



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 698 30 475 T2** 2005.11.03

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 953 726 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 30 475.6**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **98 302 530.5**

(96) Europäischer Anmeldetag: **01.04.1998**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **03.11.1999**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **08.06.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **03.11.2005**

(51) Int Cl.⁷: **E21B 49/10**

G01H 5/00, G01N 29/02, G01N 33/28

(73) Patentinhaber:

**Halliburton Energy Services, Inc., Duncan, Okla.,
US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB

(74) Vertreter:

Weisse und Kollegen, 42555 Velbert

(72) Erfinder:

**Birchak, James R., Spring, Texas 77388, US;
Proett, Mark A., Houston, Texas 77459, US**

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung und Verfahren zur Untersuchung von Formationsflüssigkeiten in einem Bohrloch
mittels akustischer Signale**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft generell das Prüfen von Formationsfluid in einem Bohrloch und spezieller ein System mit einem geschlossenen Kreis zur Vorort-Bestimmung der Art und des Zustandes von Formationsfluiden in einem Bohrloch und wahlweise zum Sammeln von Fluidproben aus der Tiefe des Bohrlochs unter den originalen Formationsbedingungen.

[0002] In der Öl- und Gasindustrie sind kabelgetragene Formationsprüfgeräte angewandt worden um Formationsdrücke zu überwachen, Proben von Formationsfluid zu erhalten und die Ergiebigkeit einer Formationslagerstätte vorherzusagen. Solche Formationsprüfgeräte enthalten üblicherweise einen langgestreckten Körper mit einem elastomeren Packer, der abdichtend gegen die interessierende Zone im Bohrloch gedrückt wird, so daß Proben von Formationsfluid in im Gerät angeordneten Kammern gesammelt wird.

[0003] Es werden verschiedene Arten von Bohrflüssigkeiten verwendet, durch welche der Bohrvorgang erleichtert und der gewünschte hydrostatische Druck in dem Bohrloch aufrechterhalten wird. Diese Bohrflüssigkeiten dringen in die Formationen in veränderliche radiale Tiefen ein (generell als Eindringzonen bezeichnet), abhängig von den Arten der Formationen und der verwendeten Bohrflüssigkeit. Jedes anfänglich durch die Formationsprüfgeräte gesammelte Fluid muß erst analysiert werden, um festzustellen, wann das abgezogene Formationsfluid im wesentlichen frei von Schlammfiltraten ist, und somit nur nicht-verunreinigte Fluid zu sammeln. Außerdem ist es wünschenswert, die Formationsfluide zur weiteren Analyse unter den gleichen Bedingungen zu sammeln, wie sie in der Formation bestehen. Das erfordert typischerweise, daß der Sinkgeschwindigkeitsdruck oberhalb des Blasenpunktes der Fluide gehalten wird. Die Formationsprüfgeräte haben verschiedene Sensoren und Vorort-Techniken aufgewiesen, um festzustellen, wann die abgezogenen Formationsfluide im wesentlichen frei von Schlammfiltraten sind, und um den Sinkgeschwindigkeitsdruck oberhalb des Blasenpunktes zu halten, so daß saubere Fluide unter den originalen Formationsbedingungen abgezogen werden.

[0004] Zum Identifizieren der Art des Formationsfluids, d.h. zum Unterscheiden zwischen in dem Formationsfluid enthaltenen Öl, Wasser und Gas, und zur Bestimmung des Blasenpunktdruckes des Fluids und zur Bestimmung, wann Fluidproben in der Tiefe des Bohrloches gesammelt werden sollen, sind Messungen des spezifischen Widerstandes, des Druckes in der Tiefe des Bohrloches und der Temperatur sowie optische Analyse des Formationsfluids angewandt worden.

[0005] Das US Re 34 975 beschreibt ein Gerät zur Ultraschallmessung der Bohrlocheigenschaften, während ein Bohrloch gebohrt wird.

[0006] Bekannte Geräte haben Vorrichtungen zur Messung des spezifischen Widerstandes und Temperatursensoren als Teil einer Sondenordnung zur Überwachung der Eigenschaften der Formationsfluide. Es sind auch optische Fluidanalysatoren verwendet worden, die Absorptions- und Reflexionsspektroskopie im nahen Infrarot benutzen, um zwischen Öl, Wasser und Gas zu unterscheiden. Das Fluid aus dem Bohrloch wird solange in das Bohrloch abgelassen, bis das durch die Feldleitung fließende Fluid als im wesentlichen frei von Verunreinigungen festgestellt wird. Die Fluidabsaugrate von der Formation wird so geregelt, daß der Sinkgeschwindigkeitsdruck oberhalb des Blasenpunktes gehalten wird.

[0007] Die Interpretation des spezifischen Widerstandes in der Feldleitung ist schwierig und häufig ungenau. Eine Interpretation des spezifischen Widerstandes muß die Fluidodynamik berücksichtigen. Der gemessene spezifische Widerstand ist der der kontinuierlichen Phase des Fluids in der Feldleitung. Ein Wasser/Kohlenwasserstoff-Gemisch mit Wasser als kontinuierliche Phase hat einen geringen spezifischen Widerstand, der sich infolge von Krümmung vergrößert, wenn der Prozentsatz an Kohlenwasserstoff sich erhöht. Ein Wasser-Kohlenwasserstoff-Gemisch mit Kohlenwasserstoff als kontinuierliche Phase kann einen hohen spezifischen Widerstand haben, auch wenn das Wasservolumen groß ist. Eine Strömung von abwechselnden Schüben von Kohlenwasserstoff und Wasser erzeugen eine verrauschte Aufzeichnung des spezifischen Widerstandes. Dieser Effekt tritt noch stärker in Erscheinung, wenn Gas vorhanden ist. Der optische Analysator liefert genauere Ergebnisse, ist aber recht aufwendig und erfordert die Verwendung hochentwickelter Elektronik in der Tiefe des Bohrloches, die bei sehr hohen Temperaturen arbeiten muß. Außerdem neigen optische Geräte zur Eintrübung mit einem dünnen Film, welcher die Meßgenauigkeit vermindert.

[0008] Somit besteht die Notwendigkeit, ein System zum Gewinnen und Sammeln von Formationsfluid zu schaffen, das relativ einfach ist, weniger aufwendig als die Systeme nach dem gegenwärtigen Stand der Technik ist und relativ genau bei der Unterscheidung zwischen den verschiedenen Arten von Fluidzuständen ist, so

daß sichergestellt ist, daß im wesentlichen nicht-verunreinigte Formationsfluidproben gesammelt werden und daß der Sinkgeschwindigkeitsdruck oberhalb des Blasenpunktes des Formationsfluids während des Fluidsammelvorganges gehalten wird.

[0009] Die vorliegende Erfindung geht die oben erwähnten Nachteile an und schafft ein relativ einfaches System mit geschlossenem Kreis zum Sammeln einer oder mehrerer Formationsfluidproben unter originalen Formationsbedingungen unter Verwendung einer neuen Akustikzellentechnik.

[0010] Nach einem Aspekt schafft die Erfindung ein Gerät zum Untersuchen von Formationsfluid aus einer Bohrloch-Formation, enthaltend

- (a) eine Sonde, die an die Formation zum Abziehen des Formationsfluids in eine Feldleitung anlegbar ist, welche zum Auffangen des besagten Formationsfluids verwendet wird,
- (b) eine Pumpe zum Steuern der Strömungsrate des Formationsfluids in die Feldleitung; und
- (c) eine akustische Vorrichtung, welche Signale zur Bestimmung von Charakteristiken des Formationsfluids in der Feldleitung liefert, wobei diese akustische Vorrichtung einen Meßwandler zur Übermittlung akustischer Signale durch das Fluid in der Feldleitung und einen Empfänger enthält zum Erfassen akustischer Signale, welche durch das Fluid in der Feldleitung hindurchgehen.

[0011] Die Erfindung schafft weiter ein Verfahren zum Auffangen einer Formationsflüssigkeit aus einer interessierenden Zone eines Bohrlochs enthaltend die Schritte:

- (a) Abziehen von Formationsfluid aus der interessierenden Zone in eine Feldleitung
- (b) Bestimmen der Schallgeschwindigkeit in dem Fluid, der akustischen Impedanz und des akustischen Absorptionskoeffizienten des durch die Feldleitung fließenden Fluids;
- (c) Bestimmen der Dichte und Kompressibilität des Fluids aus der Schallgeschwindigkeit in dem Fluid, der akustischen Impedanz und des akustischen Absorptionskoeffizienten des durch die Feldleitung fließenden Fluids; und
- (d) Steuern der Strömung des Fluids in die Feldleitung auf der Grundlage der Fluidichte und der Kompressibilität des durch die Feldleitung fließenden Fluids so, daß sichergestellt ist, daß der Druck in der Feldleitung oberhalb des Blasenpunktes des Fluids bleibt.

[0012] Diese Erfindung kann zum Abziehen eines Formationsfluids aus einer interessierenden Zone in einem Bohrloch verwenden, zur Vorortbestimmung der Art (einphasig oder zweiphasig) des abgezogenen Formationsfluids und zum selektiven Auffangen von Fluidproben oberhalb des Blasenpunktdruckes des Fluids, die im wesentlichen frei von allen Schlammfiltraten sind, ein System mit geschlossenem Kreis verwenden. Das System mit geschlossenem Kreis enthält vorzugsweise ein langgestrecktes Glied, das wenigstens eine Sonde aufweist, welche abdichtend an eine Bohrloch-Formation anlegbar ist. Eine mit der Sonde gekuppelte Pumpe steuert aus der Ferne die Strömung von Fluid aus der Bohrloch-Formation in eine Feldleitung in dem langgestreckten Glied. Ein Drucksensor liefert vorzugsweise den hydrostatischen Druck in der Tiefe des Bohrlochs und eine akustische Dichtezelle liefert vorzugsweise die Schallgeschwindigkeit in dem Fluid in der Feldleitung, die akustische Impedanz und den akustischen Absorptionskoeffizienten des Fluids in der Feldleitung. Bei einer Anordnung bestimmt das System die Dichte und Kompressibilität des Formationsfluids in der Feldleitung aus der Schallgeschwindigkeit und der akustischen Impedanz des Fluids und steuert nach Maßgabe derselben den Fluidfluß in die Feldleitung, beispielsweise um selektiv Formationsfluidproben aufzufangen, die im wesentlichen frei von irgendwelchen Schlammfiltraten sind. Der akustische Absorptionskoeffizient ist sehr empfindlich gegen Blasen und hilft, den Fluiddruck oberhalb des Blasenpunktes des Fluids zu halten. Der Absorptionskoeffizient reagiert auch empfindlich auf die Fluidviskosität, was bei der Unterscheidung zwischen Kohlenwasserstoffen hilft.

[0013] Das Gerät der Erfindung kann verwendet werden bei einem Verfahren zum Gewinnen und Auffangen von Formationsfluiden aus einer interessierenden Zone in einem Bohrloch unter originalen Formationsbedingungen. Dieses Verfahren enthält die Schritte: (a) Plazieren einer Sonde abdichtend gegen die interessierende Zone in dem Bohrloch zum aufnehmen von Formationsfluid, (b) gesteuertes Einlassen des Fluids aus der Sonde in eine Feldleitung; (c) Bestimmen der Schallgeschwindigkeit in dem Fluid, der akustischen Impedanz und des akustischen Absorptionskoeffizienten des Fluids in der Feldleitung; Bestimmen der Dichte und der Kompressibilität des Fluids aus der Schallgeschwindigkeit in dem Fluid in der Feldleitung, der akustischen Impedanz und des akustischen Absorptionskoeffizienten in der Feldleitung; Steuern der Strömung des Fluids in die Feldleitung nach Maßgabe der Dichte und Kompressibilität des Fluids so daß der Fluiddruck in der Feldleitung oberhalb des Blasenpunktdruckes des Fluids ist; und (f) sammeln einer Probe des Fluids aus der Feldleitung in einer Speicherkammer in der Tiefe des Bohrloches unter einem Druck oberhalb des Blasenpunktdruckes des Fluids.

[0014] Zum detaillierten Verständnis der vorliegenden Erfindung sollt Bezug genommen werden auf die nachfolgende detaillierte Beschreibung verschiedener bevorzugter Ausführungsbeispiele in Verbindung mit den zugehörigen Zeichnungen, in denen gleiche Teile mit den gleichen Bezugszeichen versehen sind.

[0015] [Fig. 1A](#) zeigt eine schematische Seitenansicht eines Systems mit einer Ausführung eines in Schnitt dargestellten Geräts zur Formations-Auswertung, das in ein Bohrloch zum Untersuchen und Gewinnen von Formationsfluiden gemäß der vorliegenden Erfindung eingeführt ist.

[0016] [Fig. 1B](#) zeigt eine schematische Seitenansicht des Systems von [Fig. 1A](#) bei Verwendung eines alternativen, im Schnitt dargestellten Gerätes zur Formationsauswertung.

[0017] [Fig. 1C](#) zeigt eine schematische Seitenansicht des Systems von [Fig. 1A](#) bei Verwendung einer weiteren alternativen, im Schnitt dargestellten Anordnung für das Gerät zur Formationsauswertung.

[0018] [Fig. 2](#) zeigt eine Seitenansicht im Schnitt einer Ausführung der Akustische Dichtezelle, die geeignet ist zur Verwendung in einem Gerät zur Formationsauswertung nach der vorliegenden Erfindung.

[0019] [Fig. 3](#) zeigt eine Seitenansicht im Schnitt einer anderen Ausführung der Akustische Dichtezelle zur Verwendung in einem Gerät zur Formationsauswertung.

[0020] [Fig. 4A](#) zeigt typische Signalverläufe von elektrischen Eingangssignalen zu des Meßwandlers **108** und von diesem erzeugter akustischer Druckwellen und Signalverläufe des akustischen Echsignals, das von dem Empfänger der in [Fig. 2](#) dargestellten Dichtezellen empfangen werden.

[0021] [Fig. 4B](#) zeigt Wellenformen empfangener akustischer Drucksignale und der daraus resultierenden elektrischen Spannungssignale, die von dem Meßwandler **116** von [Fig. 2](#) erzeugt werden.

[0022] [Fig. 5](#) zeigt eine typische Verlaufskurve des akustischen Absorptionskoeffizienten (α) als Funktion des Prozentsatzes von Gasphasengehalt in einem Fluid.

[0023] [Fig. 6](#) zeigt ein Blockdiagramm der Schaltung zum Übermitteln, Empfangen und Aufzeichnen von Signalen zu und von der Schalldichte-Zelle und anderen Modulen des Gerätes.

[0024] In den Zeichnungen zeigt [Fig. 1A](#) eine Ausführung eines kabelgeführten Formations-Auswertungs- und Untersuchungs-Systems **10** mit einem Formations-Auswertungs- und Untersuchungs-Werkzeug (Gerät) **24** in der Tiefe des Bohrlochs, das durch ein Kabel **23'** in ein Bohrloch **24** eingebracht ist, zum Untersuchen und Auffangen von Formationsfluiden aus einer gewünschten Formation innerhalb des Bohrlochs **21** gemäß der normalen Arbeitsweise des Systems **10**. Das Gerät **24** enthält eine Anzahl von Funktionsmodulen, die hintereinandergeschaltet sind, so daß sie das Gerät **24** bilden, welches den Notwendigkeiten in einer bestimmten Untersuchungssituation genügt. In der Ausführung von [Fig. 1A](#) enthält das Gerät **24** eine sequentielle Anordnung eines elektro-hydraulischen Systems **25**, ein Packer/Sonde-Modul **26** ein akustische Dichtezelle-Modul **15** ein Spülpumpenmodul **12**, ein Probenahmemodul **16** und ein Untersuchungs-Ausgleichsventil **20**. Das Gerät **24** wird in das Bohrloch durch ein Kabel **23'** eingeführt, welches eine Mehrzahl von Leitungen für die Stromzufuhr zu den verschiedenen Bauteilen des Gerätes **24** und für die Herstellung einer bidirektionalen elektrischen und Daten-Kommunikation zwischen dem Gerät **24** und einer Steuereinheit **50**, die üblicherweise oberirdisch in einem geeigneten Lastwagen **60** für Landbetrieb und in einer (nicht dargestellten) Kabine für Offshore-Betrieb. Das Kabel **23'** wird durch ein Zugwerk **62** über ein System von Seilrollen **22a** und **22b** eingebracht.

[0025] Die Steuereinheit **50** enthält einen Rechner und einen zugehörigen Speicher, in welchem die gewünschten Programme und Modelle speicherbar sind. Das Steuersystem **50** steuert den Betrieb des Gerätes **24** und verarbeitet online Daten, die von dem Gerät **24** während des Betriebes des Gerätes **24** empfangen werden. Die Steuereinheit **50** ist mit einer Vielfalt von Peripheriegeräten verbunden, wie Schreibern **52** zum Aufzeichnen von Daten, und einem Display/Monitor **54** zum Darstellen der gewünschten Informationen während des Betriebs. Die Verwendung der Steuereinheit **50**, des Displays/Monitors **54** und des Schreibers **52** ist im Stand der Technik der Bohrloch-Aufzeichnung bekannt und ist daher hier nicht näher erläutert.

[0026] [Fig. 1B](#) zeigt eine schematische Ansicht einer alternativen Anordnung der verschiedenen Abschnitte des Gerätes **24**. Bei dieser Ausführung ist der Packer/Sonden-Abschnitt **26** zu einer „rathole type“ Untersuchung nahe dem unteren Ende des Gerätestranges angeordnet. Die sequentielle Anordnung der Abschnitte

enthält das Untersuchungs-Ausgleichsventil **20**, den Probenahme-Abschnitt **16**, den Spülpumpenabschnitt **12**, den Schalldichtezellen-Abschnitt **15**, das elektro-hydraulische System **25** und den Formationsuntersuchungs Packer/Sonde-Abschnitt **26**.

[0027] **Fig. 1C** zeigt eine schematische Ansicht des Systems von **Fig. 1A**, welches eine noch andere Anordnung der verschiedenen Geräteabschnitte zeigt. Die Abfolge der Abschnitte bei der Ausführung von **Fig. 1C** ist die gleiche wie die der in **Fig. 1A** dargestellten Ausführung, außer daß der Packer/Sonde-Abschnitt **26** eine Mehrzahl von Packer/Sonden-Einheiten enthält und aufblähbare Packer wie die Stützpolster benutzt.

[0028] Wieder in **Fig. 1A** enthält der Formationsuntersuchungs-Packer/Sonde-Abschnitt **26** einen oder mehrere aufblähbare Packer/Sonde-Einheiten **29**, wobei jede solche Packer/Sonde-Einheit **29** abdichtend gegen die Wandung des Bohrloches **21a** andrückbar ist. Eines oder mehrere Stützkissen **27** sind gegenüber der Packer/Sonde-Einheit **29** an die Bohrlochwandung **21a** angedrückt. Der elektro-hydraulische Abschnitt **25** wird benutzt, die Kissen der Packer/Sonde-Einheit **29** aufzublähen, so daß diese sich abdichtend an das Innere des Bohrloches **21** anlegen. Der elektro-hydraulische Abschnitt wendet auch Stützkissen **27** an, um ein Andrücken der Packer/Sonde-Einheit **29** an die Bohrlochwandung **21a** zu bewirken. Es können auch alle anderen geeigneten Mittel zum Anbringen des Packer/Sonden-Abschnitts **26** für die Zwecke der Erfindung angewandt werden. Jeder Packer/Sonde-Abschnitt **26** enthält eine (nicht dargestellte) Sonde, die sich radial von dem Gerätetrunkörper weg erstreckt und geeignet ist, in die Formation **22** einzudringen, wenn die Packer/Sonde-Einheit **29** gegen das Innere **21a** des Bohrloches gedrückt wird. Der Packer/Sonden-Abschnitt **26** enthält auch einen Druckmesser **28** zur Überwachung von Druckänderungen bei dem Vorgang des Sammelns von Fluidproben, ein Isolierventil **11** zur Verwendung während Spülvorgängen und ein Vortest-Kolben **30** zum Abziehen von Proben beim Vortesten.

[0029] Weiter bezugnehmend auf **Fig. 1A** kann die akustische Dichtezelle **15** Fluidströmung durch die Sonde der Packer/Sonde-Einheit **29** empfangen, was später unter Bezugnahme auf **Fig. 2** näher erläutert wird. Ein Spülpumpenabschnitt **12**, der eine Spülpumpe **13** enthält kann Fluid, das durch die akustische Zelle **15** über die Feldleitung **14** hindurchtritt, aufnehmen, wo das Fluid auf den Probenahmeabschnitt **16** geleitet wird.

[0030] Der Probenahmeabschnitt **16** enthält ein Probenkammerventil **17**, welches geöffnet wird, so daß es Formationsfluid zu einer oder mehreren Probenkammern **18** zum Sammeln von Formationsfluid darin leitet. Wenn das Probenkammerventil **17** geschlossen ist, wird das Fluid in das Formationsbohrloch **21** abgelassen. Das Probenkammerventil **17** kann in der Tiefe des Bohrloches oder von der Erdoberfläche her durch die Steuereinheit **50** gesteuert werden. Ein Ausgleichsventil **20** ist vorgesehen, um einen gewünschten Druck in der Feldleitung **14** aufrechtzuerhalten. Das Ausgleichsventil wird geschlossen während der Probenahme und geschlossen während des Spülvorganges. Ein Kolben **19** wird benutzt um den Fluidruck während der Probenahme zu steuern, so daß sichergestellt ist, daß sich das Fluid nicht in zwei Phasen, d.h. Gas und Flüssigkeit, trennt. Verschiedene Abschnitte des Gerätes **24** sind in geeigneter Weise mittels Abschnitts-Verbindungsstücke miteinander verbunden, die generell mit dem Bezugszeichen **23** bezeichnet sind.

[0031] **Fig. 2** zeigt eine Seitenansicht im Schnitt einer Ausführung einer akustischen Dichtezelle **100** nach der vorliegenden Erfindung. Die akustische Dichtezelle **100** enthält eine Verzögerungsleitung **104** der Dicke X_{di} mit gegenüberliegenden Flächen **103** und **104**. Die Fläche **103** ist in engem akustischen Kontakt mit einer Fluid-Feldleitung **102**, durch welche das Formationsfluid während der Untersuchung und des Sammelns von Formationsfluid strömt. Das Material der Verzögerungsleitung **104** kann ein bearbeitbares Glas oder irgendein anderes geeignetes Material sein, welches das dort hindurchtretende akustische Signal hinreichend verzögern würde, vorzugsweise um eine Zeit welche die Abklingzeit („ringdown time“) des Meßwandlers überschreitet, und welches eine akustischen Impedanz zwischen der Impedanz des bei dem Meßwandler verwendeten piezoelektrischen Materials und des Formationsfluids haben würde. Ein akustischer Meßwandler **108** (Meßwandler 1) einer Dicke L_2 mit gegenüberliegenden Seiten **107** und **109** ist an die Verzögerungsleitung **104** angelegt. Der Meßwandler **108** kann als Sender oder als Empfänger für akustische Signale verwendet werden. Der Meßwandler **108** ist vorzugsweise aus einem geeigneten piezoelektrischen Material hergestellt aber ist nicht auf ein solches Material beschränkt. Die Oberfläche **105** der Verzögerungsleitung **104** und die Oberfläche **107** des Meßwandlers sind vorzugsweise miteinander gebondet. Eine Abstützung **112** der Dicke L_1 ist an den Meßwandler **108** angelegt, so daß die Oberfläche **111** der Abstützung in Kontakt mit dem Meßwandler **108** ist. Die Abstützung **112** ist vorzugsweise aus einer Mischung von Wolfram und einem Gummimaterial hergestellt, ist aber nicht auf eine solche Zusammensetzung beschränkt. Das Abstützungsmaterial **112** hat vorzugsweise einen hohen akustischen Absorptionskoeffizienten und eine akustische Impedanz, welche die akustische Reflexion an der Oberfläche **111** minimiert. Die Dicke L_1 ist hinreichend groß gemacht, so daß die Reflexionen an der Oberfläche **113** minimiert werden. Die Oberfläche **109** des Meßwandlers **108** und die Oberfläche **111** der

Abstützung **112** sind vorzugsweise miteinander gebondet.

[0032] Ein zweiter akustischer Meßwandler **116** (Meßwandler 2) der Dicke L_2 mit gegenüberliegenden Oberflächen **115** und **117** ist an die Feldleitung **102** gegenüber von der Verzögerungsleitung **104** angelegt. Der Meßwandler **116** ist vorzugsweise auch aus piezoelektrischem Material hergestellt aber kann auch aus irgendeinem anderen geeigneten Material hergestellt sein. Die Oberfläche **115** des Meßwandlers **116** ist in engem akustischen Kontakt mit der Fluid-Feldleitung **102**. Eine Abstützung **120** mit der Dicke L_3 mit gegenüberliegenden Oberflächen **119** und **121** ist an den Meßwandler angelegt. Die Oberfläche **117** des Meßwandlers **116** und die Oberfläche **119** der Abstützung sind vorzugsweise zusammengebondet. Bei einer bevorzugten Ausführung haben die Verzögerungsleitung **104**, der erste Meßwandler **108**, die Abstützung **112**, der zweite Meßwandler **116** und die Abstützung **120** die gleiche Tiefe D .

[0033] [Fig. 3](#) zeigt eine Seitenansicht im Schnitt einer alternativen Ausführung der Akustische Dichtezelle **100** nach der vorliegenden Erfindung. Bei dieser Ausführung sind die Elemente, die links von der Feldleitung **102** gezeigt sind, identisch mit den Elementen von [Fig. 2](#). Die Elemente rechts von der Feldleitung **102** in [Fig. 3](#) sind ein Spiegelbild der Elemente links von der Feldleitung **102**. Bei der in [Fig. 3](#) dargestellten Ausführung hat eine Verzögerungsleitung **124** von einer Dicke X_{dl} eine Oberfläche **123** in engem akustischem Kontakt mit der Fluid-Feldleitung **102** gegenüber der Verzögerungsleitung **102**. Eine Abstützung **120** von der Dicke L_1 mit Oberflächen **119** und **121** ist an den Meßwandler **116** angelegt. Die Oberfläche **115** des Meßwandlers **116** ist vorzugsweise an die Oberfläche **125** der Verzögerungsleitung **124** gebondet. Die Oberfläche **117** des Meßwandlers **116** und die Oberfläche **119** der Abstützung **120** sind vorzugsweise miteinander gebondet. Die Vorteile dieser Ausführung sind, daß die Meßwandler **108** und **116** von dem Fluid isoliert sind, die beiden Seiten der Akustische Dichtezelle übereinstimmend konstruiert sind und die akustische Impedanz des Fluids für die Oberflächen **103** und **123** gemittelt werden kann. Die Gesamtgröße der Akustische Dichtezelle **100** ist jedoch etwas vergrößert. Die Abmessungen der Elemente in der bevorzugten Ausführung der Akustische Dichtezelle **100** sind (in Zoll): $L_1 = 2,0$, $L_2 = 0,1$, $X_{dl} = 0,6$, $X_{fl} = 0,25$ und $D = 1,0$. Die an den Meßwandler angelegte Signalfrequenz kann zwischen 0,3 bis 10 Megahertz (MHz) verändert werden, je nach den verwendeten Materialien und den Abmessungen der beim Aufbau der Akustische Dichtezelle **100** verwendeten Elemente. Bei einer einphasigen Strömung in der Feldleitung **102** kann die Frequenz der durch das Fluid übertragenen Signale variiert werden, um die Viskosität des Fluids zu erhalten. Für eine zweiphasige Strömung beeinflusst die Viskosität und auch die Streuung von der zweiten Phase in der kontinuierlichen Phase die Frequenz der durch das Fluid hindurchtretenden Signale. Die hier angegebenen Abmessungen und Signalfrequenzen können leicht verändert werden, um an verschiedene Untersuchungs-Szenarien angepaßt zu werden, und sind nicht als irgendwelche Einschränkungen auf die Ausführung der Akustische Dichtezelle **100** bestimmt.

[0034] [Fig. 4A](#) zeigt typische Signalverläufe von elektrischem Eingangssignal, erzeugter akustischer Druckwelle und empfangenem akustischen Echosignal für den Sender/Empfänger Meßwandler **108** von [Fig. 2](#). Wenn in [Fig. 2](#), [Fig. 4A](#) und [Fig. 4B](#) ein elektrisches Signal mit der Amplitude V_0 an den Meßwandler **108** angelegt wird, wird nach einer kurzen Zeitverzögerung (t_{01}) die in [Fig. 4A](#) dargestellte akustische Druckwelle erzeugt. Diese akustische Druckwelle läuft in alle angrenzenden Medien. Wenn immer die akustische Druckwelle auf ein neues Medium trifft, wird ein Bruchteil der Wellenamplitude reflektiert und ein Bruchteil der Wellenamplitude wird durch das neue Medium hindurchgelassen. Die reflektierte Welle von der Grenzfläche der Verzögerungsleitung **104** und des durch die Feldleitung **102** strömenden Untersuchungsfluids liefert ein Maß für die akustische Impedanz des Fluids. Das resultierende Echosignal der Amplitude V_{pp1} wird von dem Meßwandler **108** zum Zeitpunkt t_1 empfangen. Die Zeitdifferenz ($t_1 - t_{01}$) steht in Beziehung zu der Schallgeschwindigkeit in der Verzögerungsleitung **104**. Die Signalamplitude V_{pp1} des Echos steht auch in Beziehung zu der akustischen Impedanz des Materials der Verzögerungsleitung **104** (Z_{dl}) und derjenigen der Fluidgrenzfläche (Z_n). Nachdem die in das Fluid durchgelassene akustische Welle durch das Fluid hindurchgelaufen ist, erfaßt der zweite Meßwandler **116** ihre Ankunft zum Zeitpunkt t_2 mit der Amplitude V_{pp2} . Eine kurze Zeitverzögerung t_{02} tritt ein zwischen der Ankunft der akustischen Welle an dem Meßwandler **116** und der elektronischen Detektion des Signals. Die Zeit t_2 hängt ab von der Schallgeschwindigkeit durch die Verzögerungsleitung **104** und die Schallgeschwindigkeit durch den Fluidpfad in der Fluid-Feldleitung **102**. Die Amplitude V_{pp2} des von dem Meßwandler **116** empfangenen Signals hängt von der akustischen Signal-Durchlässigkeit und -Dämpfung durch die Verzögerungsleitung **104** und durch das Fluid in der Feldleitung **102** ab.

[0035] Die physikalischen Eigenschaften des Materials der Verzögerungsleitung **104** können im Laboratorium durch bekannte Kalibrierverfahren bestimmt werden. Unter Verwendung der Messungen mit der akustische Dichte-Zelle **100** und der Parameter der Eigenschaften der Verzögerungsleitung **104** können die Dichte und Kompressibilität des Untersuchungsfluids unter Verwendung der unten angegebenen Gleichungen 1 bis 14 bestimmt werden. Auch der akustische Dämpfungskoeffizient (α) des Untersuchungsfluids kann bestimmt wer-

den unter Verwendung der Messungen der akustische Dichtezelle **100** und der unten angegebenen Gleichungen 15 bis 18.

Fluid-Dichte und -Kompressibilitäts Berechnungen

[0036] Akustische Impedanz für Fluid und Verzögerungsleitung:

$$Z_{fl} = c_{fl} \rho_{fl} \quad 1.)$$

$$Z_{dl} = c_{fl} \rho_{fl} \quad 2.)$$

[0037] Akustische Schallgeschwindigkeit und Wellenlänge für Fluid und Material der Verzögerungsleitung:

$$c_{fl} = \frac{x_{fl}}{t_{fl}} \quad 3.)$$

$$c_{dl} = \frac{x_{dl}}{t_{dl}} \quad 4.)$$

$$\lambda_{fl} = \frac{c_{fl}}{f_{fl}} \quad 5.)$$

$$\lambda_{dl} = \frac{c_{dl}}{f_{dl}} \quad 6.)$$

[0038] Beziehung zwischen der durch den Meßwandler 1 gemessenen Echozeit und der Verzögerungszeit:

$$t_1 = 2(t_{01} - t_{dl}) \quad 7.)$$

[0039] Auflösung nach der Verzögerungsleitungszeit:

$$t_{dl} = \frac{t_1}{2} - t_{01} \quad 8.)$$

[0040] Beziehung zwischen dem empfanenen Signal in Meßwandler 2 und der Fluidzeit und Verzögerungszeit:

$$t_2 = t_{01} + t_{dl} + t_{02} + t_{fl} = \frac{t_1}{2} + t_{02} + t_{fl} \quad 9.)$$

[0041] Auflösung nach der Fluidzeit:

$$t_{fl} = t_2 - \frac{t_1}{2} - t_{02} \quad 10.)$$

[0042] Das von dem Meßwandler 1 gemessene Reflexionsvermögen:

$$R_1 = \frac{V_{ppl}}{K_1 V_0} = \left(\frac{Z_{fl} - Z_{dl}}{Z_{fl} + Z_{dl}} \right) \quad 11.)$$

[0043] Auflösung nach der akustischen Impedanz des Fluids:

$$Z_{fl} = Z_{dl} \left(\frac{1 + \frac{V_{ppl}}{K_1 V_0}}{1 - \frac{V_{ppl}}{K_1 V_0}} \right) \quad 12.)$$

[0044] Auflösung nach der Fluidichte:

$$\rho_{fl} = \frac{Z_{fl}}{c_{fl}} = \frac{Z_{dl}}{c_{fl}} \left(\frac{1 + \frac{V_{ppl}}{K_1 V_0}}{1 - \frac{V_{ppl}}{K_1 V_0}} \right) = \rho_{fl} \frac{x_{dl}}{x_{fl}} \left(\frac{t_2 - \frac{t_1}{2} - t_{02}}{\frac{t_1}{2} - t_{01}} \right) \left(\frac{1 + \frac{V_{ppl}}{K_1 V_0}}{1 - \frac{V_{ppl}}{K_1 V_0}} \right) \quad 13.)$$

[0045] Die Kompressibilität des Fluids kann nun aus Dichte und Schallgeschwindigkeit bestimmt werden:

$$\gamma_{fl} = \frac{1}{\rho_{fl} c_{fl}^2} = \frac{1}{\rho_{fl}} \left(\frac{t_2 - \frac{t_1}{2} - t_{02}}{x_{fl}} \right)^2 \quad 14.)$$

Fluid-Dämpfung und -Berechnungen:

[0046] Akustische Transmission von der Verzögerungsleitung zu dem Fluid:

$$T_{dl-fl} = \frac{2Z_2}{Z_{dl} + Z_{fl}} \quad 15.)$$

[0047] Transmission vom Fluid zu Meßwandler 2:

$$T_{fl-2} = \frac{2Z_2}{Z_{fl} + Z_2} \quad 16.)$$

[0048] Beziehung der gemessenen Spitze-zu-Spitze-Spannung, die in dem Meßwandler 2 empfangen wird:

$$V_{pp2} = K_1 V_0 T_{dl-fl} e^{(-\alpha_{fl})} K_2 T_{fl-2} \quad 17.)$$

[0049] Auflösung nach dem Absorptionskoeffizienten:

$$\alpha = -\left(\frac{1}{x_{fl}} \right) \ln \left(K_1 T_{dl-fl} K_2 T_{fl-2} \left(\frac{V_0}{V_{pp2}} \right) \right) \quad 18.)$$

[0050] Die hier verwendete Nomenklatur ist wie folgt:

Variablen:

V	Spannung
c	Schallgeschwindigkeit
γ	Kompressibilität
λ	Wellenlänge
ρ	Dichte
f	Frequenz
x	Abstand
Z	akustische Impedanz
R	akustisches Reflexionsvermögen
T	akustische Transmission

Indizes:

1	Meßwandler 1, Sender/Empfänger
2	Meßwandler 2, Empfänger
pp	Spitze-zu-Spitze-Spannung
fl	Fluid
dl	Verzögerungsleitung

Kalibrierung und bekannte Werte

c_{dl}	Schallgeschwindigkeit des Materials der Verzögerungsleitung
ρ_{dl}	Dichte des Materials der Verzögerungsleitung
t_{01}	Versatzzeit für die elektronische Verzögerung des Meßwandlers 1
t_{02}	Versatzzeit für die elektronische Verzögerung des Meßwandlers 2
x_{dl}	Dicke der Verzögerungsleitung
x_{fl}	Dicke des Fluiddurchganges
V_0	Kalibrierspannung
K_1	Kalibrierkonstante für Meßwandler 1
K_2	Kalibrierkonstante für Meßwandler 2

Meßwerte:

t_1	Zeit für das Echosignal für Meßwandler 1
t_2	Zeit für das Echosignal für Meßwandler 2
V_{pp1}	Spitze-zu-Spitze Spannung für das Echosignal für Meßwandler 1
V_{pp2}	Spitze-zu-Spitze Spannung für das Echosignal für Meßwandler 2

[0051] Die in den obigen Gleichungen benutzte Nomenklatur ist wie folgt

[0052] Der akustische Dämpfungskoeffizient (α) eines zweiphasigen Fluids, z.B. Flüssigkeit und Gas, hängt von den Prozentsätzen der beiden Bestandteile ab. Der akustische Dämpfungskoeffizient von Fluiden, die bekannte Prozentsätze der beiden Bestandteile aufweisen, kann im Laboratorium bestimmt werden. Man kann eine Kurvendarstellung des im Laboratorium gemessenen Dämpfungskoeffizienten als Funktion des Prozentsatzes der Gaskomponente in dem Fluid erhalten. Diese akustische Dämpfung hängt von der Viskosität, der Frequenz und der Größe der zweiten Phase in der kontinuierlichen Phase ab.

[0053] [Fig. 5](#) zeigt eine typische Kurvendarstellung des akustischen Dämpfungskoeffizienten (α) als Funktion des Prozentsatzes des Gehalts an Gasphase in einem Fluid, wenn die anderen Parameter konstant sind. Der Bruchteil des Gases in dem Fluid β kann numerisch bestimmt werden, indem man eine Einpassung einer polynomischen Kurve der im Laboratorium gemessenen Daten in die Kurve in [Fig. 5](#) vornimmt. Diese polynomische Einpassung wird dann hinsichtlich der Effekte von Viskosität und der Verteilung der zweiten Phase kompensiert. Diese Kompensation wird vorzugsweise erreicht durch Anwendung von Regressionsmethoden auf bekannte zweiphasige Fluide. Eine typische Formation wird nach der unten angegebenen Gleichung (19) entwickelt. Somit wird durch Verwendung von Messungen der Akustische Dichtezelle **100** der akustische Dämpfungskoeffizient des Untersuchungsfluids nach der früher beschriebenen Gleichung (18) berechnet, und dann wird der Bruchteil der Gasphase nach Gleichung (19) bestimmt.

$$\beta = A_0 + B_0\alpha + C_0\alpha^2 + D_0\alpha^3 + E_0f + F_0f^2 + G_0f^3 + HP_0 \quad (19)$$

[0054] Die obige Gleichung erfordert breitbandige akustische Sender und eine Spektralanalyse der empfangenen Signale, um eine Frequenz- (f) und Druck- (p) Kompensation durchzuführen. Die spektrale Abhängigkeit von α liefert die spektrale Abhängigkeit von β . Die empirischen Messungen an bekannten zweiphasigen Fluiden kann im Laboratorium durchgeführt werden, um den Bruchteil der Gasphase aus der Frequenzabhängigkeit von Gleichung (19) zu interpretieren. Die Frequenzabhängigkeiten der Viskosität und der Zweiphasenstreuung unterscheiden sich. Gleichung 19 zieht Viskositätseffekte ab, um die Genauigkeit der Berechnung von β zu verbessern.

[0055] Zum Betrieb des Systems nach der vorliegenden Erfindung wird das Gerät **24** in das Bohrloch **21** mittels des Kabels **23'** in die gewünschte Tiefe hinunter gelassen. Die Packer/Sonde-Einheit **29** wird gegen die Wandung des Bohrlochs **21** in der interessierenden Zone in der Formation **22** angedrückt. Das elektro-hydraulische System **25** bringt die Sonde der Packer/Sonde-Einheit **29** und die Stützkissen **27** in Position, so daß eine hydraulische Abdichtung mit der elastomeren Packer/Sonde-Einheit **29** gegenüber der Formation erzeugt wird. Normalerweise bleiben das Geräteausgleichsventil **20**, das Probenkammerventil **17** und das Isolationsventil **11** während des Inpositionbringens der Packer/Sonde-Einheit **29** geschlossen. Der Vortest-Kolben **30** wird benutzt, um eine kleine Probe von Fluid in die Feldleitung **14** des Gerätes **24** abzuziehen, während die Feldleitung **15** unter Verwendung eines hochgenauen Quarzdruckmessers **8** überwacht wird. Wenn die Fluidprobe in die Feldleitung **14** des Gerätes **24** angesaugt wird, sinkt der Druck infolge des Widerstandes der Formation gegen Fluidströmung. Wenn der Vortest aufhört, steigt der Druck in der Feldleitung **14** bis er mit dem Druck in der

Formation **22** ausgeglichen ist. Das liegt daran, daß sie Formation **22** allmählich die Fluide in die Sonde der Packer/Sonde-Einheit **29** freiläßt. Der Formationsdruck ist typischerweise geringer als der Bohrloch- **21** oder hydrostatische Druck, und diese Differenz wird benutzt als Mittel zur Verifizierung, daß die Packer/Sonde-Einheit **29** gegen die Wandung des Bohrloches **21** abgedichtet ist. In die Fluide in dem Porenraum der Formation **22** in der Nähe der Packer/Sonde-Einheit **29** sind typischerweise Schlammfiltrat-Fluide ein.

[0056] Um eine Probe zu erhalten, die repräsentativ für die Vorort-Formationsfluide des Bereichs in der Nähe der Sonde ist, muß die Sonde gespült oder durchgepumpt werden, bis Formationsfluide in das Gerät **24** strömen. Um den Bereich in der Nähe der Sonde der Packer/Sonde-Einheit **29** zu spülen, werden das Isolationsventil **11** und das Ausgleichsventil **20** geöffnet, und die Spülpumpe **13** wird gestartet. Die Spülpumpe **13** ist vorzugsweise eine doppeltwirkende Kolbenpumpe, so daß der Fluidstrom so konstant und gleichförmig wie möglich ist. Die Erfindung ist jedoch nicht beschränkt auf einen bestimmten Typ von Spülpumpe, und alle geeigneten Mittel können benutzt werden, um dem angegebenen Zweck zu dienen. Die Spülpumpe **13** saugt Fluid in die Sonde der Packer/Sonde-Einheit **29** und stößt das Fluid bei hydrostatischem Druck aus dem Ausgleichsventil **20** aus.

[0057] Die Pumprate der Spülpumpe **13** wird so geregelt, daß der Druck in der Feldleitung **14** in der Nähe der Sonde oberhalb des Blasenpunktes der Fluidprobe gehalten wird. Während die Spülpumpe läuft, wird die Akustische Dichtezelle **15** benutzt, um die Eigenschaften des Fluids zu messen. Die Akustische Dichtezelle **15** kann die Dichte des Fluids überwachen, die Schallgeschwindigkeit in dem Fluid, der Kompressionsmodul und die Anwesenheit von Blasen in dem Fluid. Durch Überwachung der Bildung von Gasblasen in dem Fluid kann die Strömung in der Feldleitung **14** ständig so eingestellt werden, daß durch Regeln der Geschwindigkeit der Spülpumpe **13** ein einphasiges Fluid aufrechterhalten wird.

[0058] Die vorerwähnten Fluideigenschaften sind von der An des Fluids in der Feldleitung **14**, und die Kenntnis der Fluideigenschaften kann benutzt werden, um die Fluidströmung zu überwachen, während das Formationsfluid zum Probensammeln gepumpt wird. Wenn somit festgestellt wird, daß das durch die Feldleitung **14** strömende Formationsfluid repräsentativ für die Vorortzustände ist, wird das Probenkammerventil **17** geöffnet, und das Ausgleichsventil **20** wird geschlossen. Die Spülpumpe **13** pumpt das Formationsfluid weiter durch die Feldleitung **14**, und das Fluid wird in die Probenkammer **18** geleitet, bis diese gefüllt ist. Die Spülpumpe kann die gesammelte Probe in der Probenkammer **18** weiter bis zu einem gewünschten Druckniveau unter Druck setzen, um das Vorort-Druckniveau sicherzustellen, und dann werden alle Ventile, das Isolationsventil **11**, das Probenkammerventil **17** und das Ausgleichsventil **20** geschlossen.

[0059] Der Blasenpunkt des Fluids in der Feldleitung **14** wird unter Verwendung der Akustische Dichtezelle **15** in Verbindung mit der Spülpumpe **13** gemessen. Die Spülpumpe **13** wird benutzt, um den Druck in der Feldleitung **14** zwischen dem Isolationsventil **11** und der Spülpumpe **13** abzusinken. Die Akustische Dichtezelle **15** bestimmt die Dichteänderung des Fluids und die Blasenbildung in der Feldleitung **14**. Ein (nicht dargestellter) Druckmesser wird auch benutzt, um den Blasenpunkt des Fluids zu bestimmen.

[0060] Die Konfiguration verschiedener Abschnitte des Gerätes **24** kann verändert werden, um den Untersuchungsbedingungen Rechnung zu tragen, aber es ist wünschenswert, daß die Akustische Dichtezelle **15** zwischen der Spülpumpe **13** und dem Packer/Sonde-Einheit **29** angeordnet ist, um eine Überwachung der Fluideigenschaften auf der niederdruckseite der Spülpumpe **13** zu ermöglichen. Wie früher diskutiert, zeigt [Fig. 1B](#) eine alternative Ausführung des Gerätes **24**, bei welcher die Packer/Sonde-Einheit **29** zu „Rathole“-Untersuchungen in der Nähe des unteren Endes des Stranges von Abschnitten im Gerät **24** angeordnet ist. [Fig. 1C](#) zeigt eine noch andere Ausführung des Gerätes **24** mit einem aufblähbaren Packerabschnitt der Packer/Sonde-Einheit **29** statt einer einzelnen Packer/Sonde-Einheit. Weiterhin können eine Mehrzahl von Packer/Sonde-Einheiten **29** statt einer einzigen Packer/Sonde-Einheit **29** vorgesehen sein, aber die grundsätzliche Arbeitsweise des Gerätes **24** bleibt die gleiche.

[0061] [Fig. 6](#) zeigt ein funktionelles Blockdiagramm zum Aufzeichnen von Signalen von der Akustische Dichtezelle **15** und anderen Abschnitten des Gerätes. Wenn man die [Fig. 1A](#), [Fig. 2](#), [Fig. 4A](#), [Fig. 4B](#) und [Fig. 6](#) betrachtet, so enthält der auf einem LKW angeordnete Datenerfassungs-Prozessor **240** eine Steuereinheit **50** zum Steuern der Arbeitsweise des Gerätes **24**, einen Displaymonitor **52**, welcher die Befehle des Benutzers und die Echtzeitergebnisse von dem Gerät **24** anzeigt, und einen Schreiber **54** welcher die gewünschten Signale zu und von dem Gerät **24** aufzeichnet. Ein Mikroprozessor **200** in der Tiefe des Bohrloches (vorprogrammiert oder benutzergesteuert) instruiert den Signaleingangsgenerator **210** einelektrisches Signal, wie es in [Fig. 4A](#) dargestellt ist, an den Meßwandler **108** anzulegen. Das von dem Meßwandler **108** nach der Zeit t_1 empfangene Signal und das von dem Meßwandler **116** nach der Zeit t_2 erzeugte Signal werden zu dem Mikroprozessor **200**

in der Tiefe des Bohrloches übermittelt. Der Mikroprozessor **200** in der Tiefe des Bohrlochs berechnet die Fluidichte, die Fluidkompressibilität, den Prozentsatz von Gasanteil in dem Untersuchungsfluid und übermittelt die Signale an den Signalprozessor **230**. Informationen, die von dem Signalprozessor empfangen werden, werden zu dem auf dem LKW angeordneten Datenerfassungs-Prozessor **240** übermittelt, wo sie verarbeitet, aufgezeichnet und von dem Untersuchungspersonal überwacht werden.

[0062] Wie früher erwähnt, enthält das anfänglich von der Formation **22** abgezogene Fluid Schlammfiltrate, welche in die Formation **22** eingedrungen sind. Es ist daher wichtig, daß die Formationsfluide, die in der Tiefe des Bohrlochs gesammelten Fluide nicht verunreinigt (sauberes Fluid) und in dem gleichen physikalischen Zustand sind, in welchem die Fluide in der Formation vorhanden sind. Beispielsweise sollte der Gas- und Ölgehalt des Fluids aufrechterhalten werden in der Weise wie er in der Formation während des Sammelvorganges vorhanden war. Das erfordert eine Bestimmung, wann das Fluid, das durch die Feldleitung strömt, im wesentlichen frei von Schlammfiltraten ist, und ein Sammeln des Fluids oberhalb des Blasenpunktes des Fluids. Wie früher erwähnt, benutzen die bekannten Geräte Widerstandsmessungen und optische Mittel um laufend die Zustände des Fluids in der Tiefe des Bohrloches zu bestimmen und die Strömungsrate so zu steuern, daß der Fluiddruck oberhalb des Blasenpunktes gehalten wird. Solche Apparate und Verfahren sind kompliziert und sind gewöhnlich sehr aufwendig, Verschmutzung unterworfen und sehr zuverlässig. Wenn eine gewünschte Menge des Fluids in der Fluidkammer **18** gesammelt ist, kann ein neues Befehlssignal in das Bohrloch gesandt werden, um andere Kammern auszuwählen oder den Betrieb der Pumpe **17** anzuhalten, oder um den Zyklus umzukehren und erforderlichenfalls einen weiteren Zyklus in Gang zu setzen.

[0063] Zur Bestimmung des Blasenpunktdruckes wird durch Steuerung der Spülpumpe **13** die Strömungsrate der Fluidströmung in der Feldleitung **14** langsam erhöht, während laufend die Fluidichte und die Fluidkompressibilität überwacht wird. Wenn die Fluidrate erhöht wird, dehnt sich das Gas (soweit vorhanden) in dem Fluid aus seinem normalen flüssigen Zustand, der in der Formation vorhanden ist, aus in einen gasförmigen Zustand, was als plötzlicher Abfall in der Dichte beobachtet wird. Der Druck, bei welchem die Dichte abfällt, ist der Blasenpunktdruck des Fluids. Um die Genauigkeit der Ergebnisse sicherzustellen, wird die Strömungsrate vermindert, bis die Dichte plötzlich auf den anfänglichen Wert des sauberen Fluids und den entsprechenden Fluiddruck ansteigt. Diese Prozedur kann, falls erforderlich, wiederholt werden, um den Blasenpunktdruck genau zu bestimmen.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Untersuchen von Formationsflüssigkeit aus einer Bohrloch-Verzweigungsstelle, die folgendes umfasst

- a) eine Sonde (**29**), die so ausgelegt ist, dass sie an die Formation (**22**) angelegt werden kann und die Formationsflüssigkeit in eine Feldleitung (**14**; **102**) abzieht, die für das Auffangen von Formationsflüssigkeit verwendet wird,
- b) eine Pumpe (**13**) für das Steuern der Strömungsgeschwindigkeit der Formationsflüssigkeit in die Feldleitung (**14**; **102**) und
- c) eine akustische Einrichtung (**15**; **100**) für das Bereitstellen von Signalen zum Bestimmen von Eigenschaften der Formationsflüssigkeit in der Feldleitung (**14**; **102**), wobei die akustische Einrichtung (**15**; **100**) einen Signalwandler (**108**) für das Übertragen akustischer Signale durch die Flüssigkeit in der Feldleitung (**14**; **102**) und einen Empfänger (**116**) für das Erfassen von durch die Flüssigkeit in der Feldleitung (**14**; **102**) hindurchgehenden akustischen Signalen aufweist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der die akustische Einrichtung (**15**; **100**) weiterhin eine erste Verzögerungsleitung (**104**) aufweist, die zwischen dem akustischen Sender (**108**) und der Feldleitung (**14**; **102**) angeordnet ist, so dass die akustischen Signale durch die Verzögerungsleitung (**104**) hindurchgehen müssen, bevor sie die Feldleitung (**14**; **102**) erreichen.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, bei der die akustische Einrichtung (**100**) weiterhin eine zweite Verzögerungsleitung (**124**) aufweist, die zwischen dem akustischen Empfänger (**116**) und der Feldleitung (**14**; **102**) angeordnet ist, so dass die akustischen Signale vom akustischen Sender (**108**) durch die Verzögerungsleitung (**124**) hindurchgehen müssen, bevor sie den Empfänger (**116**) erreichen.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, bei der die Verzögerungen in der ersten (**104**) und der zweiten (**124**) Verzögerungsleitung in ihrer Beschaffenheit und ihrem Ausmaß im Wesentlichen identisch sind.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, die weiterhin eine Steuerschaltung (**200**) für das Bestim-

men der Eigenschaften der Flüssigkeit in der Feldleitung (**14; 102**) aufweist, wobei die Steuerschaltung (**200**) vorzugsweise die Durchflussmenge der Flüssigkeit in die Feldleitung (**14; 102**) in Abhängigkeit von den bestimmten Eigenschaften der Flüssigkeit steuert, wobei es sich bei den Flüssigkeitseigenschaften vorzugsweise um die Dichte oder die Kompressibilität der Flüssigkeit in der Feldleitung (**14; 102**) handelt.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, bei der die Steuerschaltung (**200**) die Durchflussmenge der Formationsflüssigkeit so steuert, dass der Druck in der Feldleitung (**14; 102**) über dem des Blasenpunktes jedes beliebigen Gases in der Formationsflüssigkeit in der Feldleitung (**14; 102**) bleibt.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, bei der die Steuerschaltung (**200**) mit der Pumpe (**13**) wirkverbunden ist und die Pumpe steuert, um die Strömungsgeschwindigkeit der Formationsflüssigkeit in die Feldleitung (**14; 102**) in Abhängigkeit von der Flüssigkeitsdichte und -kompressibilität so zu steuern, dass der Feldleitungsdruck über dem des Blasenpunktes jedes beliebigen in der Formationsflüssigkeit in der Feldleitung (**14; 102**) enthaltenen Gases bleibt.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, die weiterhin eine Kammer (**18**) für das Aufnehmen von Formationsflüssigkeit aus der Feldleitung (**14; 102**) sowie vorzugsweise ein Steuerventil (**17**) aufweist, das mit der Feldleitung (**14; 102**) verbunden ist, um die Formationsflüssigkeit aus der Feldleitung (**14; 102**) gezielt in die Sammelkammer (**18**) oder das Bohrloch (**21**) zu leiten.

9. Vorrichtung nach Anspruch 5, 6 oder 7, die weiterhin ein 2-Wege-Telemetriesystem für das Übertragen von Daten zwischen der Steuerschaltung (**200**) und einem Übertage-Gerät aufweist.

10. Vorrichtung nach Anspruch 5, 6, 7 oder 9, die in Modulform vorliegt und folgendes umfasst:

- (a) einen Sondenabschnitt (**26**) mit der Sonde (**29**),
- (b) einen Pumpenabschnitt (**12**) mit der Pumpe (**13**), die mit der Feldleitung (**14; 102**) verbunden ist,
- (c) eine mit dem Pumpenabschnitt (**12**) und der Feldleitung (**14; 102**) verbundene Zelle (**15**) für das Messen der Schalldichte und
- (d) eine mit der Zelle (**15**) für das Messen der Schalldichte verbundene Steuerschaltung (**200**) für das Verarbeiten von darin empfangenen akustischen Signalen.

11. System für das Analysieren und Sammeln von Formationsflüssigkeit aus einer Bohrlochvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10 und eine mit der Vorrichtung verbundene Übertage-Steuereinheit (**50**), die einen Rechner für das Empfangen der verarbeiteten akustischen Signale aus der Vorrichtung und das Bestimmen der Flüssigkeitsdichte und der Flüssigkeitskompressibilität daraus aufweist und Befehlssignale an die Vorrichtung überträgt, um die Durchflussmenge in die Feldleitung (**14; 102**) in Abhängigkeit vom Flüssigkeitsdichte- und -kompressibilitätsmesswert so zu steuern, dass der Druck in der Feldleitung (**14; 102**) über dem des Blasenpunktes jedes beliebigen in der Formationsflüssigkeit enthaltenen Gases bleibt, sowie ein 2-Wege-Telemetriesystem für das Übertragen von Daten zwischen dem Untertage-Formationsuntersuchungswerkzeug (**24**) und der Übertage-Steuereinheit (**50**).

12. Verfahren für das Auffangen einer Formationsflüssigkeit aus einem Bereich von Interesse (**22**) in einem Bohrloch (**21**), das folgende Schritte umfasst:

- (a) Abziehen von Formationsflüssigkeit aus dem Bereich von Interesse (**22**) in eine Feldleitung (**14; 102**),
- (b) Bestimmen der Schallgeschwindigkeit in der Flüssigkeit, der Schallimpedanz und des Schallabsorptionsgrades der durch die Feldleitung (**14; 102**) fließenden Flüssigkeit,
- (c) Bestimmen der Dichte und Kompressibilität der Flüssigkeit aus der Schallgeschwindigkeit in der Flüssigkeit, der Schallimpedanz und dem Schallabsorptionsgrad der durch die Feldleitung (**14; 102**) fließenden Flüssigkeit und
- (d) Steuern der Durchflussmenge der Flüssigkeit in die Feldleitung (**14; 102**) auf der Grundlage der Flüssigkeitsdichte und der Kompressibilität der durch die Feldleitung (**14; 102**) fließenden Flüssigkeit, um sicherzustellen, dass der Druck in der Feldleitung (**14; 102**) über dem Blasenpunkt der Flüssigkeit bleibt.

13. Verfahren zum Bestimmen des Blasenpunktdrucks einer Formationsflüssigkeit in einem Bohrloch (**21**), das folgendes umfasst

- (a) Pumpen der Formationsflüssigkeit aus einem Bereich von Interesse (**22**) in eine Feldleitung (**14; 102**), wobei die Strömungsgeschwindigkeit der Formationsflüssigkeit in die Feldleitung vorzugsweise über externe Mittel durch eine Pumpe gesteuert wird,
- (b) Bestimmen der Schallgeschwindigkeit in der Flüssigkeit, der Schallimpedanz und des Schallabsorptionsgrades der durch die Feldleitung (**14; 102**) fließenden Flüssigkeit,

- (c) Bestimmen der Dichte und Kompressibilität der Flüssigkeit aus der Schallgeschwindigkeit in der Flüssigkeit, der Schallimpedanz und dem Schallabsorptionsgrad der durch die Feldleitung (**14; 102**) fließenden Flüssigkeit,
- (d) Ändern der Strömungsgeschwindigkeit der Flüssigkeit in die Feldleitung (**14; 102**) und
- (e) Wiederholen der Schritte (b)–(d) so oft wie gewünscht, wobei man den Druck in der Feldleitung (**14; 102**) und die jeder Strömungsgeschwindigkeit entsprechende Kompressibilität aufzeichnet und daraus den Blasenpunktdruck der Flüssigkeit bestimmt.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

FIG. 1A

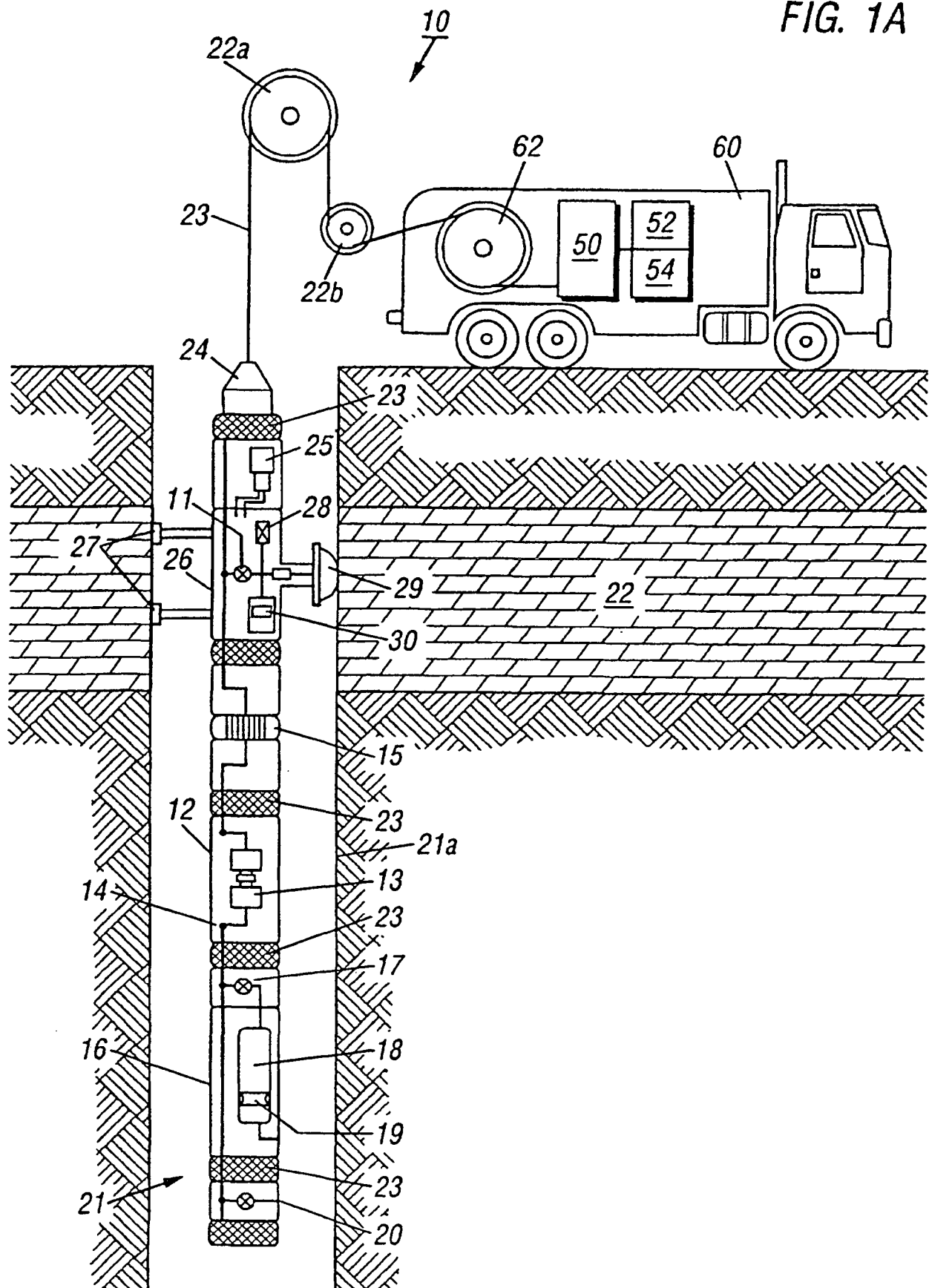


FIG. 1B

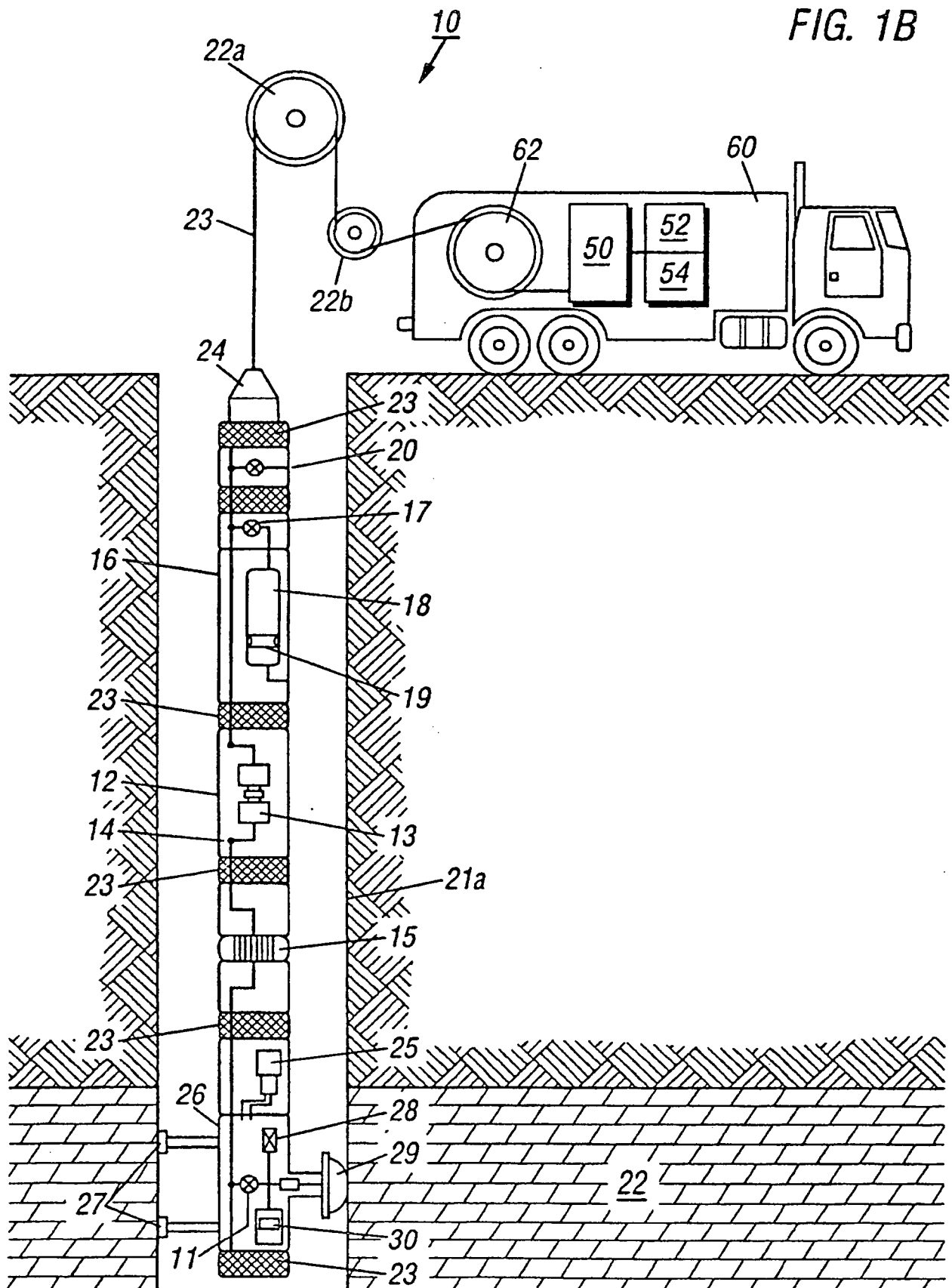


FIG. 1C

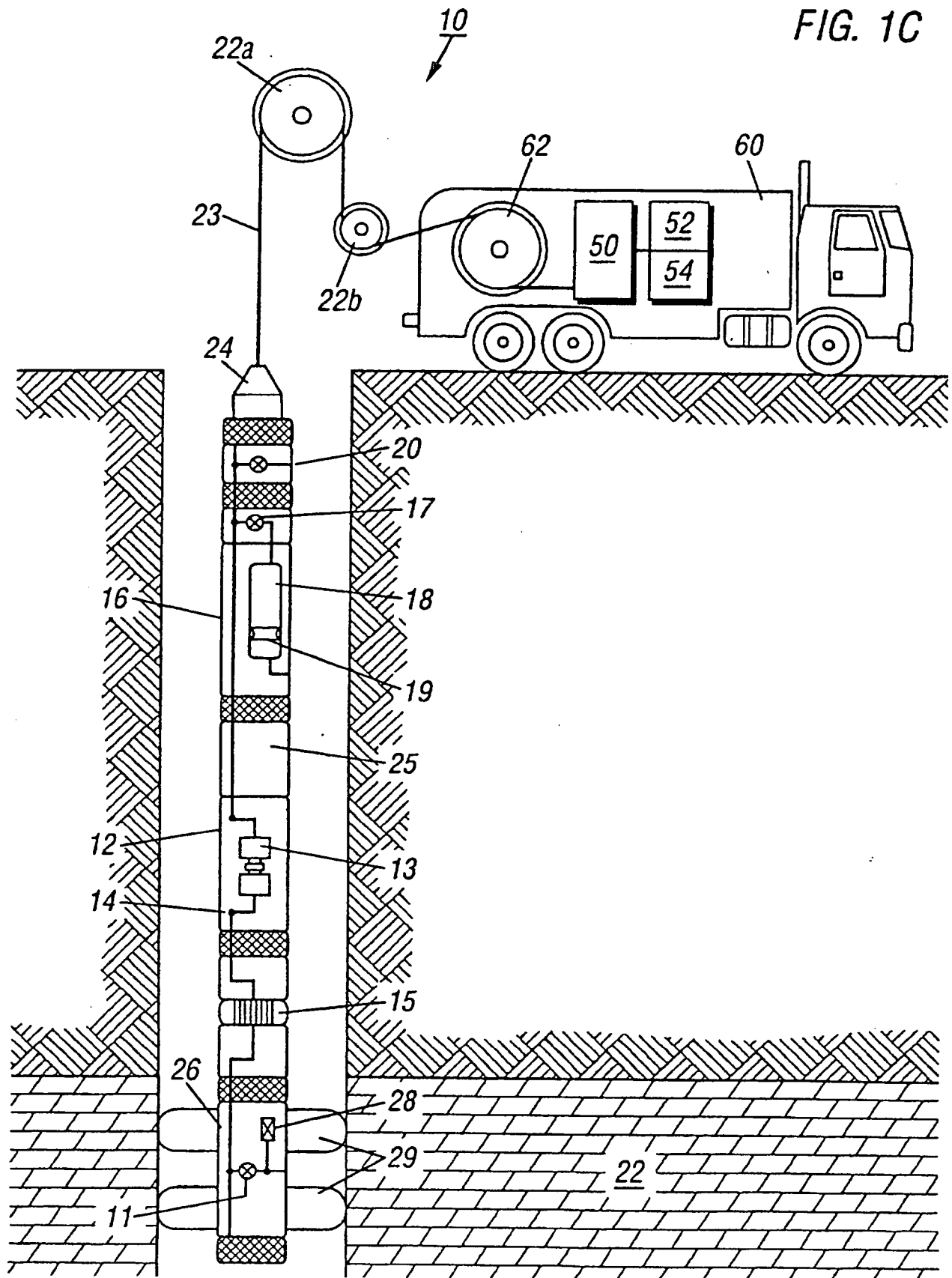


FIG. 2

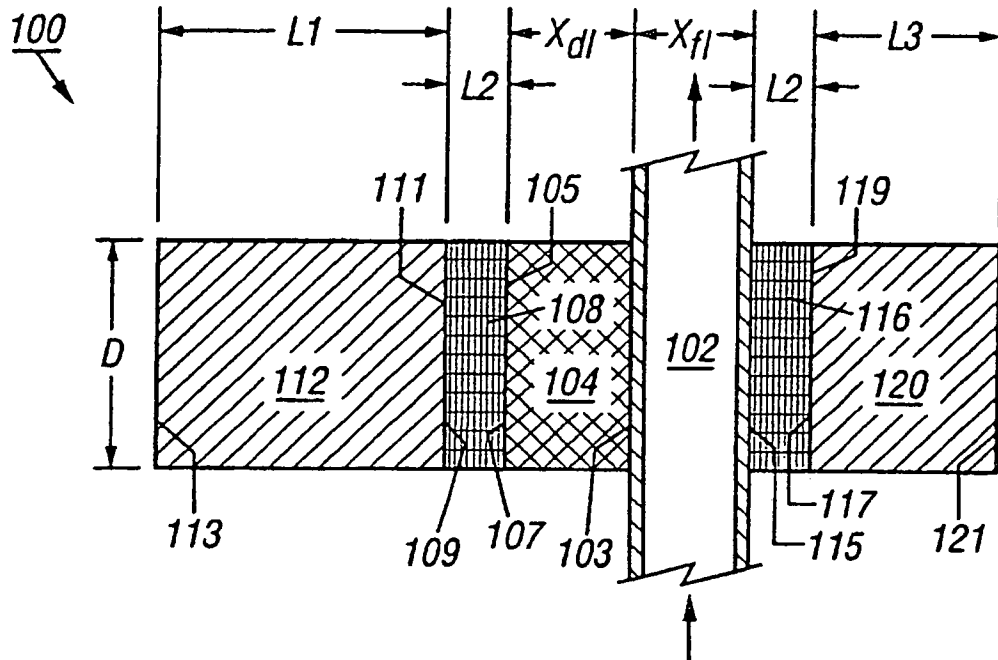


FIG. 3

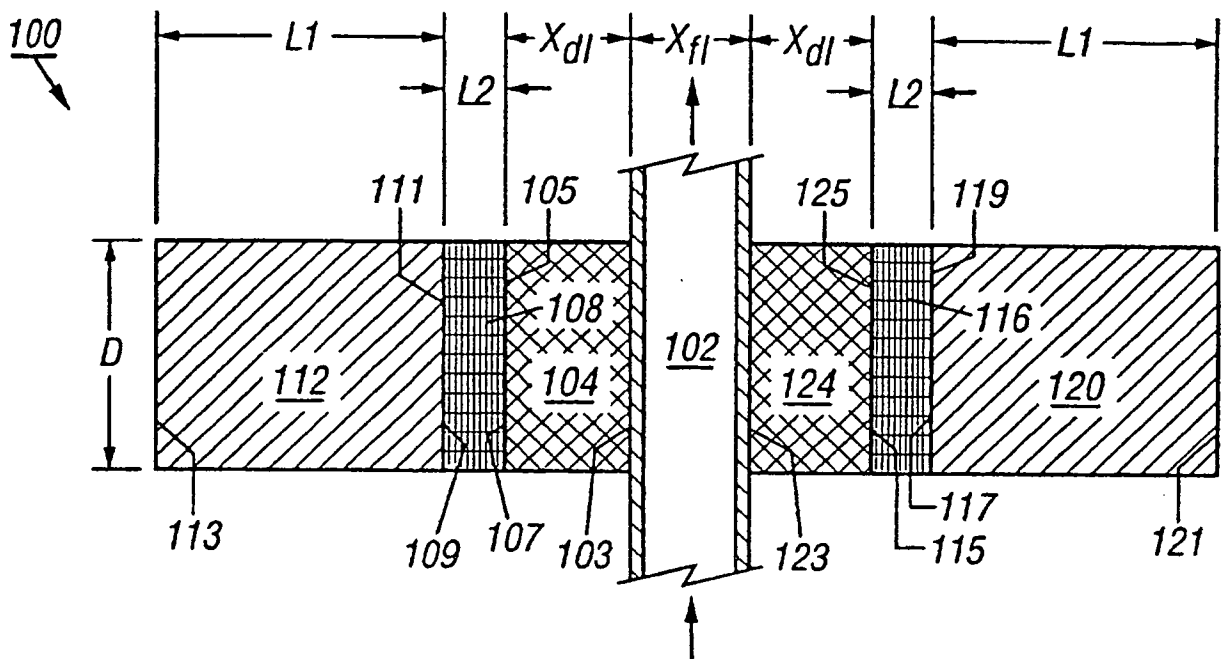


FIG. 4A

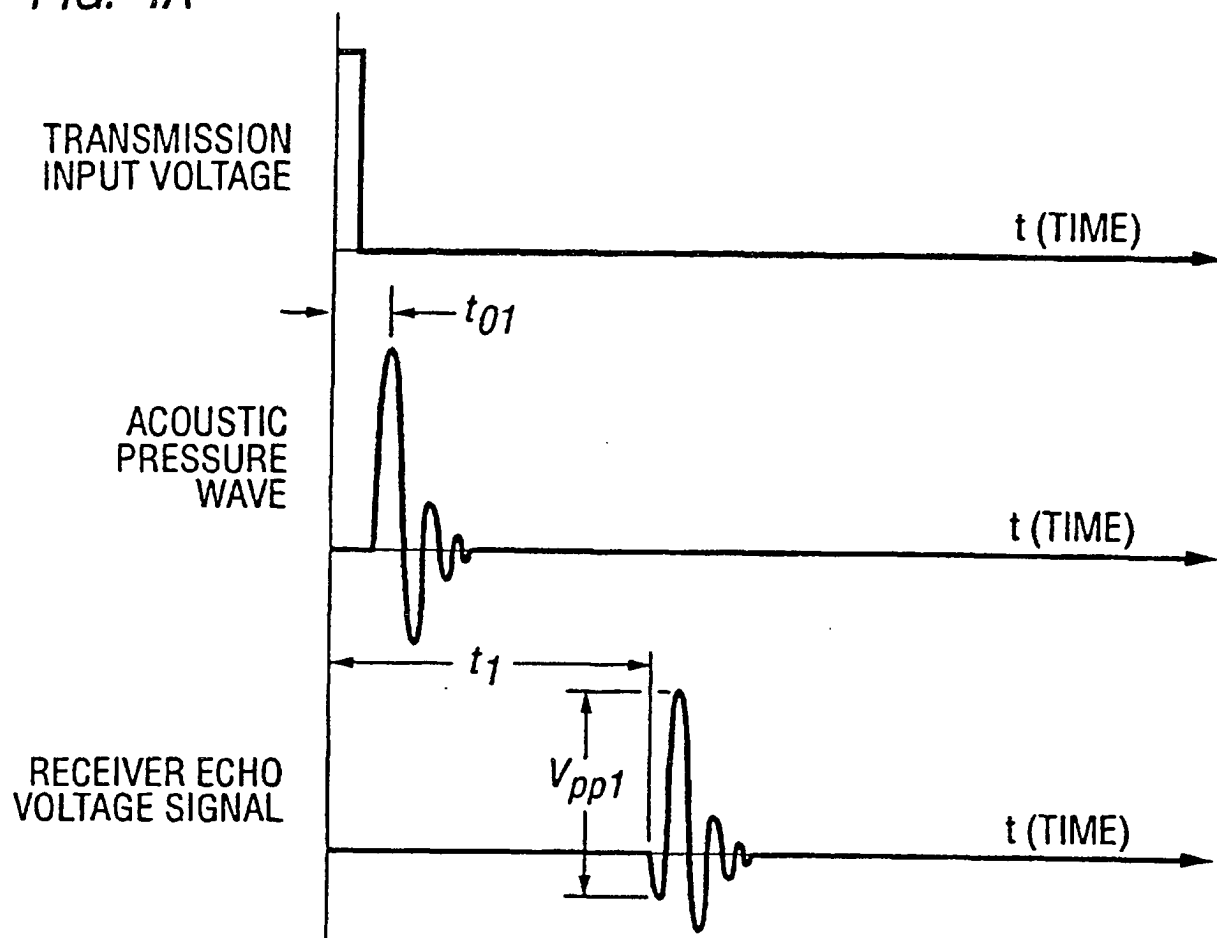


FIG. 4B

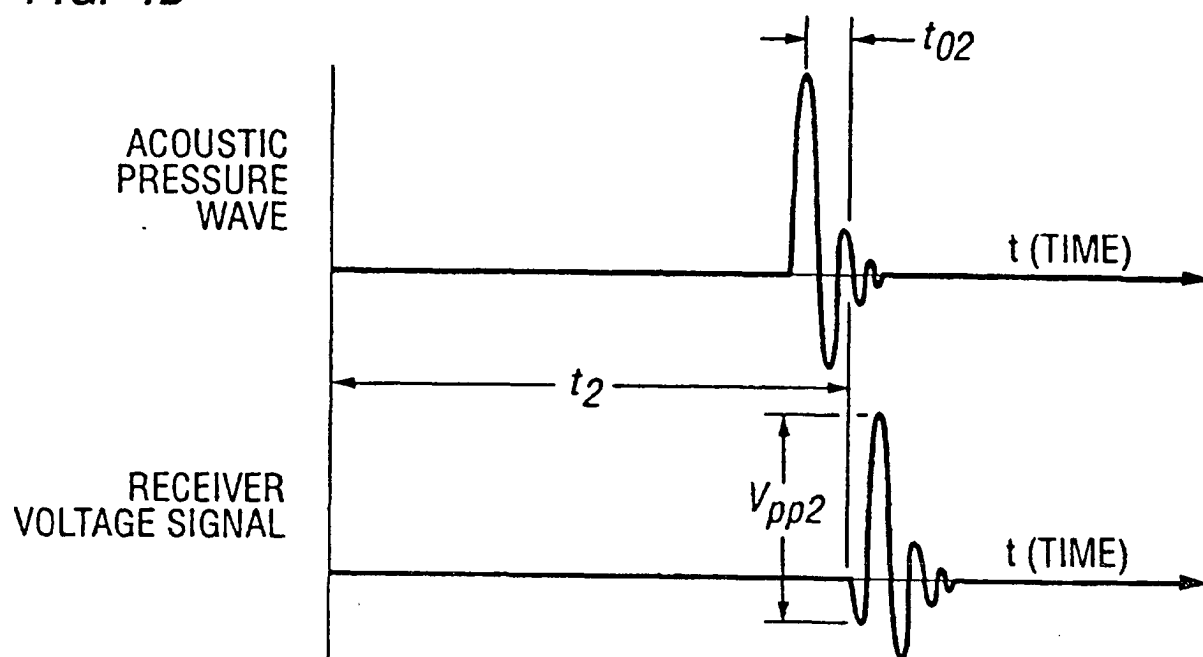


FIG. 5

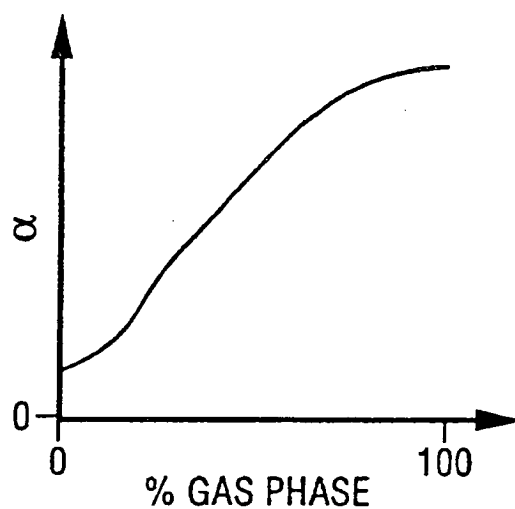


FIG. 6

