



República Federativa do Brasil  
Ministério do Desenvolvimento, Indústria  
e do Comércio Exterior  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

(21) **PI0710810-9 A2**

(22) Data de Depósito: 01/10/2007  
(43) Data da Publicação: 16/08/2011  
(RPI 2119)



(51) *Int.Cl.:*  
G01V 1/40 2006.01  
G01J 3/00 2006.01

(54) Título: **MÉTODO E APARELHO PARA REALIZAR ESPECTROSCOPIA DE FUNDO DE POÇO DENTRO DE UM FURO DE POÇO**

(30) Prioridade Unionista: 03/04/2007 US 11/696,005, 02/10/2006 US 60/827,837, 02/10/2006 US 60/827,837, 03/04/2007 US 11/696,005

(73) Titular(es): Custom Sensors And Technology

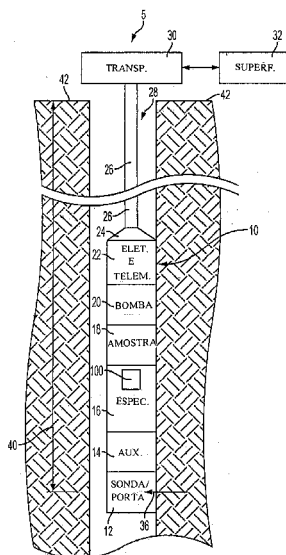
(72) Inventor(es): Anthony Johnson, Bryan Kasperski, Enrique Prati, Jess V. Ford, Margaret C. Waid, Mike Ponstingl, Sean M. Christian, Sven Kruger

(74) Procurador(es): Tavares & Companhia

(86) Pedido Internacional: PCT US2007080112 de 01/10/2007

(87) Publicação Internacional: WO WO2008/042866de 10/04/2008

(57) Resumo: MÉTODO E APARELHO PARA REALIZAR ESPECTROSCOPIA DE FUNDO DE POÇO DENTRO DE UM FURO DE POÇO. Trata-se de um sistema, ferramenta e método de análise para realizar análises de fluido de fundo de poço, tal como dentro de um poço. O sistema, ferramenta e método de análise oferecem uma ferramenta que inclui um espectrômetro para uso na análise de fluido de fundo de poço que utiliza um elemento óptico adaptativo tal como um Arranjo de Microespelhos (MNA) e dois canais luminosos e detectores distintos para proporcionar o escalonamento ou a normalização em tempo real.



Patente de Invenção para “MÉTODO E APARELHO PARA REALIZAR ESPECTROSCOPIA DE FUNDO DE POÇO DENTRO DE UM FURO DE POÇO”.

REFERÊNCIA CRUZADA A PEDIDOS  
5 RELACIONADOS

O presente pedido reivindica o benefício do Pedido de Patente US Provisório de N. de Série 60/827,837, depositado em 2 de outubro de 2006, e é uma Continuação-em-  
parte (CIP) do Pedido de Patente US de N. de Série 11/696,005,  
10 depositado em 3 de abril de 2007, o qual reivindica o benefício do Pedido de Patente US Provisório de N. de Série 60/827,837, depositado em 2 de outubro de 2006 e do Pedido de Patente US Provisório de N. de Série 60/744,246, depositado em 4 de abril de 2006, a revelação por completo destes documentos sendo  
15 incorporada ao presente a título de referência.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

1. Campo da Invenção

Em geral, a presente invenção refere-se ao campo de espectroscopia e análise espectral, mais  
20 especificamente, a um sistema, uma ferramenta e um método de análise capazes de realizar análise óptica e outras análises espectrais de fluido dentro de um furo de poço utilizando canais de amostra e de referência e um Arranjo de Microespelhos (MMA) para proporcionar escalonamento ou normalização em  
25 tempo real.

2. Descrição do Estado da Técnica

Os mais diversos sistemas são utilizados na exploração geográfica e nas operações de produção de poços para determinar parâmetros físicos e químicos de materiais nas imediações do poço. As imediações do poço incluem materiais, tais como fluidos, nas adjacências do poço, bem como materiais, tais como fluidos, dentro do poço. Os vários sistemas incluem, mas sem a isto se restringirem, testadores de formação a cabo elétrico, testadores de formação de perfuração, sistemas de perfilagem de produção, sistemas de perfuração sub-balanceada, sistemas de análise de fluido de furo de poço conduzidos dentro do furo de poço e sistemas de monitoração e análise de fluido dispostos permanentemente dentro do furo de poço.

Os sistemas testadores de formação a cabo elétrico são usados na indústria de petróleo e gás principalmente para medir a pressão de uma formação penetrada por um furo de poço e para coletar e analisar fluidos das imediações do furo de poço a fim de determinar componentes relevantes presentes no fluido. Os sistemas testadores de formação a cabo elétrico também são usados para determinar várias propriedades da formação nas proximidades do poço. Essas propriedades de formação, somadas às análises das propriedades físicas e químicas do fluido de formação, podem ser usadas para prever e avaliar prospectos de produção de reservatórios penetrados pelo furo do poço.

Com relação à coleta de amostras de fluido de formação, é de suma importância que o fluido coletado para

análise represente o fluido de formação com a contaminação mínima dos fluidos usados na operação de perfuração do furo de poço. Várias técnicas vêm sendo empregadas para minimizar a contaminação de amostras, incluindo a monitoração de fluidos bombeados por meio de um instrumento de fundo de poço ou a seção, ou as seções, do sistema da ferramenta testadora de formação de fundo de poço a cabo elétrico até que uma e/ou mais propriedades fluidas, tal como a resistividade, deixe de mudar em função do tempo.

A ferramenta testadora de formação utiliza elementos isolantes tais como obturadores duplos ou obturadores hidráulicos em forma de anel que contêm uma ou várias portas. Esses elementos vedam-se junto à formação para isolar uma região da formação do interior do furo do poço, permitindo que a formação seja amostrada com um certo isolamento. Os fluidos dentro da formação são bombeados diretamente através da porta, ou das portas, a partir de dentro da formação isolada e são, então, bombeados através das seções da ferramenta de teste por meio de uma ou mais linhas de fluxo. Dentro da ferramenta há vários instrumentos ou sensores para analisar o fluido. O fluido, que contém componentes brutos (sólidos, líquidos e/ou gasosos), bem como líquido filtrado da lama de perfuração ou outros contaminantes, escoar através da ferramenta de teste de formação e é analisado. Quando é determinado que o líquido filtrado da lama ou outra contaminação foi minimizado, o fluido pode ser retido dentro dos cilindros de amostra dentro da ferramenta e,

geralmente, levado de volta à superfície da terra para ser submetido a testes químicos e físicos mais detalhados.

Além da coleta de amostras, as análises de fluidos dentro da ferramenta de exploração de fundo de poço incluem a determinação dos constituintes de óleo, água e gás do fluido. Às vezes, os instrumentos e sensores são utilizados para analisar as propriedades fluidas do fluido a partir de uma região específica da formação de fundo de poço e não resta nenhuma amostra para ser trazida à superfície. Essa análise pode ser usada, por exemplo, para determinar a conectividade do reservatório ao examinar e identificar os fluidos que aparecem naquele compartimento específico do reservatório. Além disso, é desejado determinar as concentrações de metano,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , hidrocarbonetos ( $\text{C}_n$ , onde  $n = 2, \dots, 6+$ ), ou água, bem como de certos metais dentro dos fluidos. Muitas vezes, deseja-se obter várias análises ou amostras de fluidos em função da profundidade do furo do poço. De forma operacional, procura-se obter essas várias análises e/ou amostras em uma única viagem da ferramenta dentro do poço.

As ferramentas testadoras de formação podem ser conduzidas ao longo do furo do poço por vários meios incluindo, mas sem a isto se restringir, um cabo uni ou multicondutor, um cabo de aço, uma coluna de perfuração, uma coluna de completação permanente ou uma coluna de tubulação flexível contínua. Os dados e as informações de resposta da ferramenta, bem como os dados operacionais da ferramenta,

podem ser transferidos para e a partir da superfície da terra usando cabos elétricos, tubulação flexível contínua e sistemas telemétricos de colunas de perfuração. Como alternativa, os dados e as informações de resposta da ferramenta podem ser armazenados na memória dentro da ferramenta para acesso posterior na superfície da terra.

Para realizar a análise de fluido, os espectroscópios, tais como os espectrofotômetros, espectrômetros, espectrofluorômetros ou analisadores espectrais, são utilizados em várias situações para detectar e informar as características espectrais de um fluido de teste. Essas características podem ser então usadas para proporcionar uma análise das propriedades químicas e/ou físicas do fluido para a descrição e modelagem do reservatório, para o planejamento da produção e para outros serviços de produção e exploração de hidrocarbonetos. Os espectroscópios costumam utilizar alguma forma de radiação eletromagnética (EM) para realizar a análise de fluido. O comprimento de onda dessa radiação EM pode ser na faixa de raios-x, na faixa de radiação gama, na faixa ultravioleta, na faixa visível, na faixa de infravermelho ou qualquer combinação dessas faixas de radiação.

Os espectroscópios até então utilizados costumam ser dispositivos de grandes proporções físicas devido à necessidade de dividir a radiação EM em vários componentes. Além disso, muitos sistemas espectroscópios que utilizam análise espectral têm sua capacidade de uso limitada a um número

limitado de técnicas de análise espectral devido a sua configuração de hardware. Em geral, uma vez construído, o espectro só pode ser analisado temporal ou espacialmente; nunca os dois. Por causa do ambiente geralmente hostil em que uma  
5 ferramenta de fundo de poço opera, os espectroscópios de fundo de poço até então utilizados foram muito limitados pelo número de canais distintos que podiam possuir. Além disso, os espectroscópios até então utilizados costumam depender de sua capacidade de continuarem calibrados enquanto analisam ou  
10 varrem. Isso pode ser muito difícil em espectroscópios utilizados em uma ferramenta de fundo de poço, uma vez que os espectroscópios geralmente necessitam da quase que constante interação do operador para ajustar fatores sistemáticos de mudança e para verificar e ajustar ininterruptamente a calibragem  
15 para uma calibragem "padrão". Portanto, todas essas características de sistemas anteriores costumam tornar a maioria dos espectroscópios relativamente inapropriados para análises em tempo real do fluido circulante em um ambiente de fundo do furo de poço.

20 Além dos sistemas testadores de formação, os sistemas de perfilagem de produção, bem como os sistemas instalados permanentemente, são usados na indústria de petróleo e gás para identificar a localização, tipo e quantidade de fluido ecoando através de ou penetrando em um furo de poço em função  
25 do tempo e/ou da profundidade dentro do furo de poço. De preferência, as vazões de volume de cada um dentre óleo, água e

gás são medidas em função do tempo e/ou da profundidade. Os perfis de produção costumam ser usados para monitorar o desempenho da produção de poços existentes. Igualmente, os perfis de produção podem ser usados para avaliar as completações de poços recém-perfurados e para diagnosticar problemas de produção e de revestimento de poços já existentes. A determinação dos constituintes e/ou das propriedades do fluido, somada à vazão de volume dos constituintes de óleo, água e/ou gás, proporciona uma ferramenta poderosa para a tomada de decisões de produção, completação ou recomissionamento em relação ao poço.

Os sistemas de análise de fluido do fundo do poço não são usados somente em circunstâncias de monitoração distintas. Os sistemas para monitoração do fundo do poço também podem ser usados na indústria de petróleo e gás para monitorar constituintes de fluido escoando dentro de um furo de poço em função do tempo e/ou da profundidade, em que o tempo de monitoração pode levar dias ou até mesmo semanas. Mais uma vez, tais sistemas necessitam da medição dos constituintes e/ou das propriedades do fluido na ferramenta e sob condições semelhantes às descritas acima.

## SUMÁRIO

A seguir, será apresentado o sumário da invenção a fim de propiciar um entendimento básico de alguns aspectos da invenção. Este sumário não foi construído com a intenção de identificar elementos cruciais ou fundamentais da

invenção ou de delinear o âmbito da invenção. A única finalidade desta seção é a de apresentar alguns conceitos da invenção de maneira simplificada para que sirvam de introdução à descrição mais detalhada apresentada a seguir.

5 Por causa desse e de outros problemas na técnica anterior, o presente documento descreve uma ferramenta para realizar a análise de fundo de poço de um fluido, a ferramenta compreendendo: uma porta para obter uma amostra de fluido de fundo de poço; e um espectroscópio, o espectroscópio  
10 incluindo: um canal de amostra que avalia o referido fluido de formação; um canal de referência; e um Arranjo de Microespelhos (MMA) compreendendo elementos que são orientados em seqüência para direcionar a luz, no comprimento de onda da amostra, para o canal de amostra e para o canal de referência;  
15 «caracterizada pelo fato de que a resposta do canal de amostra e a resposta do canal de referência são combinadas para produzir a medição de uma propriedade do referido fluido de formação e para corrigir as mudanças sistemáticas da medição no espectroscópio. Em uma concretização, o sistema determina,  
20 dentro da ferramenta, propriedades químicas e físicas de fluidos que são colocados em contato com um sensor.

Em uma concretização, a ferramenta pode ser parte de um sistema testador de formação a cabo elétrico, de um sistema de perfilagem de produção, de um sistema de análise de  
25 fluido de fundo de poço, de um sistema testador de formação de Perfilagem Durante a Perfuração (LWD) ou um sistema testador

de formação de Medição Durante a Perfuração (MWD) (um sistema testador de formação LWD/MWD).

Também é descrito no presente documento um sistema para medir propriedades de um fluido de dentro de um furo de poço, o sistema compreendendo: uma ferramenta, a ferramenta incluindo; um elemento de isolamento para isolar uma parte de uma formação de terra; uma porta para obter uma amostra de fluido de formação da referida parte isolada; e um espectroscópio, o referido espectroscópio incluindo: uma fonte luminosa; um Arranjo de Microespelhos (MMA) que é usado para filtrar comprimentos de onda; um canal de amostra compreendendo um acessório de amostragem em contato óptico com o fluido; um detector de amostra; e um canal de referência compreendendo um detector de referência; um sistema de controle que orienta os elementos do referido arranjo de microespelhos de modo que a luz em um comprimento de onda de amostra seja direcionada para o referido canal de amostra, e que oriente alternadamente os elementos do referido arranjo de microespelhos de modo que a luz no referido comprimento de onda de amostra seja direcionada para o referido canal de referência; e um processador para combinar respostas do referido detector de amostra e do referido detector de referência para obter a medição de pelo menos uma propriedade de um fluido dentro de um furo de poço e para corrigir as mudanças sistemáticas da medida no referido espectroscópio.

Em outra concretização, o espectroscópio compreende ainda meios para detectar a corrente escura do espectroscópio. Em uma concretização adicional, o sistema de controle orienta os elementos do MMA de modo que a luz seja 5 direcionada para longe ou do canal de amostra ou do canal de referência, e as respostas do detector de referência e do detector de amostra, respectivamente, são usadas para determinar as correntes escuras do respectivo canal. Em uma concretização, essas medições são usadas no futuro para corrigir medições 10 espectroscópicas para os efeitos adversos da variação de fundo.

Em ainda outra concretização, a ferramenta adicionalmente compreende uma seção de espectroscópio em que o espectroscópio é disposto, e uma sonda ou seção de porta através da qual o fluido escoe para a seção de espectroscópio.

15 Em outra concretização, a ferramenta compreende ainda uma seção de bomba da ferramenta e meios para isolar a sonda ou seção de porta da ferramenta de modo que o fluido possa ser extraído para a ferramenta a partir da formação de terra penetrada pelo furo de poço.

20 Em uma concretização, o sistema compreende ainda uma unidade telemétrica de superfície, uma seção e telemétrica disposta na ferramenta, em que o sistema eletrônico e telemétrico compreende uma unidade telemétrica de fundo de poço e um canal de dados conectando operacionalmente a unidade 25 telemétrica do fundo do poço à unidade telemétrica da superfície,

permitindo assim a medição da propriedade a ser enviada por telemetria ao equipamento da superfície.

Também é descrito no presente documento um método para medir a propriedade de um fluido dentro de um furo de poço, o método compreendendo: dispor um espectroscópio dentro do furo do poço, o espectroscópio compreendendo um canal de amostra que interage com um fluido, um canal de referência e um Arranjo de Microespelhos (MMA) compreendendo elementos de microespelho; orientar sequencialmente os elementos de microespelho para direcionar a luz, em um comprimento de onda, para o referido canal de amostra e para o referido canal de referência; e combinar uma resposta do referido canal de amostra e uma resposta do referido canal de referência para obter uma medição de uma propriedade do fluido e para corrigir as mudanças sistemáticas da medição no espectroscópio.

Esse método pode ser realizado por um sistema testador de formação a cabo elétrico, por um sistema testador de formação de Perfilagem Durante a Perfuração (LWD) ou um sistema testador de formação de Medição Durante a Perfuração (MWD) (um sistema testador de formação LWD/MWD), por um sistema de perfilagem de produção, por um sistema de análise de fluido de fundo de poço.

Também é descrita no presente documento uma ferramenta para medir propriedades de um fluido de formação de fundo de poço dentro de um furo de poço, a ferramenta

compreendendo: meios para isolar uma parte de uma formação de terra; uma porta para obter uma amostra de fluido de formação da referida parte isolada; meios para avaliar uma propriedade do referido fluido de formação; e meios que permitem a correção de mudanças sistemáticas na referida avaliação enquanto a referida ferramenta está no fundo do poço dentro do referido furo do poço.

Em outra concretização, o espectroscópio utiliza um elemento óptico adaptativo, tal como um MMA, o qual é capaz de proporcionar escalonamento ou normalização em tempo real ao usar dois canais de coleta distintos ou trajetórias luminosas e que pode ser usado em um sistema testador de formação.

Em uma concretização, o espectroscópio compreende: um MMA compreendendo vários espelhos, cada um deles podendo alternar entre uma primeira e segunda posições, uma fonte de luz com um espectro, e pelo menos dois detectores; caracterizado pelo fato de que a fonte luminosa é espacialmente dispersa através do MMA de modo que um primeiro grupo dos referidos espelhos possa direcionar uma primeira parte do espectro ao longo de uma primeira trajetória luminosa dos pelo menos dois detectores ao ser colocado na primeira posição; e pelo fato de que uma segunda posição dos espelhos pode direcionar uma segunda parte do espectro ao longo de uma segunda trajetória luminosa para o segundo dentre os pelo menos dois detectores ao colocá-lo na referida segunda posição.

Dependendo da concretização do espectroscópio, a fonte de luz pode ser uma fonte luminosa de

banda larga ou uma fonte de luz de banda estreita. A primeira trajetória luminosa inclui uma amostra a ser analisada, ao passo que a segunda trajetória luminosa não inclui uma amostra a ser analisada; portanto, a saída do segundo detector pode ser usada  
5 como referência para a saída do primeiro detector.

Em uma concretização, o MMA compreende um Dispositivo Digital de Microespelhos (DMD).

Em outra concretização, o espectroscópio também compreende uma fenda de entrada por onde a luz passa  
10 antes de atingir o MMA. As colunas do espectro podem corresponder à dimensão espectral de dispersão e as linhas à dimensão espacial da fenda de entrada. Os vários espelhos podem ser dispostos em várias linhas e colunas em que as colunas do espectro incidem no MMA de modo a alinharem-se às colunas de  
15 espelhos ou em que as colunas do espectro incidem no MMA de modo a alinharem-se a uma diagonal das linhas e colunas dos espelhos.

Em outra concretização, o MMA realiza a separação espectral do espectro.

20 Em outra concretização, o MMA pode direcionar, de maneira reversível, a primeira parte ao longo da primeira e segunda trajetórias e a segunda parte ao longo da primeira e segunda trajetórias de modo que quando uma das partes for direcionada à primeira trajetória, a outra será  
25 direcionada à segunda trajetória e vice-versa.

## BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

A FIG. 1 oferece uma visão geral de uma concretização de um sistema testador de formação a cabo elétrico e operando no fundo de poço dentro de um furo de poço.

5 A FIG. 2A é um diagrama conceitual de uma concretização de um espectroscópio que usa vários canais dispostos dentro da seção de espectroscópio da ferramenta da concretização de uma ferramenta. A FIG. 2B ilustra um único microespelho de um Arranjo de Microespelhos (MMA) orientado para direcionar a luz para o canal de amostra do espectroscópio.

10 A FIG. 2C ilustra um único microespelho de um MMA orientado para direcionar a luz para o canal de referência do espectroscópio.

A FIG. 3 é um diagrama conceitual de outra concretização de um espectroscópio usando acessórios de amostra e de referência.

15 A FIG. 4 é um diagrama conceitual de outra concretização de um espectroscópio usando uma fonte luminosa incidente em uma amostra antes de incidir no MMA.

A FIG. 5 ilustra uma concretização de uma trajetória óptica.

A FIG. 6 ilustra uma concretização de uma trajetória óptica.

A FIG. 7 ilustra outra concretização de uma trajetória óptica.

20

A FIG. 8 é um diagrama conceitual das capacidades do processamento de canal duplo de uma concretização do espectroscópio.

5 A FIG. 8A ilustra um primeiro comprimento de onda direcionado ao canal de referência com todos os outros comprimentos de onda direcionados ao canal de amostra.

A FIG. 8B ilustra o primeiro comprimento de onda direcionado ao canal de amostra com todos os outros comprimentos de onda direcionados ao canal de amostra.

10 A FIG. 9 ilustra uma vista lateral (FIG. 9A), superior (FIG. 9B) e final (FIG. 3C) da arquitetura interna de uma primeira concretização do espectroscópio.

A FIG. 10 é um diagrama conceitual da arquitetura interna de um espectroscópio usando duas entradas separadas e medindo duas amostras.

A FIG. 11 ilustra o posicionamento de um espectro em um MMA. Na FIG. 11A, o espectro é alinhado ao MMA, ao passo que, na FIG. 11B, o espectro é desviado por meio do MMA.

20 A FIG. 12 é um gráfico ilustrando como o espectroscópio pode ser usado para o controle dinâmico da resolução.

A FIG. 13 é um gráfico de como o espectroscópio pode ser usado para melhorar dinamicamente a relação sinal-ruído.

25

A FIG. 14 é um gráfico de como o espectroscópio pode ser usado para a filtragem dinâmica.

A FIG. 14A ilustra um gráfico antes da filtragem, ao passo que a FIG. 14b ilustra o mesmo gráfico após a  
5 filtragem.

A FIG. 15 é um gráfico de como o espectroscópio pode ser usado para a filtragem dinâmica.

A FIG. 16 ilustra duas indicações de como os segmentos dos comprimentos de onda do espectro podem ser  
10 modulados para gerar a análise (FIG. 16A) e a divisão óptica (FIG. 16B) da Transformada Rápida de Fourier (FFT).

A FIG. 17 ilustra um espectro de amostra medido com uma concretização do espectroscópio ilustrando  
constituintes de óleo, água e gás no fluido.

## 15 DESCRIÇÃO DAS CONCRETIZAÇÕES PREFERIDAS

A descrição detalhada é ilustrada a seguir a título exemplificativo não-limitante. É discutido no presente documento um sistema para realizar, no fundo do poço dentro do  
20 furo do poço, a análise espectroscópica de um fluido. Também é discutida uma ferramenta de fundo de poço incluindo um espectroscópio para realizar tal análise de um fluido no fundo do poço dentro do furo do poço. Os conceitos básicos do espectroscópio são apresentados com o sistema concretizado a  
25 título exemplificativo como um sistema testador de formação. No entanto, em concretizações alternativas, o espectroscópio pode ser

concretizado em sistemas tais como, mas sem a isto se restringir, um sistema de perfilagem de produção e um sistema de análise e amostragem de fluidos de furo de poço.

A FIG. 1 ilustra de forma conceitual os elementos principais de uma concretização do sistema testador de formação (5) operando no fundo do poço em um furo de poço (28) que penetra em uma formação de terra (42). A concretização da FIG. 1 é uma concretização exemplificativa de um dispositivo de análise de fluido de fundo de poço mais geral. Além disso, o dispositivo da FIG. 1 é ilustrado de forma conceitual e não se tem a intenção de transmitir escalas ou localização específica a partir dele. A concretização da FIG. 1 é típica de um testador de formação a cabo elétrico; entretanto, os dispositivos, sistemas e métodos discutidos no presente documento podem ser usados em uma variedade de ferramentas incluindo, mas sem a isto se restringir, testadores de formação a cabo elétrico, ferramentas de perfilagem de produção, testadores de formação em uso durante perfurações – testadores de formação de Perfilagem Durante a Perfuração/Medição Durante a Perfuração (LWD/MWD), ferramentas de análise de fluido de fundo de poço ou qualquer outra ferramenta de fundo de poço conhecida pelos versados na técnica. Além disso, embora um sistema testador de formação conforme discutido no presente documento deva ser enviado para o fundo do poço e então retornado, os sistemas, dispositivos e métodos também podem ser usados em sistemas de monitoração de fundo de poço permanentes ou semipermanentes.

Em geral, um sistema testador de formação (5) compreende uma ferramenta testadora de formação (10) que é conduzida dentro de um furo de poço (28) por um transportador (30). O instrumento de furo de poço testador de formação, ou "ferramenta" conforme pode ser referido pelo presente documento, é indicado como um todo pelo número (10). O meio transportador (30) é disposto na superfície da terra e coopera com um cabo ou tubo (26) que pode servir como um canal de dados entre a ferramenta (10) e o transportador (30). O transportador (30) é conectado operacionalmente ao equipamento na superfície (32), que pode oferecer várias funções incluindo processamento de dados de resposta da ferramenta (10), controle operacional da ferramenta (10), registro de medições feitas pela ferramenta (10), acompanhando o posicionamento da ferramenta (10) dentro do furo de poço (28), entre outros.

A ferramenta testadora de formação (10) compreende várias seções conectadas operacionalmente que podem ser dispostas dentro de um invólucro ou de um colar de perfuração. Essas seções podem incluir uma sonda ou seção de porta da ferramenta (12), uma seção auxiliar de monitoração da ferramenta (14), uma seção de espectroscópio da ferramenta (16), uma seção de bomba da ferramenta (20) e uma seção eletrônica e telemétrica da ferramenta (22). Um processador é disposto, de preferência, dentro de cada seção da ferramenta (10).

Com referência mais uma vez à FIG. 1, em geral, o fluido é extraído para a ferramenta testadora (10) por

meio de uma sonda ou de uma seção de porta da ferramenta (12). Com o único propósito de facilitar a discussão, iremos pressupor que a sonda ou a seção de porta da ferramenta (12) compreende uma porta configurada como uma sonda e a seção (12) será referida doravante como seção de "sonda" (12), embora, com esse termo, não se tenha a intenção de especificar que a porta seja configurada como uma sonda. A seção de sonda (12) pode compreender uma ou mais portas de admissão, as quais não são estão ilustradas. O fluxo de fluido dentro da seção de sonda (12) é ilustrado de forma conceitual com a seta indicando a extração do fluido de formação (36) de dentro da estrutura de terra (42) e para dentro da seção de sonda (12).

De modo a reduzir a contaminação do fluido amostrado obtido pela seção de sonda (12), a seção de formação de terra (42) será, por via de regra, isolada do furo do poço (28) de modo a melhorar a capacidade de retirar fluido de formação da formação de terra (42) e para não obter amostras de fluido dentro do furo de poço (28). Durante a operação de perfuração do furo do poço, o fluido do furo do poço e o fluido dentro ou próximo à formação do furo do poço pode ser contaminado com o fluido de perfuração normalmente compreendendo sólidos, fluidos e outros materiais. A contaminação de fluido de perfuração do fluido (36) extraído da formação de terra (42) pode ser minimizada usando vários meios para inibir tal contaminação. Isso inclui, mas sem a isto se restringir, usar uma ou mais sondas em conjunto com um elemento isolante de furo de poço tal como um dispositivo do tipo

obturador hidráulico (não ilustrado) que é colocado junto à parede da formação de terra (42). Uma ou mais sondas estendem-se através do obturador hidráulico para dentro da formação de terra (42). Como alternativa, a parte a formação a ser testada pode ser isolada do furo do poço por um ou mais obturadores (não ilustrado). Vários obturadores podem ser configurados axialmente como obturadores "duplos". Os obturadores duplos e seu uso são revelados na Patente U.S. No. 5,337,621, cuja revelação é anexada ao presente documento na íntegra a título de referência.

10 Ainda com referência à FIG. 1, o fluido (36) pode passar da seção de sonda (12) através das linhas de fluxo apropriadas (não ilustrado) e para dentro da seção auxiliar de monitoração da ferramenta (14). A seção auxiliar de monitoração da ferramenta (14) pode compreender um ou mais sensores (não  
15 ilustrados) que podem medir vários parâmetros físicos do fluido, tais como, mas sem a isto se restringir, a resistividade, o potencial dielétrico, a temperatura, a densidade, a viscosidade ou a massa. O fluido então passa dentro das linhas de fluxo apropriadas (não ilustrado) para dentro da seção de espectroscópio da ferramenta  
20 (16), onde análises químicas e/ou físicas são realizadas no fluido enquanto a ferramenta (10) permanece dentro do furo do poço (28).

É possível medir e controlar a taxa de fluxo de fluido através da ferramenta (10). Conforme discutido em  
25 detalhes nas seções precedentes e seguintes da presente revelação, um espectroscópio tal como o espectroscópio (100) (discutido

mais tarde) é instalado dentro da seção de espectroscópio da ferramenta (16) ou em qualquer outra localização adequada e realiza medições espectrais ópticas ou, como alternativa, de outros tipos no fluido (36) a partir do qual as concentrações de 5 constituintes e/ou outras propriedades físicas e químicas do fluido (36) são determinadas. Essas medições também podem ser processadas para identificar e determinar propriedades físicas e/ou químicas do fluido (36). As medições espectroscópicas e as propriedades físicas e/ou químicas podem ser, de preferência, 10 realizadas em tempo real e em várias posições axiais ou "profundidades" durante uma única viagem da ferramenta (10) no furo do poço (35). Além disso, várias medições podem ser feitas em uma única profundidade durante uma única viagem da ferramenta (10) no furo do poço (35). O espectroscópio (100) 15 também pode ser instalado como parte de uma completação permanente dentro do furo do poço (28). O espectroscópio (100) pode ser instalado por qualquer meio conhecido pelos versados na técnica e não deve ser limitado aos métodos exemplificativos descritos no presente documento.

20 Em uma concretização, o espectroscópio pode ser composto por um Sistema Microoptoeletromecânico (MOEMS) que, em geral, é fabricado a partir de vários dispositivos de microespelhos. Um dispositivo MOEMS para esse fim inclui, mas sem a isto se restringir, qualquer descrição usada 25 normalmente para esses dispositivos tais como DMD, DLP ou MMA. Para fins de clareza, todos esses nomes comuns serão

referidos como um Arranjo de Microespelhos (MMA) em discussões posteriores. Além de outros benefícios, um MMA pode ser usado para oferecer calibração de sensibilidade do instrumento em tempo real, correção da corrente escura e correções de variações do sistema, incluindo ganho e variação do valor de referência. A estrutura do espectroscópio é resistente, fazendo dele adequado para uso em condições tipicamente hostis do furo de poço. Além disso, o espectroscópio pode ser adaptado para várias condições de furo de poço, além de ser de uso versátil conforme transparecerá em seções posteriores da presente revelação.

Com referência mais uma vez à FIG. 1, o fluido pode ser direcionado para a seção de amostra da ferramenta (18), através de linhas de fluxo apropriadas (não ilustrado), após passar através da seção de espectroscópio da ferramenta (16). As amostras de fluido podem ser retidas dentro de um ou mais recipientes de amostra dentro da seção de amostra da ferramenta (18) para retornarem para a superfície para análises adicionais. A superfície é geralmente a superfície da formação de terra (42) ou a superfície de qualquer água revestindo a formação de terra (42), como vem a ser o caso quando o furo de poço é gerado no solo do oceano ou em outra estrutura semelhante.

O fluido pode ser extraído para a seção de sonda da ferramenta (12), bombeado através das seções auxiliar (14) e de espectroscópio (16) da ferramenta, respectivamente, bombeado opcionalmente para dentro dos recipientes de amostra dentro da

seção de amostra da ferramenta (18) e expurgado para o furo do poço (28) por uma ou mais seções de bomba (20) dispostas na ferramenta (10). A energia para todas as seções já discutidas da ferramenta (10), para o funcionamento da ferramenta e dos vários elementos dentro da ferramenta e para a transferência de dados e comandos para dentro e fora da ferramenta pode ser fornecida e controlada por meio da seção eletrônica e telemétrica da ferramenta (22). Um processador dentro da seção de espectroscópio da ferramenta (16) é, de preferência, usado para processar dados medidos pela seção de espectroscópio da ferramenta (16) e para controlar o funcionamento do espectroscópio dentro da seção de espectroscópio da ferramenta, conforme será discutido posteriormente. As trajetórias do fluxo de fluido descritas são exemplificativas e não devem ser interpretadas de modo a limitar os métodos pelos quais a ferramenta (10) pode ser implementada, uma vez que as seções podem ser usadas em ordens alternativas e o fluxo de fluido não precisa ser linear.

Mais uma vez com referência à FIG. 1, a extremidade superior da ferramenta (10) pode ser terminada por um conector (24). A ferramenta (10) pode ser conectada operacionalmente a um transportador (30) disposto na superfície por meio de um tubo, cabo (26) ou de outra estrutura semelhante projetada para interconexão. Mais especificamente, a extremidade inferior ou "do furo do poço" do cabo (26) é conectada operacionalmente à ferramenta (10) por meio do conector (24). A

extremidade superior ou "da superfície" do cabo (26) é operacionalmente conectada ao meio transportador (30). Em uma concretização, o cabo (26) pode funcionar como um canal de dados entre a ferramenta (10) e o equipamento disposto na superfície.

Em uma concretização, a ferramenta (10) é um elemento de ferramenta de perfilagem de um sistema testador de formação a cabo elétrico e o cabo (26) é um cabo elétrico de perfilagem multicondutor e o meio transportador (30) é um conjunto de perfuração a cabo elétrico compreendendo um guincho. Em outra concretização, a ferramenta (10) é um componente de um sistema de medição durante a perfuração ou de perfilagem durante a perfuração, o cabo (26) é uma coluna de perfuração e o transportador (30) é uma sonda de perfuração rotativa. Em ainda outra concretização, a ferramenta (10) é um elemento de um sistema de perfilagem de tubulação flexível contínua, o cabo (26) é uma tubulação flexível contínua e o transportador (30) é um injetor de tubulação flexível contínua. Em ainda outra concretização, a ferramenta (10) é um elemento de um sistema testador de coluna de perfuração, o cabo (26) é mais uma vez uma coluna de perfuração e o transportador (30) é mais uma vez uma sonda de perfuração rotativa. Outras concretizações da ferramenta (10), do cabo (26) e do transportador (30) serão facilmente assimiladas pelos versados na técnica.

Com referência novamente à FIG. 1, o equipamento de superfície (32) pode ser conectado operacionalmente à ferramenta (10) por meio do transportador (30) e da estrutura (26). O equipamento de superfície (32) pode compreender um elemento telemétrico de superfície, o qual se comunica com a unidade telemétrica de fundo de poço dentro da seção eletrônica e telemétrica da ferramenta (22). O cabo (26) funciona como um canal de dados entre os elementos telemétricos da superfície e de fundo de poço. A unidade de superfície (32) também pode compreender um processador de superfície que realiza, opcionalmente, o processamento adicional dos dados medidos na seção de espectroscópio da ferramenta (16).

Em outra concretização, o processador de superfície também pode cooperar com um dispositivo de medição de profundidade (não ilustrado) para acompanhar dados medidos pela ferramenta (10) em função da profundidade (40) dentro do furo do poço no qual eles são medidos, ou o equipamento da superfície (32) pode compreender meios de registro para registrar os "perfis" de um ou mais parâmetros de interesse em função do tempo e/ou da profundidade. O equipamento de superfície (32) pode compreender qualquer dado ou máquina, circuito, computador ou outro dispositivo com base mecânica para realizar qualquer função desejada.

Embora, em certos momentos, esta revelação também faça referência aos dispositivos dentro da seção de espectroscópio (16) da ferramenta (10) como "espectroscópios", é

necessário reconhecer que esse termo não é usado com o intuito de nos referirmos a um tipo específico de dispositivo de avaliação espectral, mas com a intenção de nos referirmos, em geral, a uma classe de dispositivos usados em associação à revisão, avaliação ou análise de espectros. Não é necessário que todos os dispositivos de análise e avaliação espectrais usados em um espectroscópio sejam usados neste dispositivo. O dispositivo pode ser usado em qualquer monitoração por processo espectroscópico, seja em tempo real ou de outro tipo, incluindo, mas sem a isto se restringir, monitoração óptica, espectrofotometria, espectrofluorometria, análise espectral, espectrocolorimetria e espectroradiometria.

Em geral, o espectroscópio (100) inclui componentes ópticos para modular, manipular ou encaminhar a luz incidente a alvos de interesse, dispersar espectralmente a luz entrante, formar a imagem da luz dispersa sobre um dispositivo de filtragem espacial, espectral ou temporal, direcionar a luz filtrada sobre, para ou ao redor (contornando) uma amostra e, então, direcionar a luz para algum tipo de detector óptico. O espectroscópio (100) da presente revelação é munido de vários detectores, cada um deles associado ao seu próprio canal óptico ou trajetória luminosa. Nas concretizações ilustradas, são ilustrados dois canais, uma vez que essa é a quantidade geralmente preferida; porém, em concretizações alternativas, a quantidade pode ser aumentada.

Além de determinar as propriedades físicas e/ou químicas do fluido, o espectroscópio (100) concretizado na ferramenta (10) pode ser capaz de corrigir em tempo real a corrente escura e de referenciar qualquer fonte de iluminação antes ou depois da varredura. A corrente escura também é conhecida como ruído escuro ou por outros nomes comuns.

O espectroscópio (100) pode ser controlado por um processador disposto, de preferência, dentro da seção de espectroscópio da ferramenta (16). Em uma concretização, os comandos podem ser programados com antecedência no processador. Como alternativa, os comandos podem ser enviados a partir do equipamento da superfície (32) em tempo real tal como por meio do sistema telemétrico supramencionado. O processador controla a operação do espectroscópio (100) e, em uma concretização, pode ser usado no processamento de resultados obtidos pela resposta do espectroscópio (100) ao fluido.

As concretizações do espectroscópio (100) que podem ser usadas na ferramenta (10) são descritas também no pedido de patente U.S. de No. de Série 11/696,005, cuja revelação encontra-se incorporada na íntegra ao presente documento a título de referência.

Com referência às FIGS. 2 a 4, que ilustram várias concretizações do espectroscópio (100) que podem ser usadas em diferentes concretizações da ferramenta (10), a luz geralmente é distribuída ao espectroscópio (100) por meio de fibra óptica ou de distribuição por espaço livre a partir de uma

fonte luminosa (102). Em geral, costuma-se preferir o método de distribuição por fibra óptica. Em geral, a fonte luminosa (102) pode ser operada em condições de furo de poço (28) tipicamente hostis e é localizada dentro da seção de espectroscópio da ferramenta (16); no entanto, isto não é de forma alguma necessário. A fonte luminosa (102) pode ser fornecida por uma única fonte tal como, mas sem a isto se restringir, filamento de tungstênio, haleto metálico, luz incandescente ou qualquer fonte conhecida ou a ser descoberta. A luz também pode ser obtida por meio de qualquer combinação de fontes incluindo, mas sem a isto se restringir, diodos emissores de luz (LED's), *lasers*, fontes de arco e semelhantes.

Ademais, embora as concretizações do espectroscópio (100) discutidas neste documento sejam capazes de manipular todos os comprimentos de onda de uma radiação eletromagnética, o restante da discussão se focará nas faixas de comprimento de onda das regiões de infravermelho médio e próximo, visíveis e ultravioleta, de acordo com o espectro eletromagnético sendo usado. Além disso, faremos referência à radiação usando o termo "luz", embora tenhamos a intenção de incluir ao espectro comprimentos de onda fora dos limites luminosos visíveis em pelo menos algumas concretizações.

A fonte luminosa (102) normalmente compreende uma fonte luminosa de banda larga que emite uma série de diferentes comprimentos de onda luminosos ao mesmo tempo, tais como, mas sem a isto se restringir, a radiação solar

natural, um filamento de tungstênio ou qualquer combinação de fontes de banda estreita. Em uma concretização alternativa, a fonte luminosa (102) pode compreender uma única banda estreita ou única fonte de comprimentos de onda tal como, mas sem a isto se restringir, diodos emissores luminosos ou *lasers*; um gás carregado eletricamente, tal como o neônio, que emite uma banda estreita ou uma série de bandas estreitas, ou qualquer outra fonte luminosa conhecida pelos versados na técnica. A luz pode ser emitida ao dispositivo espectroscópico (100) discutido no presente documento por qualquer método conhecido pelos versados na técnica, inclusive, mas sem a isto se restringir, sendo refletida, refratada, focalizada ou difundida antes de atingir o espectroscópio (100).

Nas FIGS. 2A, 2B e 2C, os dois detectores (201) e (203), que fazem parte do espectrômetro, são acessados por meio de um dos dois canais ópticos (211) e (213). Um canal óptico (213) é capaz de direcionar a luz a um acessório de amostragem (204), tal como, mas sem a isto se restringir, uma sonda de fibra óptica, um conjunto de cubeta ou outro dispositivo, conforme entendido pelos versados na técnica. O segundo canal óptico (211) costuma ser usado como um canal óptico de referência para calibração e, portanto, não inclui um acessório de amostragem (204). No entanto, em concretizações alternativas, o segundo canal óptico (211) poderia ser utilizado como um canal de dados secundário em algumas aplicações, tal como a espectroradiometria ou a espectrofluorimetria, para aperfeiçoar a

relação Sinal-Ruído (S/N) e/ou para aprimorar as taxas de amostragem de dados, caso este em que um acessório de amostragem pode ser fornecido. Nesta concretização, uma trajetória luminosa é, portanto, usada para interrogar a amostra, ao passo que a outra é direcionada para contornar (sem interrogar) a amostra.

No decorrer desta revelação, tais canais (211) e (213), ou trajetórias luminosas, podem ser referidos como "canais de amostra" ou "canais de referência". Isso serve para nos referirmos ao fato de que o canal de amostra (213) é geralmente usado quando a radiação eletromagnética é direcionada através de uma amostra enquanto, no canal de referência (211), a luz geralmente não é direcionada através dessa amostra, mas é usada como referência. No entanto, os versados na técnica reconhecerão que os canais podem ter seus papéis invertidos dependendo da concretização e nenhum ou ambos os canais podem incluir amostras dependendo da operação desejada. Por exemplo, o canal de referência (211) pode incluir uma célula de correlação de gás em uma concretização.

A FIG. 2A é um diagrama de blocos ilustrando o esquema conceitual de uma concretização do espectroscópio (100) da presente invenção que, em uma concretização, é disposto dentro da seção de espectroscópio da ferramenta (16) de uma concretização da ferramenta (10). Em geral, o dispositivo da FIG. 2A compreende uma carcaça (101) dentro da qual os outros componentes são colocados para serem protegidos da luz

ambiente. A carcaça (101) inclui uma abertura de entrada (103), tal como uma fenda, a qual servirá para proporcionar a luz incidente que será usada no espectroscópio. O uso de uma fenda resultará na luz contendo, geralmente, um espalhamento espectral com a altura dependendo da altura da fenda. Como alternativa, a fonte luminosa (102) pode ser disposta na carcaça (101), caso este em que ela teria uma trajetória predefinida formada na carcaça (101) para formar uma entrada de luz do tamanho e formato desejados. Em geral, a fonte luminosa incidente (102) fornecerá luz (130) com uma série de comprimentos de onda diferentes (luz de banda larga). A luz incidente que passa através da fenda (103) é direcionada para uma rede (105), prisma ou outra superfície capaz de separar a luz em seu espectro, o qual é usado para dispersar espacialmente a luz em função do comprimento de onda.

Essa luz é então projetada para um elemento óptico adaptativo, que é um tipo de dispositivo que pode alterar sua superfície ou que possui outra propriedade óptica para alterar a direção em que a luz incidente sobre ele é direcionada. Em uma concretização, ele compreende um conjunto de espelhos que podem ser movidos separadamente. Na concretização preferida, ele é um dispositivo microopticoeletromecânico (MOEM) compreendendo um Arranjo de Microespelhos (MMA) (107). Em uma concretização, o MMA (107) compreende um Dispositivo Digital de Microespelhos (DMD), tal como os produzidos pela Texas Instruments. O MMA (107) costuma compreender uma

grande quantidade de espelhos de tamanho muito pequeno, os quais são organizados em um padrão reconhecido. Na maioria das concretizações, tal padrão será o de uma grade. Os espelhos no MMA (107) geralmente podem ser posicionados de forma independente por meio de um sistema de controle (não ilustrado) em pelo menos duas posições diferentes. Os espelhos do MMA também podem ser movidos entre as referidas pelo menos duas posições quando tal movimento é solicitado pelo sistema de controle. Na concretização ilustrada, em que o MMA é um DMD, as duas posições são normalmente de  $+10^\circ$  e  $-10^\circ$  a partir de uma posição horizontal predeterminada (posição de  $0^\circ$ ).

Alguns detalhes do MMA serão discutidos em uma seção posterior da presente revelação e são ilustrados nas FIGS. 8A e 8B. Em prol da simplicidade, as FIGS. 2A, 2B e 2C ilustram o rastro de um único raio incidente em um espelho único (120) do MMA (107).

É possível utilizar meios alternativos para formar a luz dispersa (106). Por exemplo, a rede (105) pode ser substituída por um prisma para redirecionar e dispersar a luz da fonte de luz (103) sobre o dispositivo MMA (107). Outra fonte de luz dispersa alternativa (não ilustrado) pode compreender um arranjo de fontes de feixe de luz estreito, tal como, mas sem a isto se restringir, diodos emissores de luz ou *lasers*. Cada elemento do arranjo é focalizado sobre o dispositivo MMA (107).

Com referência mais uma vez às FIGS. 2A, 2B e 2C, um espelho único (120) do MMA (107) é exibido a fim de

ilustrar os conceitos operacionais básicos do espectroscópio (100). O espelho único (120) é orientado dentro do MMA (107) em pelo menos duas posições distintas de modo que algum ou todos os vários comprimentos de onda de luz (106) incidentes sobre o espelho único (120) sejam orientados para dois canais diferentes, os quais são definidos como canal de "amostra" e canal de "referência".

Com referência a ambas as FIGS. 2A e 2B, o espelho único (120) é orientado em um ângulo  $\theta_1$ , onde  $\theta_1$  é definido como o ângulo entre o normal (142) do MMA (107) e o normal (144) do espelho único (120). Isso orienta o espectroscópio (100) no canal de "amostra", em que a luz é refletida a partir do espelho único (120) para um espelho (109), conforme ilustrado de forma conceitual pela trajetória do raio (213).

Conforme ilustram as FIGS. 2B e 2C, os espelhos costumam ser organizados de maneira independente em dois estados diferentes com posições angulares diferentes. Em geral, essas duas posições diferentes podem ser angularmente simétricas ao redor de uma localização central simplesmente para obter estabilidade posicional. Por exemplo, se o ponto central foi classificado como um estado de  $0^\circ$ , as duas posições podem ficar em um estado de  $+X$  e  $-X^\circ$  a partir da posição  $0^\circ$ . De preferência, o ponto central também é escolhido para corresponder à posição onde o espelho individual sobre o MMA está disposto, geralmente em paralelo ao substrato do MMA.

O espelho (109) reflete a luz, conforme indicado de forma conceitual pela trajetória do raio (215), para fora da carcaça do espectroscópio (101) e para dentro do guia de luz (138), tal como um cabo de fibra óptica. O guia de luz (138) inclui um acessório de amostra (204) que fica em contato com um fluido (180) a ser analisado. A resposta óptica do fluido conforme medida pelo acessório de amostragem (204) é retornada por meio de um guia de luz (138) ao espectroscópio (100) e para dentro de um detector de amostra (203), conforme indicado de forma conceitual pela trajetória do raio (152). A resposta espectroscópica do detector de amostra (203) para os constituintes do fluido (180) será discutida em uma seção posterior da presente revelação. Deve-se reconhecer que as trajetórias do raio (215) e (152) são meras continuções da trajetória do raio (213), mas são indicados por números de referência distintos para fins de maior clareza.

O acessório de amostragem (204) pode ser, mas sem a isto se restringir, um acessório de imersão, um acessório de refletância, um acessório de transmitância, um acessório de fluorescência, um acessório de Refletância Total Atenuada (ATR), uma célula de fluxo extrativo ou qualquer outro dispositivo de amostragem ou monitoração conhecido pelos versados na técnica.

O espectroscópio pode usar Varredura por Rastreo Convencional (CRS), Transformada de Hadamard (HT),

Transformada de Fourier (FT) ou qualquer outro método de codificação conhecido pelos versados na técnica.

Com referência agora a ambas as FIGS. 2A e 2C, o espelho único (120) é orientado em um ângulo  $\theta_2$ , onde  $\theta_2$  é definido como o ângulo entre o normal (142) do MMA (107) e o normal (144) do espelho único (120). Isso orienta o espectroscópio (100) no canal de "referência", em que a luz é refletida a partir do espelho único (120) para um detector de referência (201), conforme indicado de forma conceitual pela trajetória do raio (211). O canal de referência permite que a resposta do canal de amostra seja corrigida em tempo real para variação e outras mudanças sistemáticas, conforme será discutido posteriormente.

Com referência às FIGS. 2A, 2B e 2C, o espelho único (120) pode ser orientado de modo que o normal (142) do MMA (107) coincida com o normal (144) dos espelhos individuais do MMA. Isso orienta o espectroscópio (100) de modo que a luz seja direcionada para dentro de uma armadilha óptica (111), conforme indicado de forma conceitual pela trajetória de raio (137). Faremos referência a essa orientação como estado de "zero grau" e ela poderia ser usada como um método para corrigir os canais de amostra e de referência para a corrente escura. Outros métodos de medição da corrente escura são percebidos com facilidade ao direcionar os espelhos do MMA para longe dos canais de amostra e de referência enquanto eles estão sendo medidos.

Usando a nomenclatura acima para definir a orientação do MMA (107) (vide FIGS. 2B e 2C),  $\theta_1$  para o canal de amostra é de preferência em torno de  $+10^\circ$ ,  $\theta_2$  para o canal de referência é de preferência em torno de  $-10^\circ$ , e o ângulo de estado de zero grau é  $\theta=0^\circ$ . Observe que o uso de  $+10$  e  $-10$  graus é para fins ilustrativos apenas e que os ângulos reais dependerão do dispositivo usado e embora tal ângulo possa ser usado em uma concretização, geralmente há estados de  $+X^\circ$  e  $-X^\circ$ . Embora a concretização ilustrada utilize espelhos que têm três estados distintos ( $+X^\circ$ ,  $0$ ,  $-X^\circ$ ), concretizações alternativas podem utilizar um MMA com várias posições de espelho, tal como um MMA movido analogicamente ou um MMA com duas posições distintas (tais como as ilustradas nas FIGS. 2B e 2C) sem estado de  $0^\circ$ . O espectroscópio pode usar a posição dos espelhos, tanto individualmente quanto em qualquer combinação, para obter as medições da amostra, de referência e da corrente escura.

As FIGS. 9A, 9B e 9C ilustram vários diagramas de blocos gerais de concretizações do espectroscópio ilustrado no diagrama conceitual da FIG. 2A. Para maior clareza, não foram ilustrados os elementos ópticos (205) usados para formar, nos canais individuais, a imagem da luz processada de forma espectral (isto é, após passar pelo MMA (107)). Essas figuras foram proporcionadas para ilustrar uma possibilidade de como se pode realizar uma trajetória óptica real usando o MMA (107) e dois canais de amostra. A FIG. 10 ilustra um esquema conceitual do espectroscópio que inclui duas entradas luminosas

e, principalmente, quatro trajetórias luminosas graças à disposição de dois espectroscópios (100) na mesma carcaça (101) e ao uso do mesmo MMA (107).

A luz incidente no MMA (107) será  
5 encaminhada a partir da fenda (103) e da rede (105) e, possivelmente, pode ser adicionalmente manipulada para melhorar, entre outras coisas, seu formato, sua dispersão ou sua intensidade. As FIGS. 5 a 7 ilustram uma série de concretizações do espectroscópio ilustrando a manipulação da trajetória luminosa  
10 antes de chegar ao MMA (107). As várias concretizações podem incluir redes de difração côncavas (901), redes de difração convexas (903), espelhos côncavos (905) ou lentes (907) para manipular o espectro luminoso antes de ele ser incidido no MMA (107). Nas concretizações das FIGS. 5 a 7, também é incluída  
15 uma série de outros objetos para manipular a luz antes de ela chegar ao MMA, incluindo espelhos retransmissores (961), lentes (907) e uma lente telecêntrica (951), os quais são adicionados para tornar todas as luzes incidentes no MMA (107) normais (perpendiculares) à superfície do MMA (107). A inclusão de um  
20 filtro (953) também é possível. Nesta configuração, o espectrômetro (100) pode ser usado para reagrupar a luz no canal de referência (211) ou no canal de amostra (213). O esquema da FIG. 7 refere-se a um espectrômetro (100) atérmico que pode ser usado para aumentar a resolução e a precisão de leituras  
25 resultantes em uma grande faixa de temperaturas.

A FIG. 3 é uma ilustração conceitual de outra concretização do espectroscópio. Muitos dos elementos e das trajetórias de raio de luz relacionadas são os mesmos ilustrados na FIG. 2A e, por motivos de brevidade, não serão definidos outra vez. Há, no entanto, novos elementos importantes na concretização. O canal de referência compreende um segundo espelho (109B) além do espelho no canal de amostra, o que é indicado agora como (109A). A configuração e a operação do canal de amostra são essencialmente as mesmas do canal de amostra ilustrado na concretização da FIG. 2A quando o espelho único (120) do MMA (107) é orientado no ângulo  $\theta_1$ . A luz passa pelo espelho único (120) do MMA (107) e é refletida pelo espelho (109A), conforme ilustrado de forma conceitual pelas trajetórias de raio (213) e (215). A luz então sai da carcaça do espectrômetro (101) e passa por um canal de luz (138), tal como um cabo de fibra óptica. A trajetória (215) passa por um acessório de amostra (204) que fica em contato com uma amostra (180) a ser analisada. A resposta óptica do acessório de amostra (204) é retornada por meio de um canal óptico (138) ao espectroscópio (100) e para um detector de amostra (203), conforme indicado de forma conceitual pela trajetória de raio (152).

Com referência mais uma vez à FIG. 3, quando o espelho único (120) do MMA (107) é orientado no ângulo  $\theta_2$ , a luz é refletida do espelho único (120) para o espelho (109B), conforme ilustrado de forma conceitual pela trajetória do raio (211). Então, o espelho (109B) reflete a luz, conforme indicado de

forma conceitual pela trajetória do raio (215), para fora da carcaça do espectroscópio (101) e para o canal de luz (138B), tal como um cabo de fibra óptica. A trajetória luminosa (215B) passa por um acessório de referência (304) que fica em contato com uma amostra de referência a ser analisada. A resposta óptica do acessório de referência (304) é retornada por meio de um canal óptico (138B) ao espectroscópio (100) e para um detector de referência (201), conforme indicado de forma conceitual pela trajetória luminosa (152).

10           Como já mencionado, a luz no canal de referência é direcionada através do acessório de referência (304) por meio dos canais de luz (138B). O acessório de referência (304) pode compreender uma célula de correlação de gás convencional de hólmio e/ou qualquer outra calibração, material de referência ou padrão conhecido pelos versados na técnica.

Ainda com referência à FIG. 3, o MMA (107) opera de modo alternado nos canais padrão e de amostra. As respostas espectroscópicas correspondentes são medidas no fluido (180), pelo acessório de amostra (204), e no acessório de referência (304). Uma vez que, por definição, a resposta espectroscópica do acessório de referência é um "padrão de referência", a resposta espectroscópica do fluido pode ser comparada continuamente à resposta espectroscópica do acessório de referência, e qualquer variação sistemática dentro do espectroscópio (100) pode ser medida e usada para corrigir essas

variações da resposta do fluido, que incluem ganho e variação do valor de referência.

A FIG. 4 refere-se à outra concretização conceitual do espectroscópio (100). Muitos dos elementos e das trajetórias luminosas relacionadas são semelhantes aos ilustrados nas concretizações anteriores e, por motivos de brevidade, não serão definidos novamente. No entanto, também há nessa concretização novos elementos importantes. O canal de referência compreende uma primeira trajetória luminosa (252) direcionada por um divisor (270) sobre a fonte luminosa (102) e a fenda (103). A segunda trajetória luminosa (253) proveniente do divisor (270) é enviada ao acessório de amostragem (204). A luz de retorno (256) proveniente do acessório de amostra (204) é direcionada para uma grade (105) que é usada para dispersar a luz em função do comprimento de onda. Essa luz dispersa, representada de forma conceitual pela trajetória luminosa (257), é projetada sobre o dispositivo MMA (107). O espelho único (120) é novamente ilustrado para fins ilustrativos. O dispositivo MMA (107) é usado para filtrar a luz com base no comprimento de onda. Essa luz filtrada é, a seguir, direcionada pelo dispositivo MMA (107) ao longo da trajetória (262) para um primeiro detector de amostra S1 ilustrado em (203A) ou ao longo da trajetória (260) para um segundo detector de amostra S2 ilustrado em (203B). É possível realizar uma medição de corrente escura para o primeiro detector de amostra (203A) projetando todas as luzes para longe desse detector e no ângulo  $\theta_B$  para o detector de amostra (203B) ao

longo da trajetória luminosa (260). O contrário também é possível, realizar uma medição de corrente escura para o segundo detector de amostra (203B) projetando todas as luzes para longe desse detector e no ângulo  $\theta_A$  para o detector de amostra (203A) ao longo da trajetória luminosa (262). As medições de ambos os detectores de amostra S1 (203A) e S2 (203B) podem ser usadas para informações adicionais de calibração a fim de reduzir o tempo de aquisição ou de minimizar os efeitos de ruído e/ou variação.

Em geral, a luz incidente no MMA (107) tem a forma de um espalhamento espectral. Ou seja, os comprimentos de onda componentes da luz serão espacialmente separados uns dos outros ao serem desviados por diferentes ângulos de uma vez antes de serem incididos no MMA (107). Por via de regra, essa luz terá um espectro abrangendo desde a luz com o maior comprimento de onda (vermelho e infravermelho) até a luz com o menor comprimento de onda (violeta e ultravioleta). O espectro de luz (801) é ilustrado como o retângulo de contorno escuro (801) nas FIGS. 11A e 11B com uma extremidade representando a luz com o menor comprimento de onda e a outra extremidade a luz com o maior comprimento de onda. Deve-se observar que os pontos diretamente verticais uns aos outros nas FIGS. 11A e 11B têm o mesmo comprimento de onda. Portanto, as “linhas” no espectro correspondem à dimensão espacial da fenda de entrada, ao passo que as “colunas” no espectro correspondem à dimensão espectral da dispersão.

O MMA (107) é posicionado na carcaça (101) de modo que alguns ou todos os vários comprimentos de luz incidentes no MMA (107) sejam direcionadas para os dois canais distintos (211) e (213) ou (260) e (262) dependendo da concretização. Para maior clareza, nesta discussão, faremos referência aos canais (211) e (213), embora os canais (260) e (262) possam ser usados em seu lugar, dependendo da concretização. Cada canal é associado a um detector (201) ou (203) com base no posicionamento dos vários espelhos do MMA (107). O encaminhamento da luz depende da posição específica do espelho do MMA (107) em relação à radiação incidente. Ou seja, os comprimentos de onda são “espectralmente” filtrados pelo MMA (107) entre os canais luminosos (211) e (213). Com o intuito de direcionar comprimentos de onda específicos da luz incidente dentro do canal apropriado (211) ou (213), dispositivos, tais como espelhos (961), podem ser colocados nas várias trajetórias para direcionar os comprimentos de onda incidentes sobre eles conforme apropriado para aquele canal (211) ou (213).

Vale a pena observar que o MMA (107) não atua como um divisor óptico ou outro dispositivo que envia parte da intensidade para cada trajetória. Em vez disso, o MMA (107) envia uma parte do espectro para uma trajetória sem incluir a outra. Por exemplo, o MMA (107) pode enviar a parte vermelha, laranja, amarela ou verde do espectro visível para uma trajetória e a parte azul, anil e violeta do mesmo espectro para a outra trajetória. Isso significa que se a primeira trajetória for o canal de

referência (213) o detector (203) não receberá nenhuma incidência azul, anil ou violeta sobre ele naquele momento.

Como alternativa ou em aditamento, uma série de filtros de ordenação, espelhos dobradiços e/ou lentes de colimação ou lentes de focalização (205) pode ser usada para coletar e formar imagens policromáticas ou monocromáticas da luz do MMA (207) sobre os detectores apropriados (201) ou (203) para processamento espectral. Deve-se observar que a concretização da FIG. 7 permite que os espelhos e outros componentes sejam usados para uma série de finalidades diferentes dependendo de se a luz incide sobre ou é refletida pelo MMA (107). Em outra concretização, o espectro incidente sobre o MMA (107) pode ser estruturado temporalmente ou filtrado espacialmente além de ou no lugar da filtragem espectral discutida.

Os detectores (201) e (203) podem medir qualquer forma ou espectro de luz e, em uma concretização, os detectores (201) e (203) utilizam dois fotodiodos de elemento único (PDs) como detectores. Em uma configuração alternativa, os detectores (201) e (203) podem usar dois dispositivos de carga emparelhada (CCDs) bidimensional (2D) ou arranjos de fotodiodo (PDAs). Em ainda outras concretizações, os detectores (201) e (203) compreendem, mas sem a isto se restringirem, Tubos Fotomultiplicadores (PMTs), Fotodiodos de Avalanche (APDs), detectores CMOS, Bolômetros, qualquer outro detector conhecido

pelos versados na técnica ou qualquer combinação desses detectores.

Nas várias concretizações discutidas no presente documento, o espectroscópio (101) é, de preferência, ligado a um  
5 acessório de amostragem (204) que permite que um canal de luz interaja com uma amostra de teste e, então, retorne a radiação de saída ao detector de amostra (203) e, por conseguinte, ao sistema de controle. O acessório de amostragem (204) pode ser, mas sem  
10 a isto se restringir, um acessório baseado em fibras ópticas, uma sonda de imersão de transmissão, uma sonda de refletância, uma sonda de fluorescência, uma célula de fluxo extrativo, outros dispositivos de amostragem conhecidos pelos versados na técnica ou qualquer combinação de dispositivos de amostragem.

As FIGS. 8A e 8B ilustram um desenho  
15 conceitual de um possível modo de amostragem do espectroscópio (100) da FIG. 2A. Nas FIGS. 8A e 8B, o MMA (107) é usado como um filtro espectral, com a amostragem ocorrendo usando uma ou mais bandas estreitas de radiação por vez. A FIG. 8A ilustra uma filtragem espectral em que uma única  
20 banda estreita de radiação (ou mesmo único comprimento de onda) é usada para investigar a amostra. A banda selecionada é a banda estreita (311). Na FIG. 8A, essa banda (311) percorre o canal de referência (211) e, como consequência, incide sobre o detector de referência (201), ao passo que as bandas restantes  
25 (313) percorrem o canal de amostra (213) e são retratadas no detector de amostra (203). Sendo assim, nesse caso, a banda (311)

não incide na amostra, mas contorna a amostra. Uma vez que se deseja que essa banda (311) passe por interrogação de amostra, nesse caso, o sinal gerado pela banda (311) no detector de referência (201), como consequência, representa um sinal de “não-amostra” que pode ser usado como referência. Nesse esquema, a saída do detector de amostra (203) está sendo gerada a partir de uma parte do espectro que pode ou pode não ser de interesse. Em particular, a intensidade, a dispersão, os comprimentos de onda, a largura de banda ou qualquer outra característica da banda (311) pode ser detectada pelo detector (201). Ou seja, é possível estabelecer uma determinação de base ou de referência da banda (311).

Na FIG. 8B, a banda (311) é agora direcionada ao canal de amostra (213) para o detector de amostra (203) com as bandas restantes (313) direcionadas ao canal de referência (211) para o detector de referência (201). Agora, a saída do detector de amostra (203) é de interesse, uma vez que a amostra está sendo interrogada pelo espectro desejado. A transmissão ou absorvência percentuais ou outros valores mensuráveis podem ser calculados com base nas medições tanto do canal de amostra quanto do de referência ao comparar a saída dos detectores (201) e (203). Como é evidente, uma vez que a troca entre os dois canais com o espectro de interesse pode ocorrer de maneira relativamente rápida e repetida, a saída do detector de referência (201) pode ser usada para normalizar a saída do detector de amostra (203) para oferecer uma leitura escalonada. De modo a

atingir a referência mais precisa possível, os dois detectores (201) e (203) serão, em geral, semelhantes, de modo que a saída da luz interagindo com a amostra e não interagindo com a amostra seja incidente em detectores semelhantes.

5                    Como pode ser observado por meio das FIGS. 8A e 8B, a troca da banda (311) do detector de referência (201) para o detector de amostra (203) (e o movimento correspondente de bandas (313)) é consumada pelo ajuste da posição dos espelhos individuais no MMA (107). Em específico, com referência à FIG. 10 11A e 11B o espectro incidente sobre o MMA (107) é espalhado através dos espelhos do MMA (107) de modo que diferentes comprimentos de onda sejam incididos em diferentes partes do MMA (107) em geral com um comprimento de onda específico ou com uma banda de comprimento de onda pequeno sendo 15 incidida em cada espelho no arranjo conforme ilustrado. Cada componente de espelho individual do MMA (107) pode ser ajustado de maneira independente entre pelo menos duas posições diferentes, conforme já revelado. Isso permite que cada uma das bandas (311) e (313) na FIG. 8A e 8B seja enviada de maneira 20 independente ou para o detector de referência (201) ou para o de amostra (203) pela simples seleção de uma disposição dos espelhos.

                    A luz incidente é, de preferência, direcionada ao MMA (107) de modo que a mudança em cada espelho, ou mais 25 mudanças específicas em uma fila, coluna ou diagonal de espelhos, possa direcionar um comprimento de onda específico ou

uma banda estreita de comprimentos de onda a uma trajetória específica. Para tanto, dois métodos diferentes são ilustrados na FIG. 11. Na FIG. 11A, o espectro (801) incide sobre a grade do MMA (107) de modo a alinhar, em geral, cada frequência de luz a uma coluna (ou fila) de espelhos. Como referência, neste caso, a 5 coluna (811) é geralmente alinhada com uma banda pequena de comprimentos de onda (821) na área média, ao passo que a coluna (813) é geralmente alinhada com uma banda pequena de comprimentos de onda (823) limítrofes à banda (821). Outras 10 bandas podem ser alinhadas com outras colunas de maneira semelhante. Se a banda de comprimentos de onda (821) na coluna (811) for desejada para medição, os espelhos naquela coluna (811) serão compensados pelos outros espelhos no MMA (107) em sua posição. De forma específica, em geral, a coluna (811) 15 estará na posição +X (correspondendo, por exemplo, ao canal luminoso (211)) quando as colunas restantes (incluindo a coluna (813)) estiverem, em geral, na posição -X (correspondendo, por exemplo, ao canal luminoso (213)) e vice-versa.

Como pode ser observado, uma única coluna 20 não precisa ser segregada e qualquer coluna única ou combinação de colunas, até, e incluindo, todas as colunas, pode ser incluída na segregação. Cada uma das colunas separadas pode então ser usada para interrogar a amostra e ser referenciada enquanto os espelhos do MMA (107) trocam de posição. Como deve ser observado, as 25 colunas não-selecionadas podem ser, em aditamento ou como

alternativa, usadas para interrogar a amostra enquanto os dois grupos circulam entre os dois canais (211) e (213).

A FIG. 11B ilustra um esquema alternativo. Na FIG. 11B, a banda espectral (821) é disposta em uma diagonal (815) com o MMA (107). Isso proporciona praticamente a mesma funcionalidade da FIG. 11A, mas, devido à orientação de cada espelho em relação ao espectro (com parte de cada banda sobrepondo as bandas adjacentes) uma forma adicional de suavização óptica pode ser atingida ao separar as várias diagonais em vez de colunas.

A capacidade do MMA (107) em oferecer qualquer número de bandas de comprimento de onda, conforme selecionado, sendo usadas para a avaliação pode permitir que o espectroscópio (100) realize um grande número de ajustes dinâmicos no sinal resultante recebido da amostra. Já que as bandas de comprimento de onda (821) podem ser separadas individualmente e, portanto, influenciadas, o usuário pode selecionar a natureza de sua interrogação da amostra de um modo dependente do comprimento de onda.

Por exemplo, a FIG. 12 ilustra um gráfico hipotético ilustrando o MMA (107) sendo usado para permitir o controle dinâmico de resolução. A linha (1101) é uma curva muito lisa e pode ser gerada selecionando-se um grande número de colunas (811) para interrogar ao mesmo tempo. Por outro lado, a linha (1103) pode ser gerada usando cada coluna individual para interrogar separadamente. Nesse último caso, a determinação é

muito mais exata quanto à absorção de uma banda de comprimento de onda menor, mas a avaliação geralmente levará mais tempo. Dependendo do tipo de saída de dados desejado, é possível selecionar o modo de operação enquanto em uso.

5           A FIG. 13 ilustra outra estruturação da  
interrogação dependente do comprimento de onda desse tipo.  
Nesta hipótese, o MMA (107) é usado para aperfeiçoar  
dinamicamente a relação sinal ruído. A linha (1111) é um sinal  
ruidoso em ambas as extremidades representando a ocorrência  
10 normal com as fontes luminosas de banda larga. A linha tracejada  
(1113) ilustra como o MMA pode oferece intensidade uniforme  
ao longo de toda a extensão do comprimento de onda por meio do  
ajuste dinâmico do período de interrogação, do número de  
colunas por onde passa luz, do número de linhas na coluna ou de  
15 vários outros esquemas de controle. Na implementação mais  
comum, isso permite que o detector se integre durante um período  
de tempo maior, o que permite que os comprimentos de onda de  
extremidade proporcionem intensidade equivalente comparada à  
região de comprimento de onda central removendo, de forma  
20 eficaz, as diferenças na porcentagem de transmissão em todos os  
comprimentos de onda. Como alternativa, os versados na técnica  
reconhecerão que a relação sinal-ruído pode ser equilibrada  
controlando o ciclo de atividade dos espelhos ou simplesmente  
escalonando o tempo de integração para cada banda (821) de  
25 modo que a resposta de sinal equivalente resulte de cada banda

sendo medida. Ao fazer isso, o canal de referência também poderá ser medido de forma comparativa.

A FIG. 14 ilustra uma representação de filtragem dinâmica. Na FIG. 14A, é ilustrada uma banda luminosa de comprimento de onda específico (1131) que representa uma resposta de sinal saturado. Em determinadas aplicações, tal resposta de sinal saturado pode encobrir ou desviar os detalhes das respostas de sinal menores (1133), (1135) e (1137). Na FIG. 14 B, as seções do espectro correspondentes aos comprimentos de onda problemáticos foram cortadas, eliminando qualquer transmissão naquele comprimento de onda e permitindo que os picos menores (1133), (1135) e (1137) sejam relativamente mais proeminentes.

A FIG. 15 ilustra o ajuste do canal de amostra pelo escalonamento dinâmico ou normalização ao longo do tempo. Sabe-se que, ao longo do tempo, a operação de um espectroscópio mudará, fazendo com que o espectro medido mude devido a partes aquecendo-se ou desgastando-se. De fato, essa é a essência das fontes luminosas. Isso é indicado pela linha (1141) que ilustra como, ao longo do tempo, a transmissão de um dado comprimento de onda desviou-se. Como consequência, isso fez com que o espectroscópio perdesse sua precisão de calibração. Já que tais mudanças podem ser detectadas pelo canal de referência (211) como não ocorrentes devido à amostra, a capacidade de referência dinâmica do espectroscópio (100) pode ser usada para

corrigir a perda na calibração, permitindo que a transmissão da porcentagem real se aproxime do ideal (1143).

As FIGS. 12 a 15 ilustram uma série de diferentes benefícios advindos da capacidade de referência dinâmica graças à existência de duas trajetórias ópticas (211) e (213). Em particular, o espectroscópio (100) pode oferecer uma estruturação dependente do comprimento de onda do espectro que é usado para interrogar a amostra. Essa estruturação pode ser uma estruturação espacial, na qual os elementos específicos da luz são controlados com base no seu posicionamento espacial, ou pode ser uma estruturação temporal, na qual a luz é modulada ao longo do tempo.

Em operação, qualquer espelho disposto no estado  $+X^\circ$  pré-selecionado direcionará comprimentos de onda incidentes para o detector de amostra (203), ao passo que os espelhos no estado  $-X^\circ$  direcionarão os comprimentos de onda incidentes para o detector de referência (201) ou vice-versa, dependendo da disposição específica. Além disso, quando os espelhos estão entre os estados, a luz pode ser direcionada para uma armadilha de luz (111), conforme ilustra a FIG. 2A.

É evidente que, com uma banda geralmente de comprimento de onda único ou de comprimento de onda pequeno incidente em cada um dos espelhos no MMA (107), é possível ajustar os espelhos para fornecer essas bandas de comprimento de onda incidentes no espelho em qualquer um dos detectores (201) e (203) individualmente ou em qualquer combinação. O estado do

ponto central (ou  $0^\circ$ ) no dispositivo MMA (107) mais atual é geralmente instável e, portanto, a luz não pode ser direcionada com precisão a qualquer outra parte que não seja os dois estados neste momento. No entanto, é possível reconhecer que se uma  
5 terceira posição do espelho for estável o suficiente, o que provavelmente ocorrerá em breve graças à tecnologia atual, essa posição pode ser usada para oferecer um terceiro canal distinto. Em uma concretização preferida, esse terceiro canal é usado para a medição de sinais escuros, nos quais não há luz incidente no  
10 canal de referência (211) nem no canal de amostras (213). Conforme ilustrado na FIG. 2A, com os espelhos dispostos em um terceiro estado (tal como  $0^\circ$ ), os comprimentos de onda são direcionados a uma armadilha óptica (111), fazendo com que ambos os detectores (201) e (203) fiquem temporariamente  
15 escuros. Isso permite que ambos os detectores (201) e (203) realizem uma medição de “sinal escuro” ao mesmo tempo, economizando etapas do processo. Em aditamento, mesmo sem a terceira posição, todos os comprimentos de onda podem ser direcionados para qualquer um dos detectores (201) ou (203),  
20 removendo assim toda a radiação incidente advinda do outro detector (201) ou (203), o que também permite a medição de sinal escuro em tempo quase real no detector (201) ou (203) escuro no momento. Essa operação possibilita a calibração adicional na determinação do “ruído escuro” (a resposta térmica dos detectores  
25 (201) e (203), bem como qualquer luz incidente nos detectores (201) e (203) que não está sendo direcionada de propósito a eles

pela ação do MMA (107)), o qual pode, então, ser anulado pelo sistema de controle do espectroscópio (100).

Compreender-se-á também que as FIGS. 8A e 8B ilustram o monitoramento de uma banda única em um modo de varredura. As FIGS. 16A e 16B ilustram um par de exemplos de como as colunas espectrais (821) podem ser modificadas para realizar alguns tipos de estruturação. Na FIG. 16A, cada coluna tem sua frequência de largura de banda modulada em frequências independentes de modo a possibilitar a análise da Transformada Rápida de Fourier (FFT). Em uma abordagem alternativa ilustrada na FIG. 16B, em vez de modular cada comprimento de onda em uma frequência diferente, cada banda pode ser modulada seqüencialmente na mesma frequência para aprimorar a relação sinal-ruído por meio da divisão óptica. O espectroscópio (100) também pode ser usado para medir várias bandas ao mesmo tempo usando o MMA (107) para processar temporalmente a radiação incidente pela simples alteração da frequência em que cada banda de comprimento de onda individual é modulada. Isso, por sua vez, concede uma estrutura temporal à radiação incidente. Esse método permite que o espectroscópio (100) leia todos os comprimentos de onda ao mesmo tempo, ou de forma multiplexada, em vez de varrer individualmente cada comprimento de onda ou banda de comprimento de onda individual em qualquer um dos detectores (201) ou (203). Isso é apenas um método alternativo para o processo espectral usando o mesmo espectroscópio (100). Embora a concretização ilustrada na

FIG. 2A utilize o MMA (107) para filtragens espectrais, uma concretização alternativa pode usar o MMA (107) para filtragens espaciais, espectrais ou temporais, permitindo assim um meio alternativo de processar dados, tal como um Espectroscópio da Transformada de Hadamard ou um Espectroscópio da Transformada de Fourier, respectivamente.

O uso de um MMA para um Espectroscópio da Transformada de Hadamard e para um Espectroscópio da Transformada de Fourier foi documentado por DeVerse e col. em "Realization of the Hadamard Multiplex Advantage Using a Programmable Optical Mask in a Dispersive Flat-Field Near-Infrared Spectrometer". Applied Spectroscopy, vol. 54 No. 12, pgs. 1751-1758 (2000), cuja revelação encontra-se incorporada na íntegra ao presente documento a título de referência. No entanto, em DeVerse, as implementações eram limitadas, pois apenas um único canal óptico era utilizado. Ao operar o espectroscópio (100) como um analisador espectral da Transformada de Hadamard ou de Fourier e ao utilizar a qualidade de canal duplo do espectroscópio (100) e algoritmos conhecidos pelos versados na técnica de processamento de sinais para a desconvolução do conteúdo espectral dos canais de referência e de amostras, o espectroscópio (100) é capaz de se calibrar dinamicamente e/ou escalonar a saída usando implementações semelhantes às de DeVerse.

Além disso, deve-se reconhecer que, em geral, o espectroscópio (100) não se limita pela configuração de hardware

a qualquer técnica de análise específica, mas pode ser usado para várias técnicas espectroscópicas incluindo, mas sem a isto se restringir, as descritas em Spudich e col. "Potential for Using a Digital Micromirror Device as a Signal Multiplexer in Visible Spectroscopy." Applied Spectroscopy, vol. 57 No. 7, pgs. 733-736 (2003); Patente US No. 6.781.691; e nas Publicações de Patentes dos Estados Unidos US 2004/0239923 e US 2004/0169858. A revelação de todos esses documentos encontra-se anexada na íntegra ao presente documento a título de referênci

Em geral, como pode ser evidenciado por meio das figuras, o espectroscópio (100), utilizando o MMA (107), permite que o sistema de controle selecione qualquer banda ou bandas de comprimento de onda para amostragem e estructure bandas temporalmente sem necessitar de nenhuma reconfiguração de hardware. Em vez disso, a(s) banda(s) de comprimento de onda inerente(s) desejada(s) é(são) simplesmente selecionada(s) pelo sistema de controle com base no que está disponível na luz incidente e como a operação do MMA (107) é instruída. Após isso, a(s) banda(s) selecionada(s) sendo usada(s) para amostragem pode(m) ser comparadas com um sinal de referência com certa facilidade pelo simples redirecionamento da(s) banda(s) à trajetória de referência. A medição de uma amostra, portanto, demonstrou boa precisão e estabilidade para um espectroscópio com uma grande quantidade de espectros utilizáveis e alteráveis sem a necessidade de qualquer reconfiguração de hardware.

Em operação, o espectroscópio (100) em uso em uma ferramenta de sistema de processamento de fluido (10) pode avaliar o fluido de formação enquanto dentro de um poço de hidrocarbonetos. O óleo, a água e o gás são os principais

5 constituintes dos fluidos produzidos em poços de hidrocarboneto, embora outros materiais também possam se fazer presentes. A FIG. 17 é uma representação gráfica da densidade óptica em unidades arbitrárias (ordenada) versus o comprimento de onda  $\lambda$  em nanômetros (nm) (abscissa) para óleo, água e gás. As curves

10 (320), (322) e (326) representam o óleo, a água e o gás, respectivamente. Como pode ser observado, cada constituinte exibe pelo menos uma dispersão significativa ou "pico". Por exemplo, a água exibe dois picos elevados em aproximadamente  $1450 \pm 50$  nm e  $1940 \pm 50$  nm. O metano exibe um pico forte na

15 faixa de cerca de 1600 nm a 1650 nm. O hidrocarboneto é associado à estrutura de pico na faixa de 1650 nm a 1780 nm. Além disso, tanto o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) quanto o sulfeto de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{S}$ ) são mensuráveis na região do infravermelho próximo sob condições específicas de concentração. O petróleo

20 bruto pesado exibe uma grande seqüência contínua abaixo de aproximadamente 1100 nm considerando que as curvas de luz têm uma resposta de absorvência mensurável na região espectral visível. É evidente que o óleo, a água e o gás exibem características espectrais únicas. A medição de um espectro do

25 tipo ilustrado na FIG. 17 pode, portanto, ser usada para identificar constituintes do fluido e o dispositivo da FIG. 2A pode ser usado

para medir tal espectro ao testar os fluidos presentes no fundo do poço. Além disso, a grandeza dos componentes de um espectro de compósito medido pode ser usada para obter as concentrações dos constituintes. Ademais, o espectro medido pode ser usado para  
5 obter outras propriedades físicas ou químicas.

Em vista da discussão acima da operação do espectroscópio (100), fica evidente que o MMA (107) pode ser configurado de modo que a luz de um ou mais comprimentos de onda predeterminados entre em contato com o fluido (180). Isso  
10 torna a medição espectroscópica sensível a um ou mais constituintes do fluido. Por exemplo, se o espectroscópio (100) for configurado para emitir luz nas bandas  $\lambda=1450\pm 50$  nm e  $1940\pm 50$  nm no canal de amostra, a resposta do espectroscópio do canal de amostra será mais sensível ao constituinte água no fluido.  
15 Como outro exemplo, o espectroscópio (100) pode ser configurado de modo que o canal de amostra "varra" os comprimentos de onda sobre uma faixa predeterminada de bandas de energia. Por exemplo, o espectroscópio (100) pode ser configurado para emitir luz à amostra em bandas de energia  
20 contíguas de 10 nm de largura e variando de 1000 a 2100 nm. A resposta espectroscópica do espectroscópio (100) produzirá um espectro, com componentes representando os constituintes de óleo, gás e água, da forma ilustrada na FIG. 17. O espectro medido pode então ser usado para determinar as concentrações  
25 relativas dos constituintes do fluido usando vários métodos de

análise espectral. Ademais, o espectro medido pode ser usado para obter outras propriedades físicas ou químicas.

O processamento dos dados medidos pode ser realizado no processador de fundo de poço disposto de preferência na seção de espectroscópio (16) da ferramenta (10), no processador da superfície disposto no equipamento da superfície (32) ou em ambos os processadores. O processamento de fundo de poço ou da superfície dos dados pode ser determinado pela configuração do sistema testador de formação e pela largura de banda telemétrica disponível. Como alternativa, os dados de resposta da ferramenta podem ser armazenados na memória dentro da ou conectados operativamente à ferramenta (10) para poderem ser acessados novamente na superfície. Os resultados podem ser tabelados em função do tempo e/ou da profundidade em que foram medidos e transmitidos pelo equipamento da superfície (32) usando qualquer formato de registro desejado, incluindo, mas sem a isto se restringir, um "perfil" ou um "gráfico linear".

Concretizada como um sistema de análise de fluido de furo de poço (5), a ferramenta (10) é geralmente disposta a uma profundidade predeterminada dentro do furo de poço (28) na qual o fluido escoar, ou a partir de uma formação de produção sob pressão em excesso ou a partir da ação de uma bomba de poço. A seção de sonda (12) compreende uma porta de entrada através da qual o fluido escoar para dentro da ferramenta (10). Como na concretização da ferramenta de perfilagem de

produção, a seção de bomba da ferramenta (20) e a seção de amostra da ferramenta (18) (vide FIG. 1) não são necessárias. O fluxo de fluido através da ferramenta (10) e as medições feitas pela ferramenta (10) são essencialmente iguais aos descritos na concretização de perfilagem de produção. A ferramenta (10) mede as propriedades do fluido em função do tempo e/ou da profundidade. O tempo de monitoração do fluido pode levar dias ou até mesmo semanas. Mais uma vez, os parâmetros típicos de interesse são relacionados aos constituintes de óleo, água e gás e às propriedades físicas e químicas do fluido escoando.

Conforme mencionado anteriormente, o espectroscópio (100) pode ser concretizado em um sistema de perfilagem de produção. Com referência à FIG. 1, a seção de bomba da ferramenta (20) e a seção de amostra da ferramenta (18) não são necessárias em uma concretização projetada para a perfilagem de produção. Em uma concretização de perfilagem de produção, a ferramenta (10) é conduzida ao longo do poço (28). A seção de sonda (12) compreende uma porta para dentro da qual o fluido do furo de poço escoar devido ao movimento relativo da ferramenta conduzida (10) ou do fluido produzido. O fluido pode escoar através da seção auxiliar (14), na qual as medições relacionadas às vazões de fase, à densidade de fluido do compósito, aos fatores de retenção de fase e a qualquer outro parâmetro desejado do constituinte do fluido pode ser feito. O fluido pode então escoar através da seção de espectroscópio da ferramenta (16). As medições relacionadas aos constituintes e às

propriedades físicas e/ou químicas do fluido são feitas na seção de espectroscópio da ferramenta (16), conforme descrito nas seções anteriores da presente revelação. Após escoar através da seção de espectroscópio da ferramenta (16), o fluido sai da ferramenta (10) através da porta de saída (não ilustrada) e retorna ao furo do poço (28). As medições espectroscópicas são combinadas às medições da seção auxiliar, no processador (não ilustrado), de preferência, na seção de espectroscópio da ferramenta (16), para obter os parâmetros de perfilagem de produção de interesse tais como as vazões de volume para óleo, água e gás. Esses parâmetros de interesse são formados em função do tempo e/ou da profundidade (40) no furo de poço (28), gerando assim um perfil de produção.

Embora a invenção tenha sido revelada com relação a certas concretizações preferidas, isso não deve ser considerado como uma restrição a todos os detalhes mencionados. Modificações e variações das concretizações descritas podem ser feitas sem divergir do âmbito e da essência da invenção, bem como outras concretizações podem ser reconhecidas pelos versados na técnica.

## REIVINDICAÇÕES

1. – Ferramenta para medir propriedades de um fluido de fundo de poço, a ferramenta sendo caracterizada por compreender:

5                                    uma porta para obter uma amostra de fluido de fundo de poço; e

um espectroscópio, o espectroscópio incluindo:

   um canal de amostra que avalia o referido fluido;

10                                    um canal de referência; e

   um Arranjo de Microespelhos (MMA) compreendendo elementos que são orientados em seqüência para direcionar a luz, no comprimento de onda da amostra, para o canal de amostra e para o canal de referência;

15                                    em que a resposta do canal de amostra e a resposta do canal de referência são combinadas para produzir uma medição de uma propriedade do referido fluido e corrigir mudanças sistemáticas da medição no espectroscópio.

20                                    2. – Ferramenta, de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que o referido espectroscópio avalia pelo menos uma propriedade física ou química do referido fluido dentro do referido furo de poço.

25                                    3. – Ferramenta, de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que a referida ferramenta faz parte de um sistema testador de formação a cabo elétrico.

4. – Ferramenta, de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que a referida ferramenta faz parte de um sistema de perfilagem de produção.

5 1. – Ferramenta, de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que a referida ferramenta faz parte de um sistema de análise de fluido de fundo de poço.

6. – Ferramenta, de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que a referida ferramenta faz parte de um sistema testador de formação de Perfilagem Durante a Perfuração/Medição Durante a Perfuração (LWD/MWD).

7. – Sistema, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o referido espectroscópio adicionalmente compreende meios para determinar a corrente escura do espectroscópio.

15 8. – Sistema, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que o referido sistema de controle orienta os elementos do arranjo de microespelhos de modo que a luz seja direcionada para longe ou do canal de amostra ou do canal de referência, e as respostas do detector de referência e do detector de amostra, respectivamente, são usadas para determinar as correntes escuras do respectivo canal.

9. – Sistema para medir propriedades de um fluido de dentro de um furo de poço, o sistema sendo caracterizado por compreender:

25 uma ferramenta, a ferramenta incluindo;

um elemento de isolamento de furo de poço para isolar uma parte de uma formação de terra;

uma porta para obter uma amostra de fluido de formação a partir da referida parte isolada; e

5 um espectroscópio, o referido espectroscópio incluindo:

uma fonte luminosa;

um Arranjo de Microespelhos (MMA) que é usado para filtrar comprimentos de onda;

10 um canal de amostra compreendendo um acessório de amostragem em contato óptico com o fluido;

um detector de amostra; e

um canal de referência compreendendo um detector de referência;

15 um sistema de controle que orienta os elementos do referido arranjo de microespelhos de modo que a luz em um comprimento de onda de amostra seja direcionada para o referido canal de amostra, e que orienta alternadamente os elementos do referido arranjo de microespelhos de modo que a luz no referido  
20 comprimento de onda de amostra seja direcionada para o referido canal de referência; e

um processador para combinar as respostas do referido detector de amostra e do referido detector de referência para obter uma medição de pelo menos uma propriedade de um  
25 fluido dentro de um furo de poço e para corrigir as mudanças sistemáticas da medição no referido espectroscópio.

10. – Sistema, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que o referido espectroscópio adicionalmente compreende meios para determinar a corrente escura do espectroscópio.

5 11. – Sistema, de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que o referido sistema de controle orienta os elementos do arranjo de microespelhos de modo que a luz seja direcionada para longe ou do canal de amostra ou do canal de referência, e as respostas do detector de referência e do  
10 detector de amostra, respectivamente, são usadas para determinar as correntes escuras do respectivo canal.

12. – Sistema, de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que essas medições são usadas posteriormente para corrigir os efeitos adversos da variação de  
15 fundo das medições do espectroscópio.

13. – Sistema, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que a referida ferramenta adicionalmente inclui:

20 uma seção de espectroscópio da ferramenta em que o referido espectroscópio é disposto; e

uma seção de sonda na qual a referida parte é disposta.

14. – Sistema, de acordo com a reivindicação 13, caracterizado pelo fato de que a referida ferramenta  
25 adicionalmente inclui:

uma seção de bomba da ferramenta.

15. – Sistema, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado por adicionalmente compreender:

uma unidade telemétrica de superfície;

5 uma seção eletrônica e telemétrica da ferramenta disposta na ferramenta incluindo uma unidade telemétrica de fundo de poço; e

um canal de dados conectando operacionalmente a referida unidade telemétrica de fundo de poço com a unidade telemétrica de superfície, permitindo assim que a referida medição da referida pelo menos uma propriedade seja enviada por telemetria à referida unidade telemétrica de superfície.

16. – Sistema, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado por adicionalmente compreender uma seção de amostragem para reter uma amostra do referido fluido de formação.

17. – Ferramenta, de acordo com a reivindicação 9, caracterizada pelo fato de que a referida ferramenta faz parte de um sistema testador de formação a cabo elétrico.

18. – Ferramenta, de acordo com a reivindicação 9, caracterizada pelo fato de que a referida ferramenta faz parte de um sistema testador de formação de Perfilagem Durante a Perfuração/Medição Durante a Perfuração (LWD/MWD).

19. – Método para medir uma propriedade de um fluido dentro de um furo de poço, o método sendo caracterizado por compreender:

5           dispor um espectroscópio dentro do furo do poço, o espectroscópio compreendendo um canal de amostra que interage com um fluido, um canal de referência e um Arranjo de Microespelhos (MMA) compreendendo elementos de microespelho;

10           orientar seqüencialmente os elementos de microespelho para direcionar a luz, em um comprimento de onda de amostra, para o referido canal de amostra e para o referido canal de referência; e

15           combinar uma resposta do referido canal de amostra e uma resposta da referida câmara de referência para obter uma medição de uma propriedade do fluido e corrigir as mudanças sistemáticas da medição no espectroscópio.

20           20. – Método, de acordo com a reivindicação 19, caracterizado pelo fato de que o referido método é realizado por um sistema testador de formação a cabo elétrico.

25           21. – Método, de acordo com a reivindicação 19, caracterizado pelo fato de que o referido método é realizado por um sistema de perfilagem de produção.

            22. – Método, de acordo com a reivindicação 19, caracterizado pelo fato de que o referido método é realizado por um sistema de análise de fluido de fundo de poço.

23. – Método, de acordo com a reivindicação 19, caracterizado pelo fato de que o referido método é realizado por um sistema testador de formação de Perfilagem Durante a Perfuração/Medição Durante a Perfuração (LWD/MWD).

5 24. – Sistema, de acordo com a reivindicação 19, caracterizado pelo fato de que o referido espectroscópio adicionalmente compreende meios para determinar a corrente escura do espectroscópio.

10 25. – Ferramenta para medir propriedades de um fluido de fundo de poço dentro de um furo de poço, a ferramenta sendo caracterizada por compreender:

meios para isolar uma parte de uma formação de terra;

15 meios para obter uma amostra de fluido de formação a partir da referida parte isolada;

meios para avaliar uma propriedade do referido fluido de formação; e

20 meios que permitem a correção de mudanças sistêmicas na referida avaliação enquanto a referida ferramenta está no fundo do poço dentro do referido furo de poço.

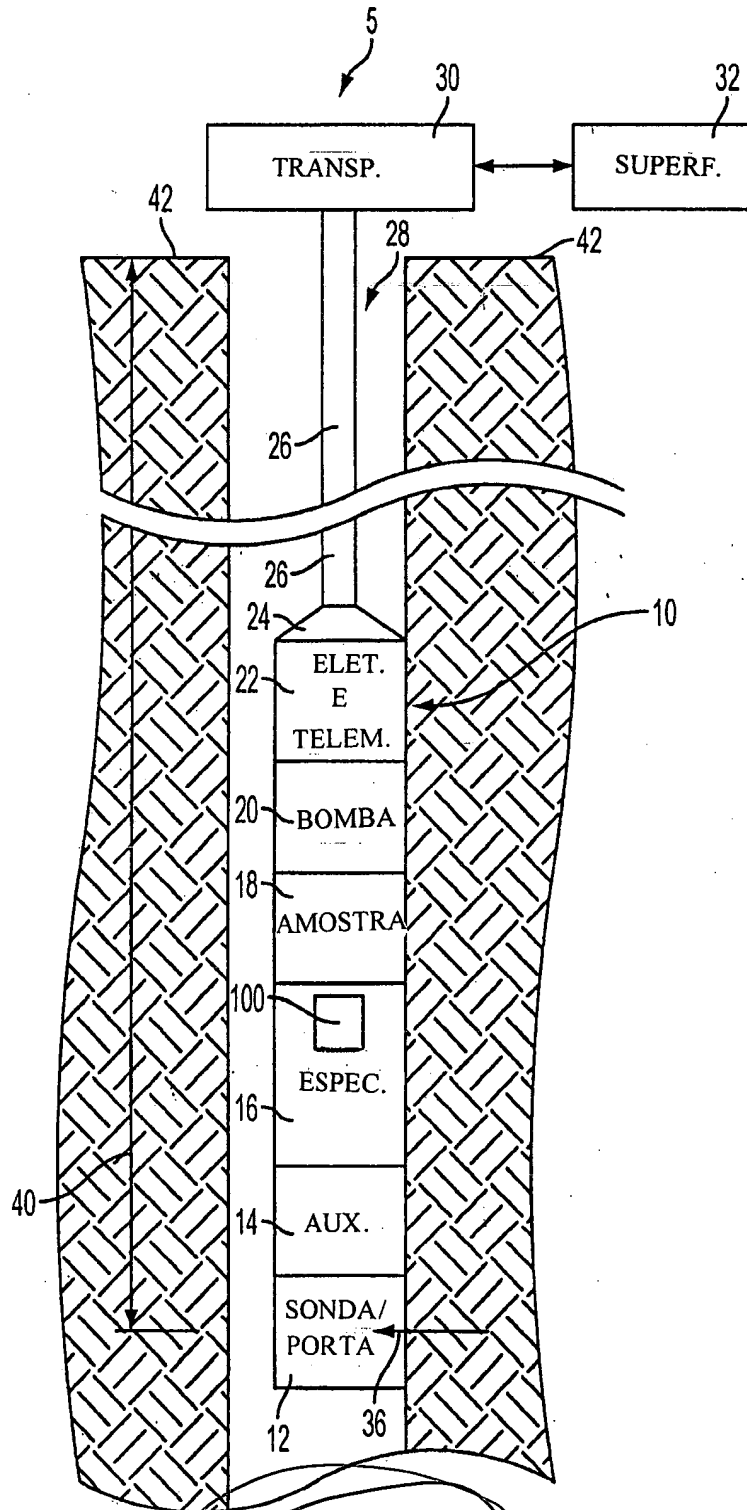


FIG. 1

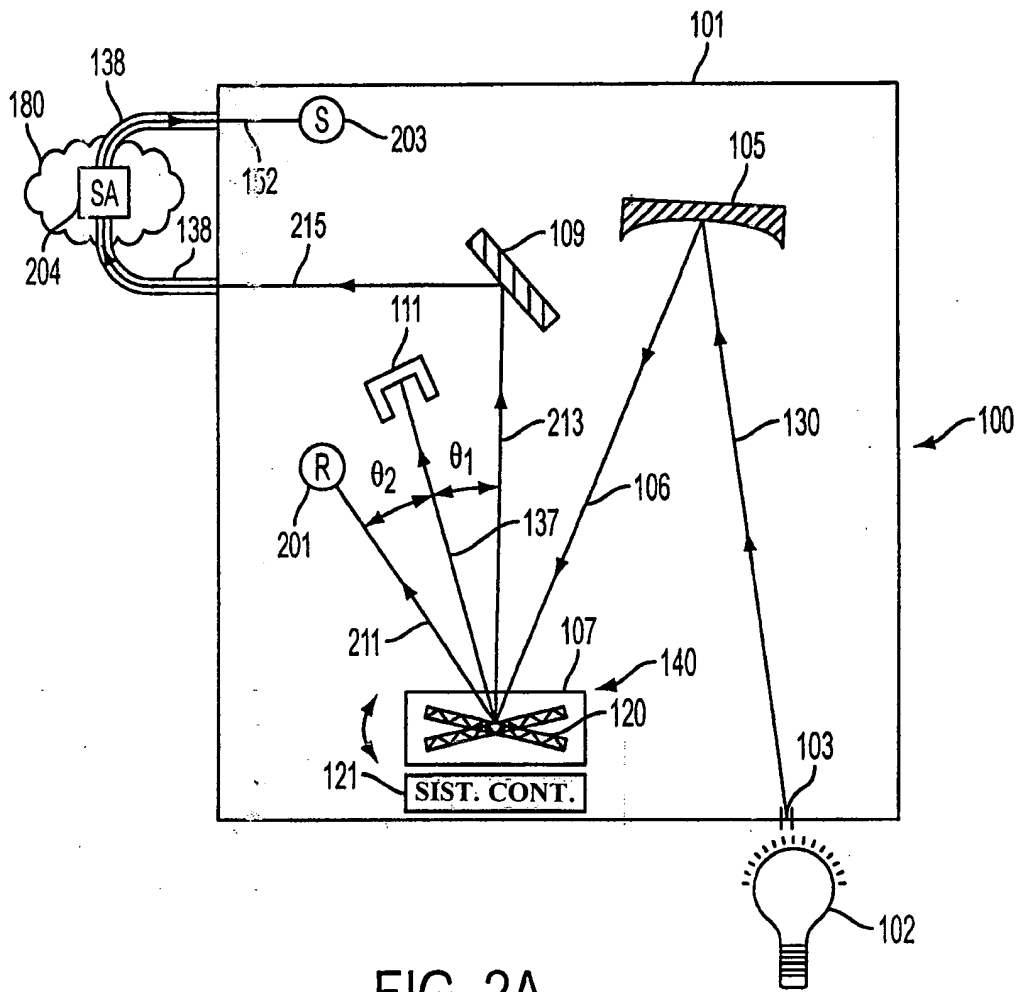


FIG. 2A

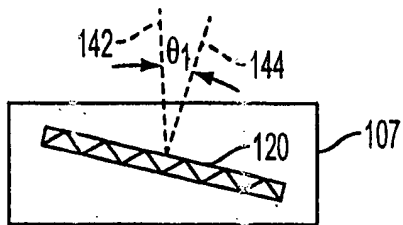


FIG. 2B

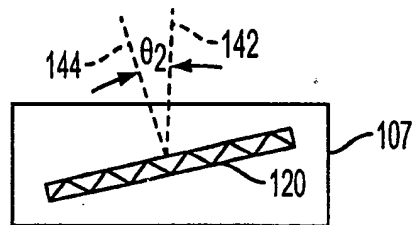


FIG. 2C



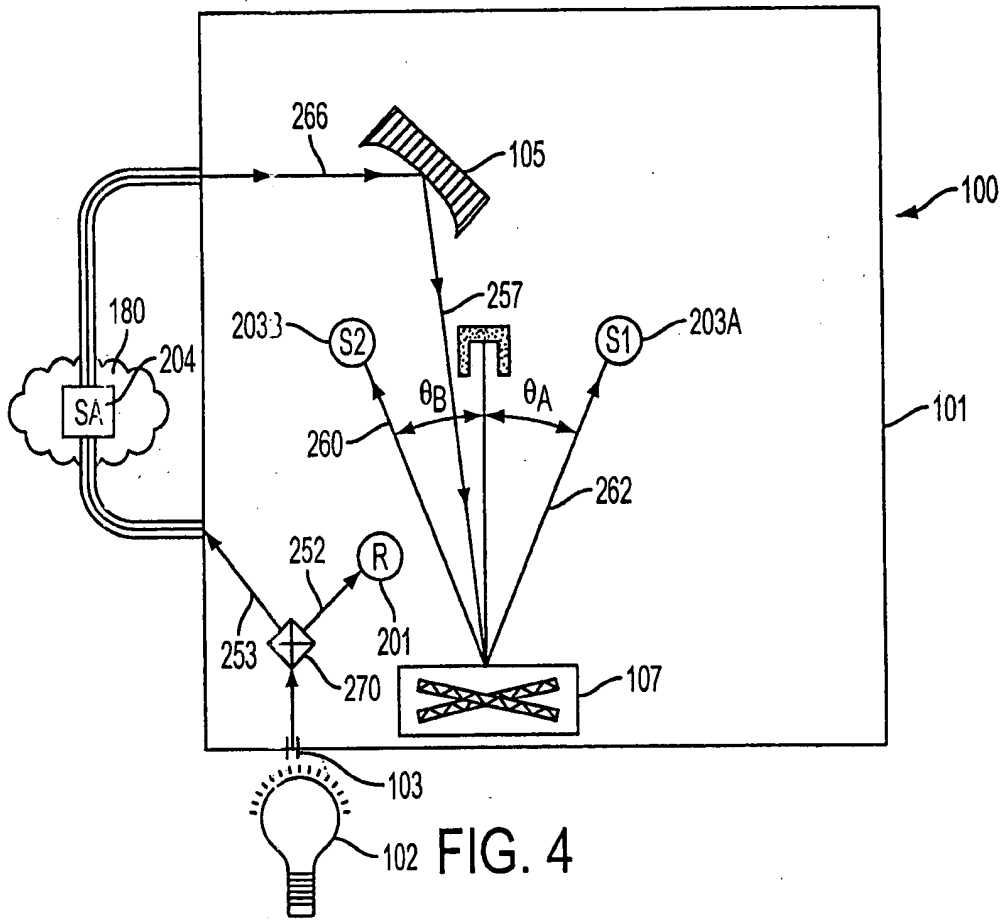


FIG. 4

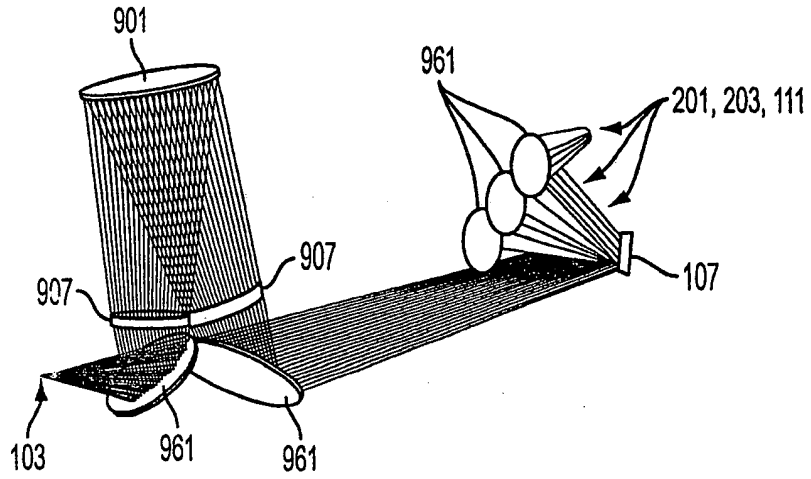


FIG. 5

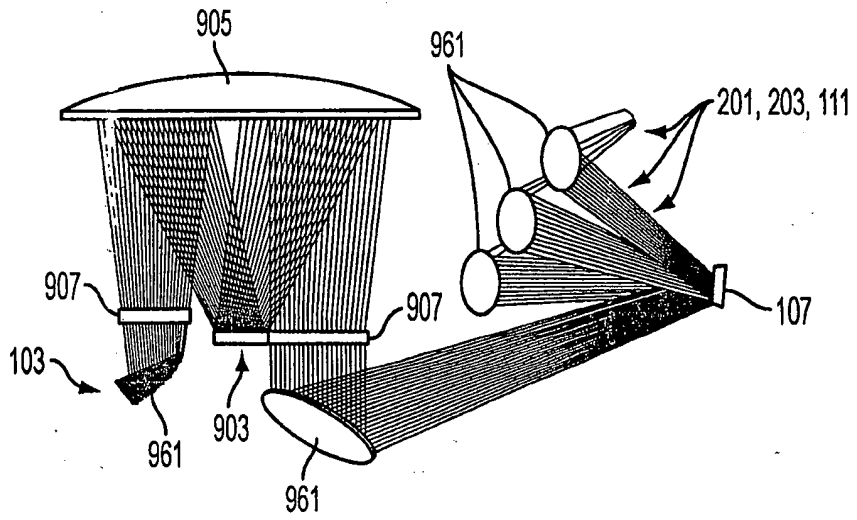


FIG. 6

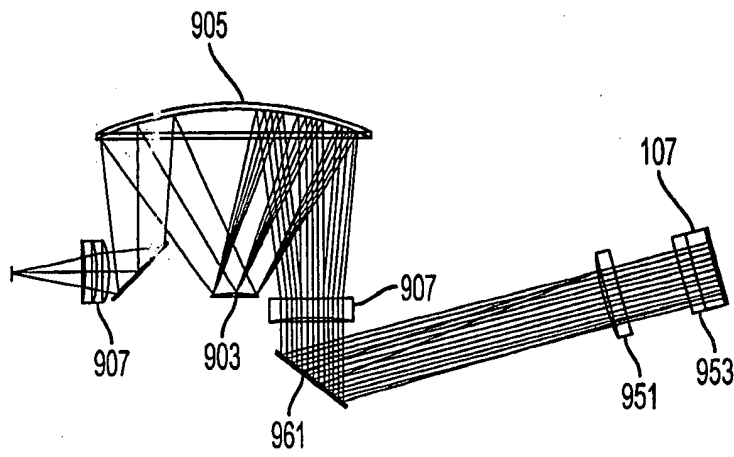


FIG. 7

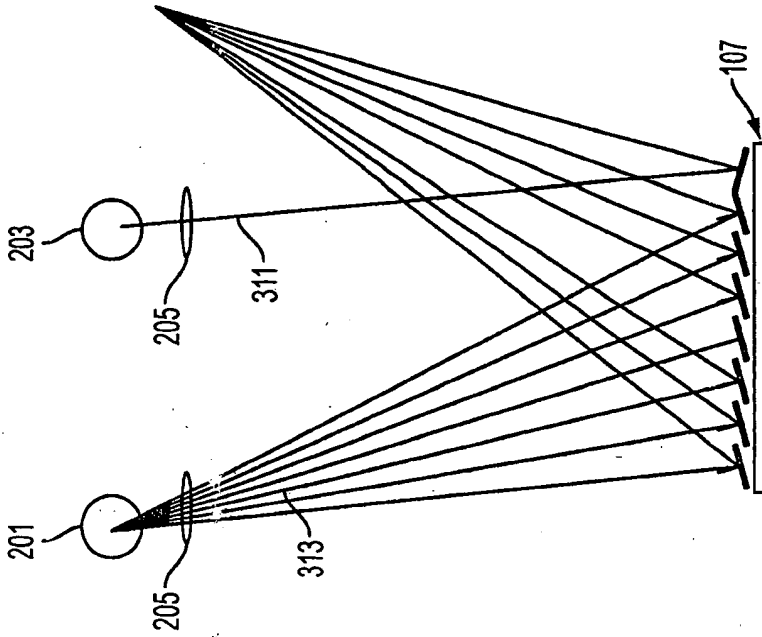


FIG. 8B

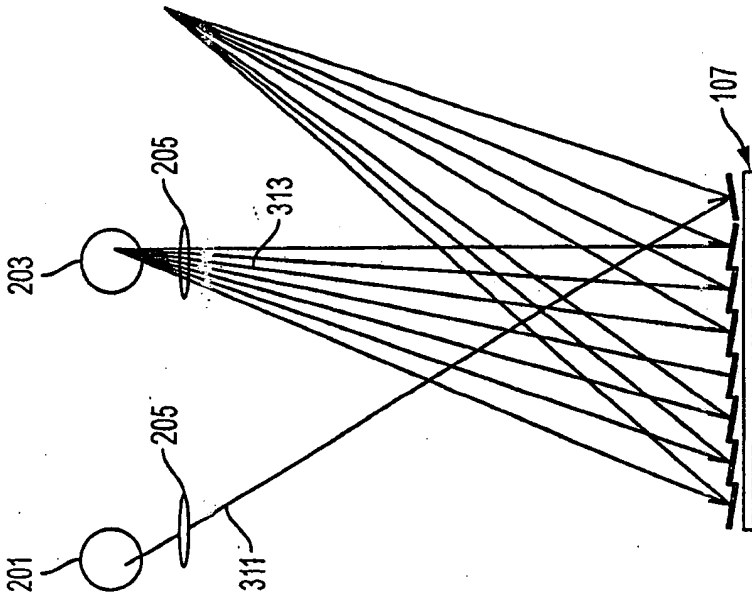


FIG. 8A

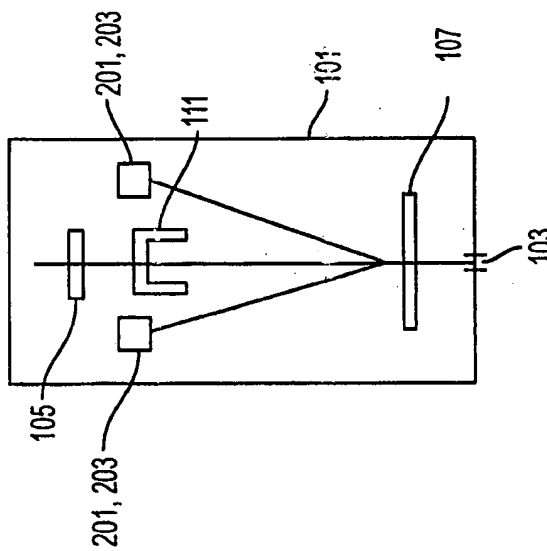


FIG. 9B

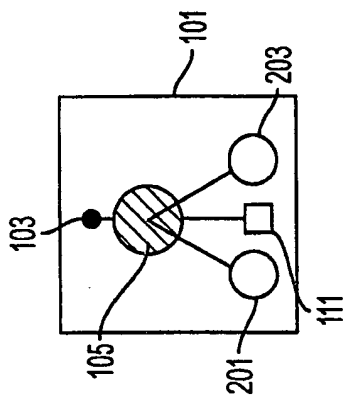


FIG. 9C

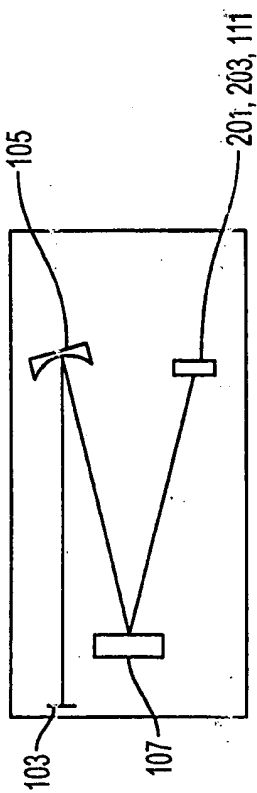


FIG. 9A



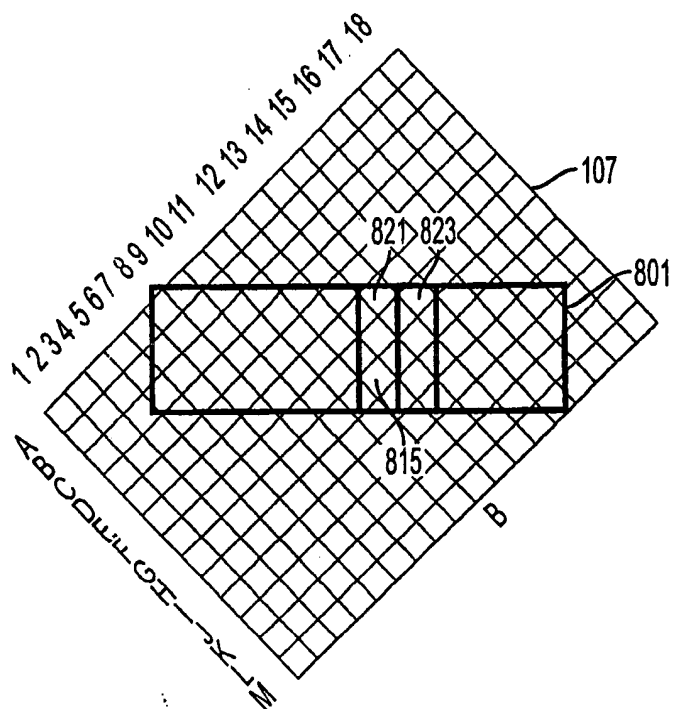


FIG. 11B

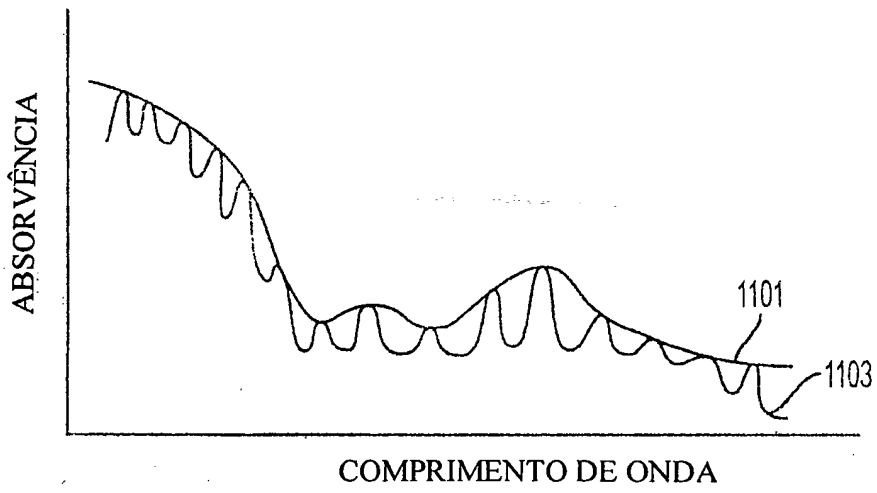


FIG. 12

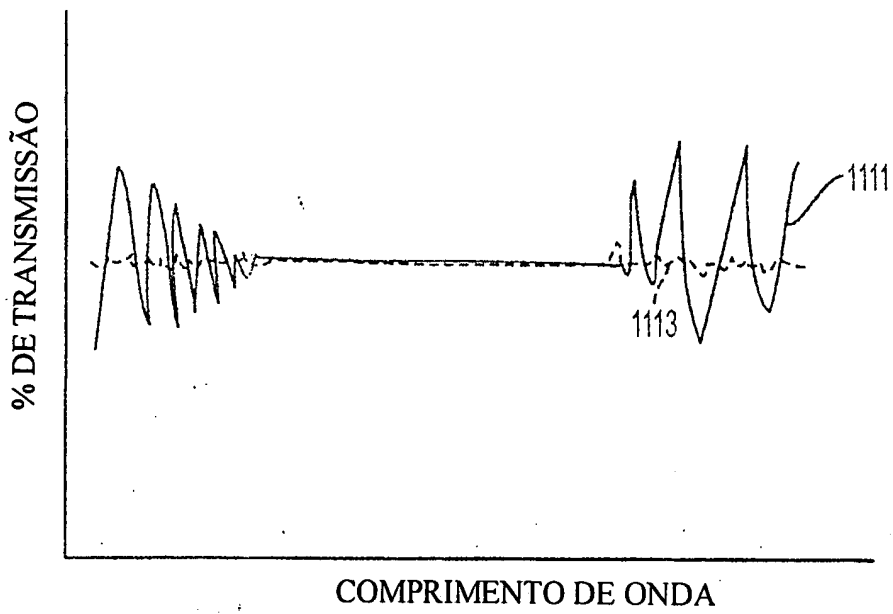


FIG. 13

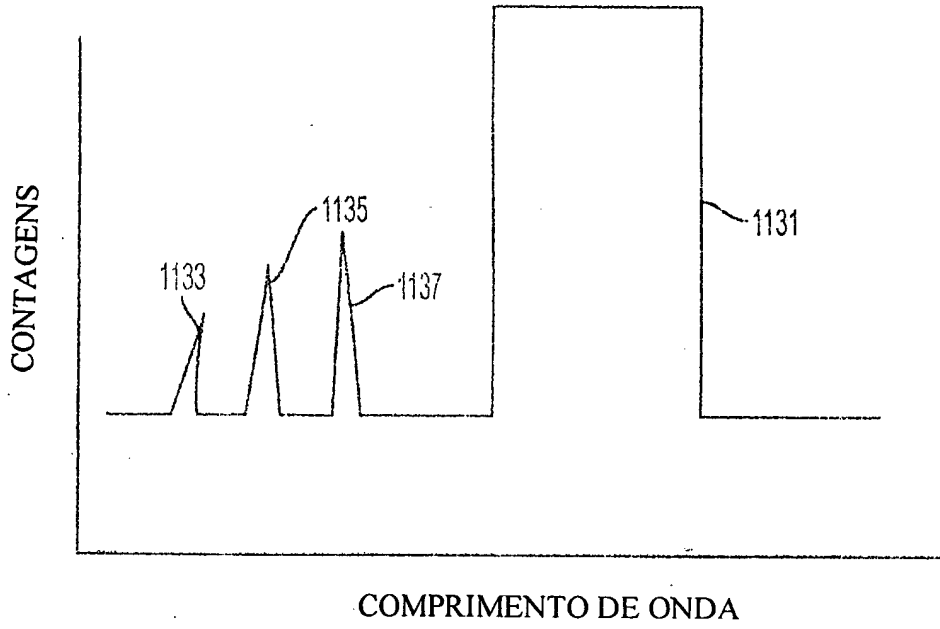


FIG. 14A

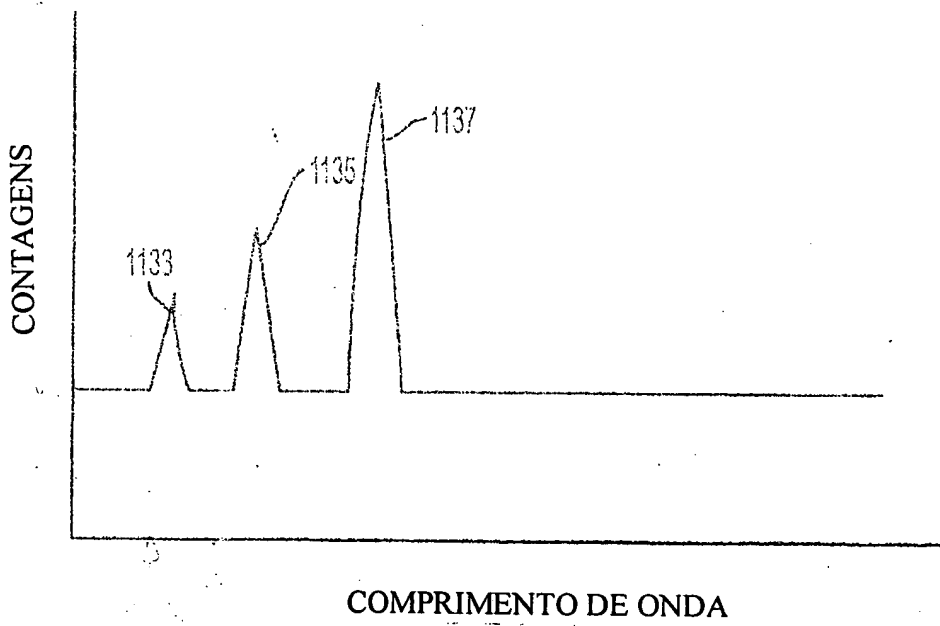


FIG. 14B

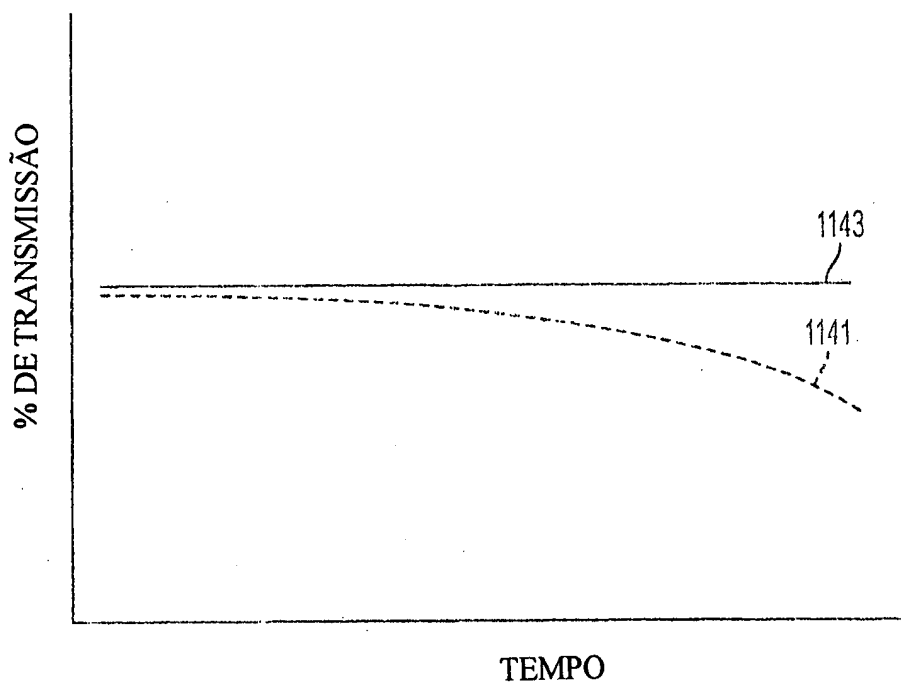


FIG. 15

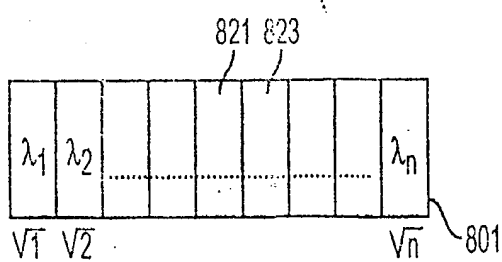


FIG. 16A

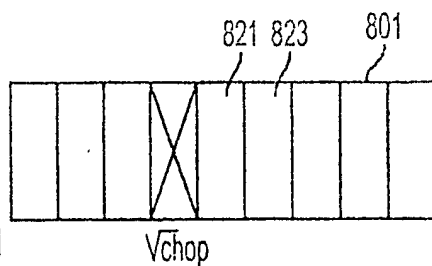


FIG. 16B

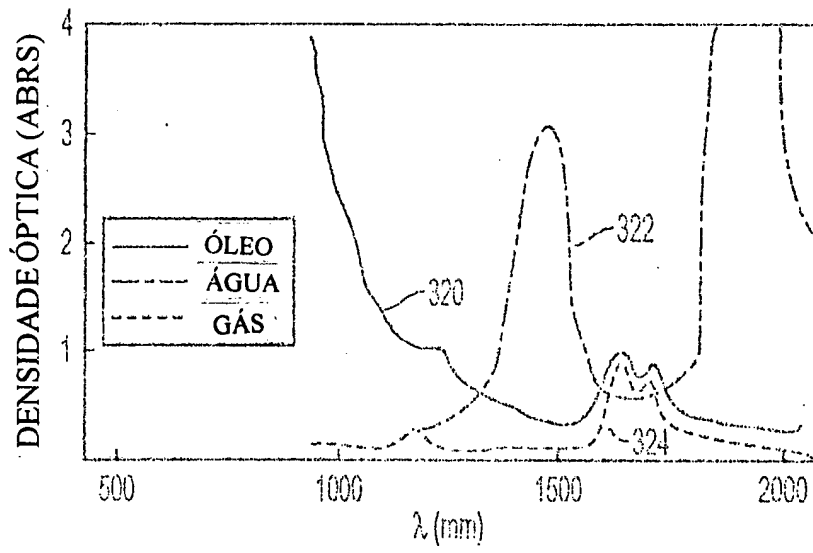


FIG. 17

**RESUMO**

Patente de Invenção para “MÉTODO E APARELHO PARA REALIZAR ESPECTROSCOPIA DE FUNDO DE POÇO DENTRO DE UM FURO DE POÇO”.

5 Trata-se de um sistema, ferramenta e método de análise para realizar análises de fluido de fundo de poço, tal como dentro de um poço. O sistema, ferramenta e método de análise oferecem uma ferramenta que inclui um espectroscópio para uso na análise de fluido de fundo de poço que utiliza um elemento  
10 óptico adaptativo tal como um Arranjo de Microespelhos (MMA) e dois canais luminosos e detectores distintos para proporcionar o escalonamento ou a normalização em tempo real.