente oder ein einzelnes Element verwirklicht werden können. Entspre-

chend können bei einigen Ausführungsformen beliebige funktionale Elemente weniger oder andere Aufgaben als die in Bezug auf die dargestellten Ausführungsformen beschriebenen Aufgaben ausführen.

**[0037]** Darüber hinaus können funktionale Elemente (beispielsweise Elektronik, Drucksensorelemente, Temperatursensorelemente und Ähnliches), die zum Zwecke der Veranschaulichung als Einzelemente dargestellt sind, bei einer speziellen Implementierung der Erfindung in anderen funktionalen Elementen integriert sein.

**[0038]** Während die erfindungsgemäße Technologie hier unter Bezugnahme auf bevorzugte Ausführungsformen beschrieben wurde, wird der Fachmann leicht erkennen, dass verschiedenste Abwandlungen und/oder Modifikationen der erfindungsgemäßen Technologie durchgeführt werden können, ohne vom Geist oder Umfang der Erfindung abzuweichen. Beispielsweise kann jeder der beigefügten Patentansprüche von einem beliebigen oder allen Ansprüchen in mehrfach abhängiger Weise abhängen, obwohl dies ursprünglich nicht so beansprucht wurde.

## Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Erfassung von Druck und Temperatur in einer Fluidumgebung umfassend:  
eine Abdeckung, die einen Innenraum definiert, wobei die Abdeckung innerhalb des Innenraums einen ringförmigen Flansch umfasst;  
einen Anschlusskörper mit einem äußeren ringförmigen Ring, der mit dem ringförmigen Flansch zur Bildung einer Doppelclinch-Dichtung verbunden ist;  
und Innenwänden, die eine Thermistorröhre umgeben, um einen Kanal zur Aufnahme von Fluid aus der Fluidumgebung zu bilden, wobei sich der Kanal im Wesentlichen parallel zu einer Längsachse erstreckt;  
wenigstens eine Membran, die in dem Anschlusskörper entlang einer im Wesentlichen parallel zur Längsachse verlaufenden Ebene befestigt ist, wobei jede der Membranen wenigstens ein Drucksensorelement aufweist, das mit einer distal zum Kanal befindlichen Oberfläche gekoppelt ist; und  
eine Elektronikmodulbaugruppe, die ein erstes Ende und ein zweites Ende aufweist, wobei das erste Ende über der Thermistorröhre entlang der Längsachse positioniert ist und mehrere Elektronikkomponenten aufweist, und wobei das zweite Ende innerhalb der Thermistorröhre positioniert ist und mehrere Thermistorelemente aufweist, die elektrisch mit den Elektronikkomponenten verbunden sind,  
wobei:  
die Thermistorelemente jeweils so kalibriert sind, dass sie Temperatur jeweils in einem unterschiedlichen vorgegebenen Bereich erfassen;  
die Drucksensorelemente jeweils kalibriert sind, dass sie Druck innerhalb eines unterschiedlichen vorgege-

benen Bereichs erfassen und gegenüber der Elektronikmodulbaugruppe versetzt angeordnet sind; und die Doppelclinch-Dichtung den Anschlusskörper mit der Abdeckung hermetisch dicht verbindet.

2. Vorrichtung zur Erfassung von Druck und Temperatur in einer Fluidumgebung umfassend:  
eine Abdeckung, die einen Innenraum definiert;  
eine Thermistorröhre, die sich zumindest teilweise in dem Innenraum befindet,  
wobei sich die Thermistorröhre im Wesentlichen entlang einer Längsachse erstreckt;  
einen Anschlusskörper, der wenigstens teilweise in dem Innenraum angeordnet ist, wobei der Anschlusskörper einen sich entlang der Längsachse erstreckenden Kanal zur Aufnahme von Fluid aus der Fluidumgebung bildet; und  
eine erste Membran, die innerhalb des Anschlusskörpers befestigt ist und eine erste Oberfläche, welche dem Fluid in dem Kanal ausgesetzt ist, und eine gegenüber dem Kanal abgedichtete zweite Oberfläche aufweist.

3. Vorrichtung gemäß Anspruch 2, wobei die Thermistorröhre gegenüber dem Anschlusskörper versetzt ist und der Anschlusskörper mit der Abdeckung über eine Doppelclinch-Dichtung dicht verbunden ist.

4. Vorrichtung gemäß Anspruch 2, wobei der Anschlusskörper Innenwände aufweist, welche die Thermistorröhre bezüglich einer Längsachse umgeben; und  
der Kanal zwischen dem Anschlusskörper und der Thermistorröhre gebildet wird,  
wobei die erste Membran eine im Wesentlichen parallel zu der Längsachse orientierte Ebene bildet.

5. Vorrichtung gemäß Anspruch 2, die außerdem ein erstes Drucksensorelement umfasst, das mit der zweiten Oberfläche der ersten Membran gekoppelt ist.

6. Vorrichtung gemäß Anspruch 2, die außerdem ein zweites Drucksensorelement umfasst, das mit der zweiten Oberfläche der ersten Membran gekoppelt ist.

7. Vorrichtung gemäß Anspruch 5, welche außerdem umfasst:  
eine zweite Membran, die in dem Anschlusskörper befestigt ist und sich im Wesentlichen parallel zu der Längsachse erstreckt, wobei die zweite Membran eine erste Oberfläche, die dem Fluid in dem Kanal ausgesetzt ist, und eine gegenüber dem Kanal abgedichtete zweite Oberfläche aufweist; und  
ein zweites Drucksensorelement, das mit der zweiten Oberfläche der zweiten Membran gekoppelt ist.

8. Vorrichtung gemäß Anspruch 7, wobei die Drucksensorelemente so kalibriert sind, dass sie je-

weils Druck in einem unterschiedlichen vorgegebenen Bereich erfassen.

9. Vorrichtung gemäß Anspruch 4, wobei die Thermistorröhre einen Last tragenden Flansch umfasst, der sich über den Kanal erstreckt, um einen oberen Abschnitt des Anschlusskörpers zu kontaktieren.

10. Vorrichtung gemäß Anspruch 2, welche außerdem umfasst:  
eine Elektronikmodulbaugruppe, die sich im Wesentlichen entlang der Längsachse erstreckt, wobei die Elektronikmodulbaugruppe ein unteres Ende aufweist, das innerhalb der Thermistorröhre positioniert und mit einem Thermistorelement gekoppelt ist.

11. Vorrichtung gemäß Anspruch 10, wobei die Elektronikmodulbaugruppe wenigstens ein weiteres unteres Thermistorelement umfasst, das mit dem unteren Ende der Elektronikmodulbaugruppe innerhalb der Thermistorröhre gekoppelt ist.

12. Vorrichtung gemäß Anspruch 11, wobei jedes zusätzliche untere Thermistorelement so kalibriert ist, dass es Temperatur in einem unterschiedlichen vorgegebenen Bereich erfasst.

13. Vorrichtung gemäß Anspruch 10, wobei die Elektronikmodulbaugruppe ein oberes Ende umfasst, das über der Thermistorröhre entlang der Längsachse positioniert ist, wobei das obere Ende mehrere Elektronikkomponenten aufweist.

Es folgen 10 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

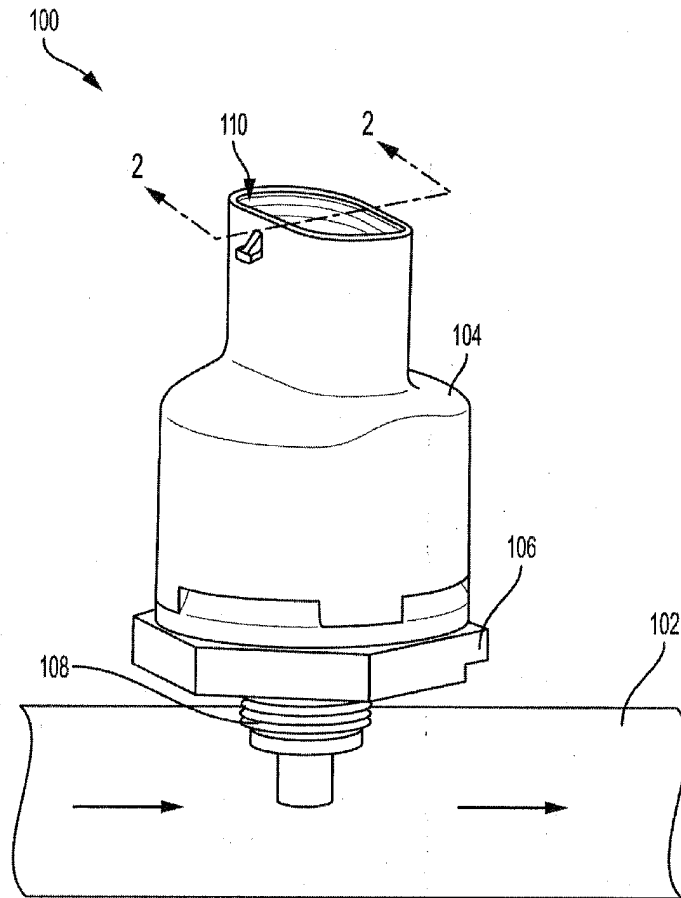
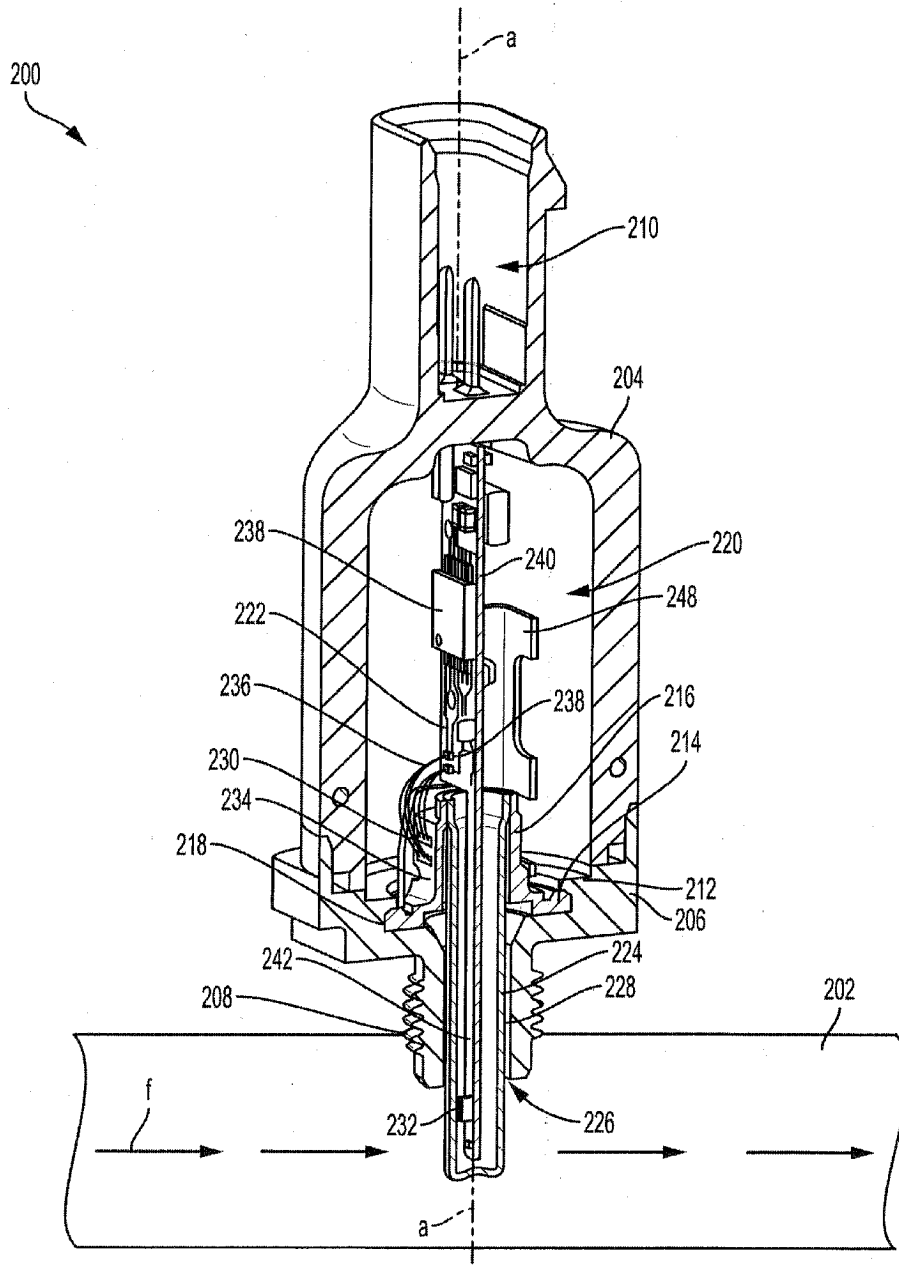


FIG. 1



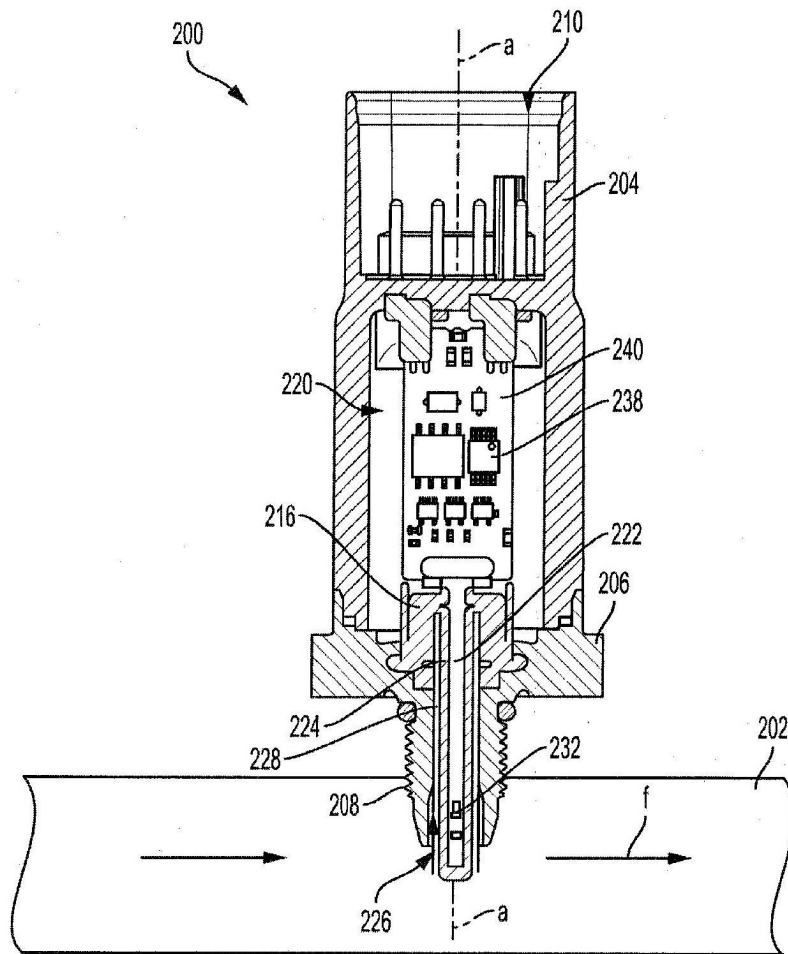


FIG. 3

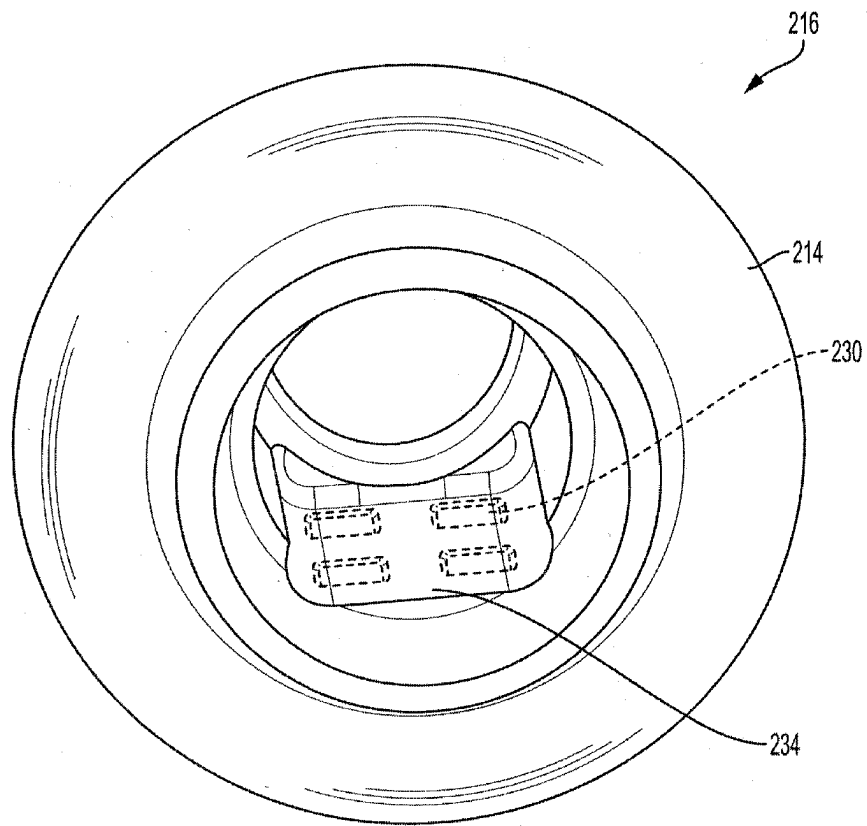


FIG. 4

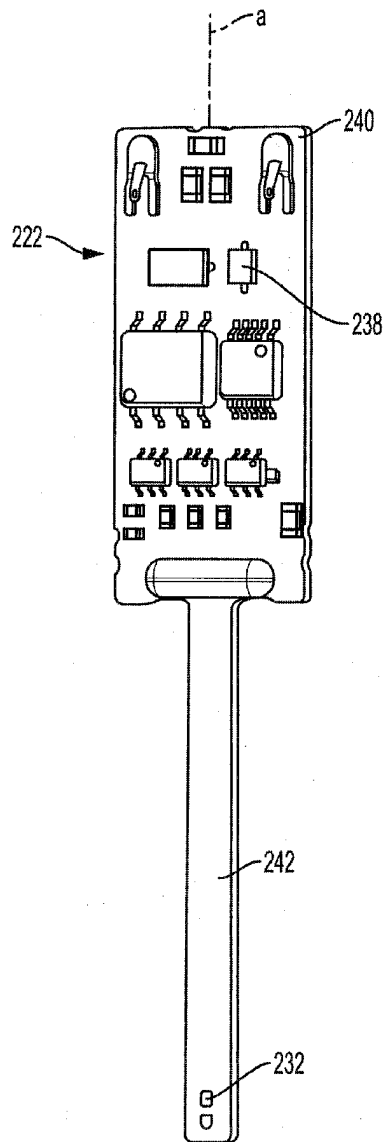
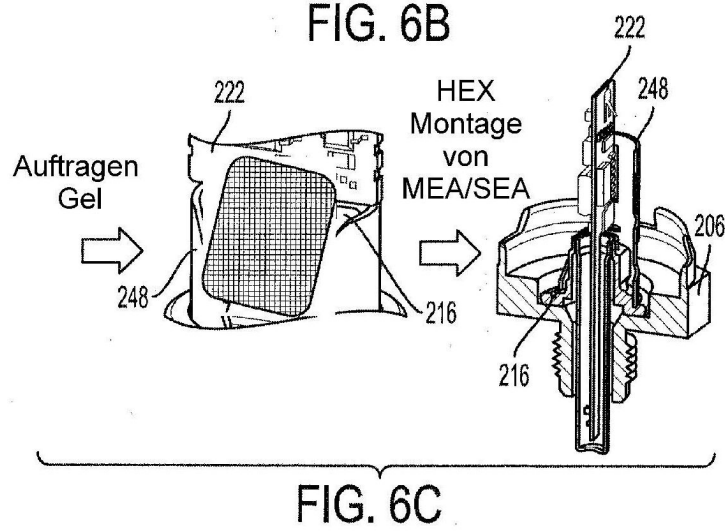
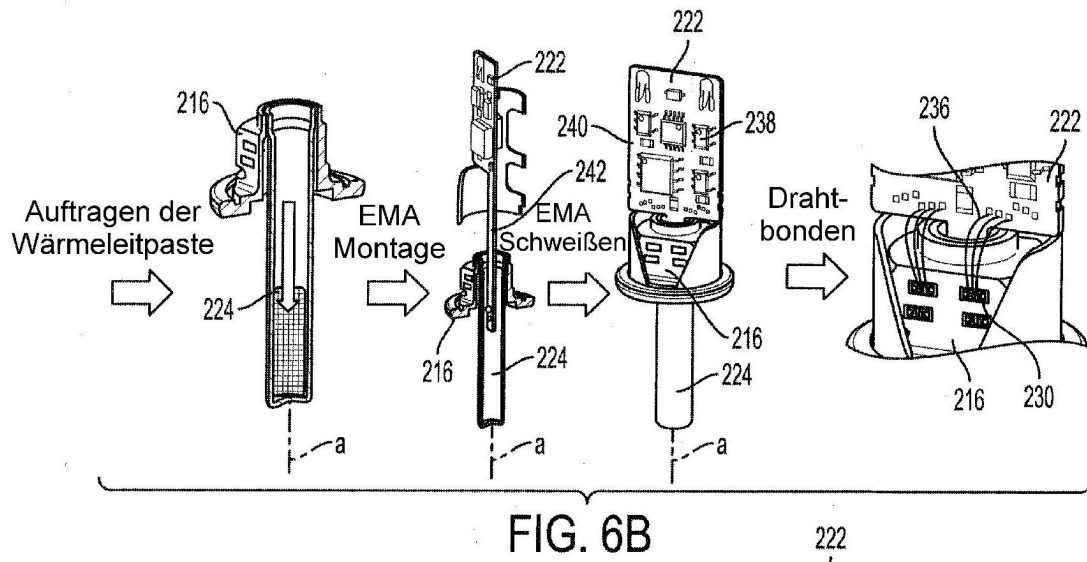
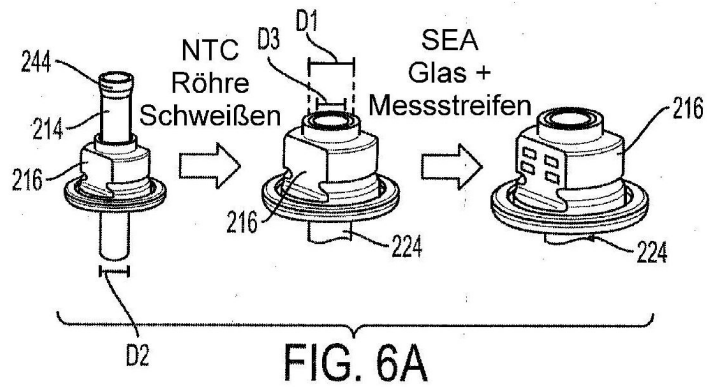


FIG. 5



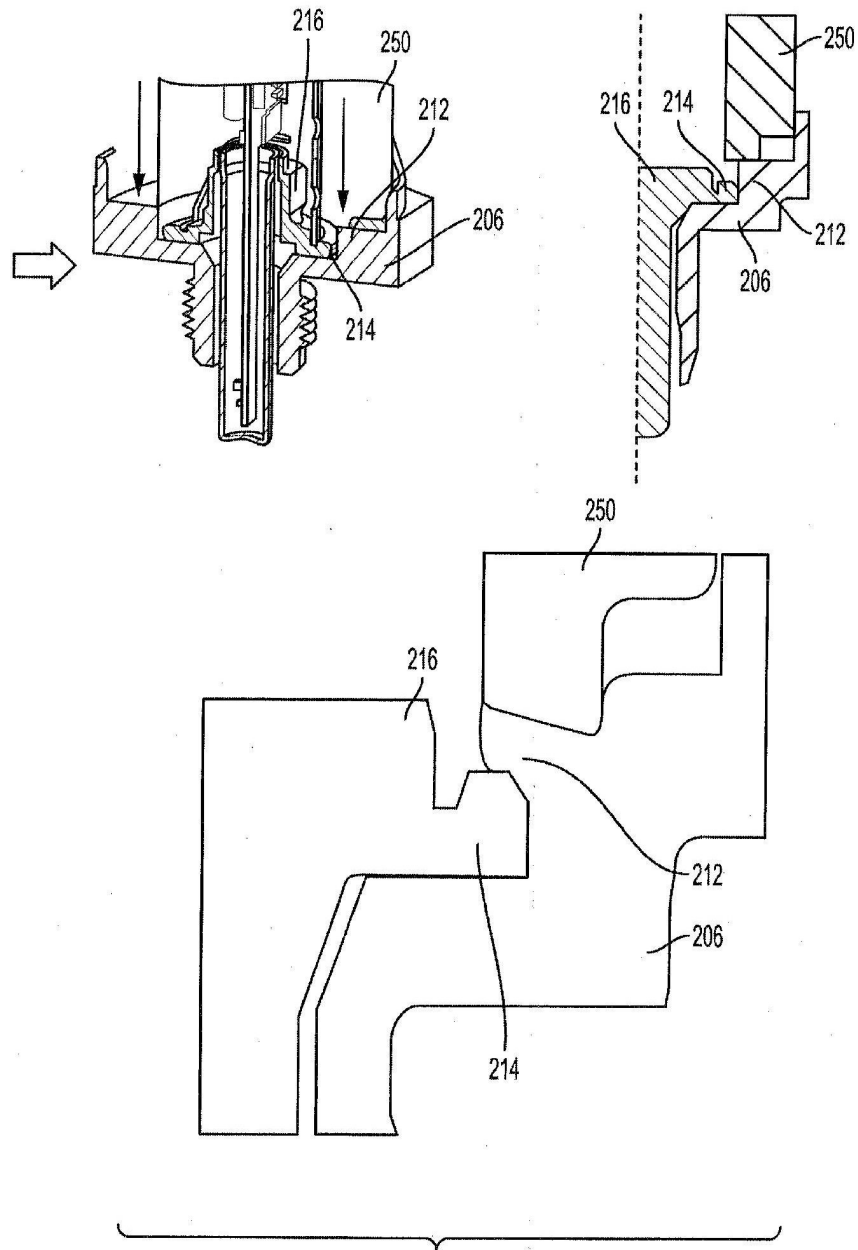


FIG. 6D

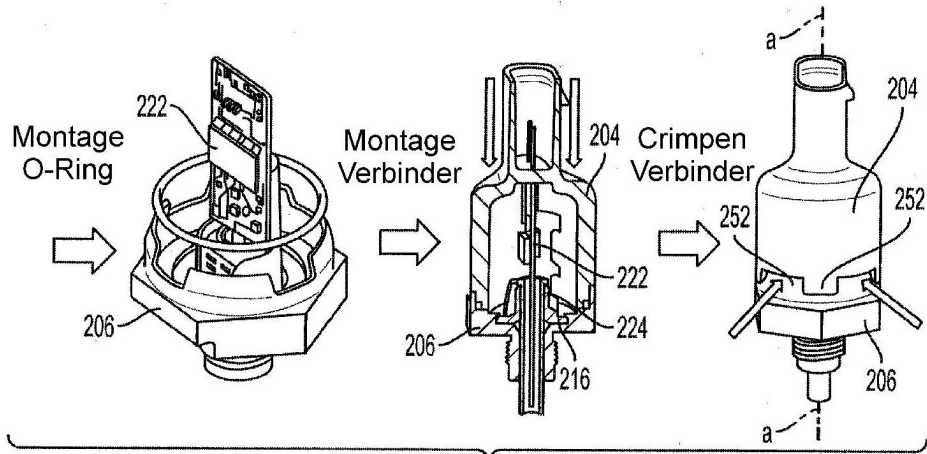


FIG. 6E

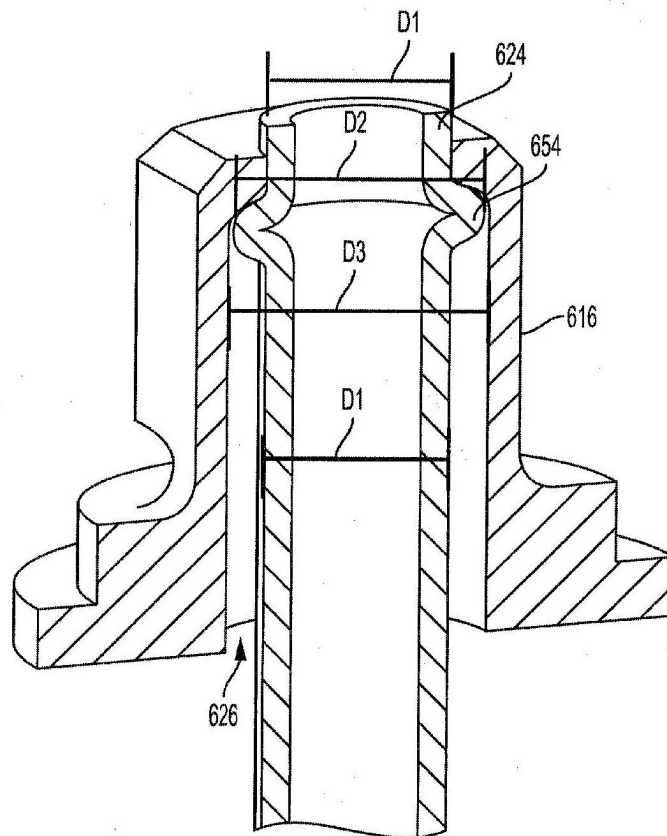


FIG. 7

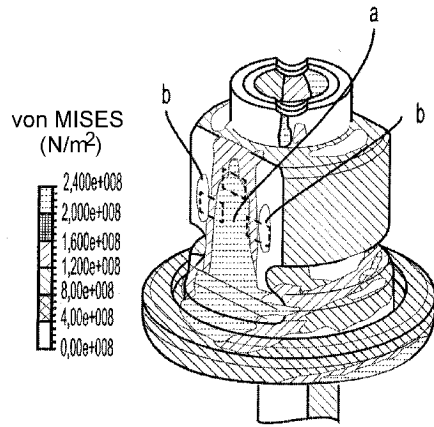


FIG. 8A

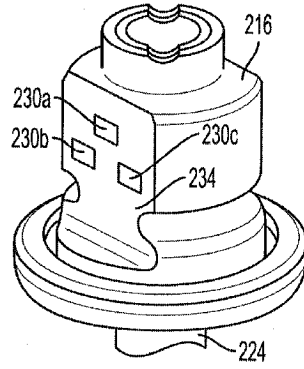


FIG. 8B

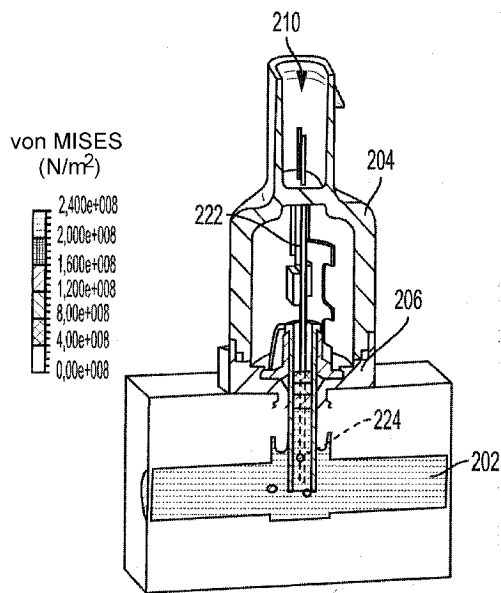


FIG. 9A

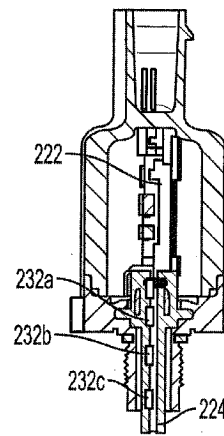


FIG. 9B

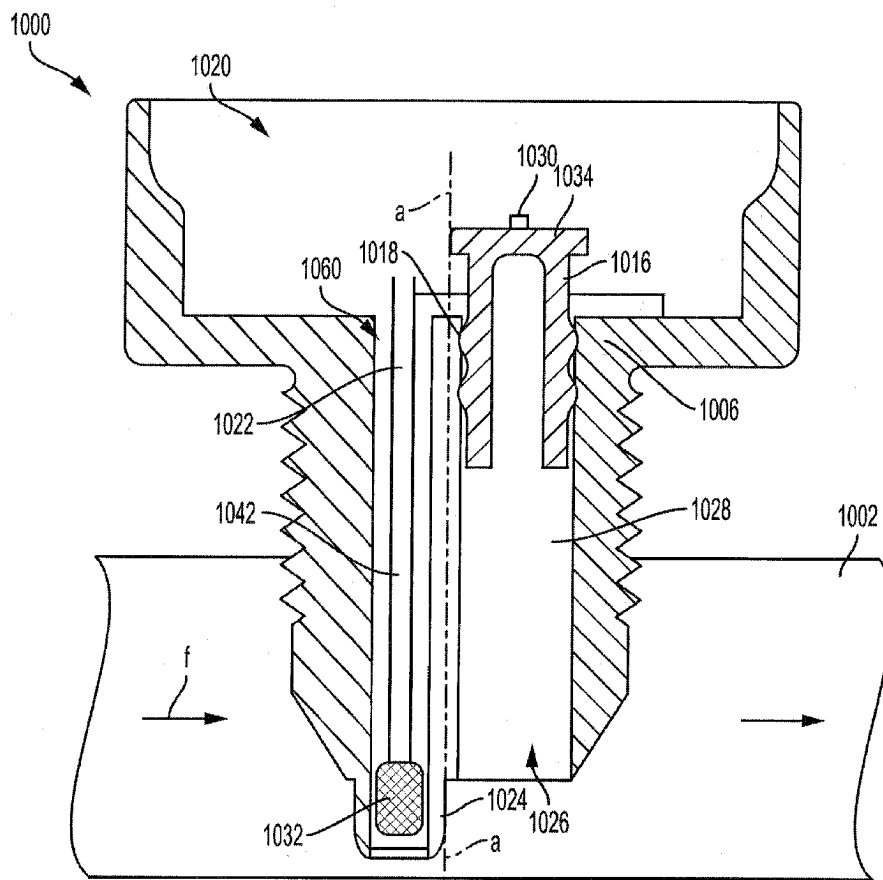


FIG. 10