



República Federativa do Brasil  
Ministério da Economia  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

**(11) BR 112017011049-0 B1**



**(22) Data do Depósito: 03/12/2015**

**(45) Data de Concessão: 06/04/2021**

---

**(54) Título:** SISTEMA COMPREENDENDO UM INTERFERÔMETRO INSENSÍVEL À PRESSÃO

**(51) Int.Cl.:** G01L 11/02; G01L 1/24.

**(30) Prioridade Unionista:** 17/12/2014 US 62/093,187.

**(73) Titular(es):** PGS GEOPHYSICAL AS.

**(72) Inventor(es):** WILLARD WOMACK.

**(86) Pedido PCT:** PCT US2015063680 de 03/12/2015

**(87) Publicação PCT:** WO 2016/099925 de 23/06/2016

**(85) Data do Início da Fase Nacional:** 25/05/2017

**(57) Resumo:** A presente invenção refere-se a um dispositivo. O dispositivo inclui um substrato, um primeiro guia de onda óptico disposto no substrato e um segundo guia de onda óptico disposto no substrato. O dispositivo inclui, ainda, um elemento de acoplamento disposto no substrato, o elemento de acoplamento configurado para acoplar um sinal óptico no primeiro guia de onda óptico ao segundo guia de onda óptico e acoplar um sinal óptico no segundo guia de onda óptico ao primeiro guia de onda óptico. Um primeiro elemento refletor está disposto na extremidade do primeiro guia de onda óptico configurado para refletir os sinais ópticos no primeiro guia de onda óptico. Um segundo elemento refletor disposto na extremidade do segundo guia de onda óptico configurado para refletir os sinais no segundo guia de onda óptico.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**SISTEMA COMPREENDENDO UM INTERFERÔMETRO INSENSÍVEL À PRESSÃO**".

REFERÊNCIA CRUZADA AOS PEDIDOS RELACIONADOS

[0001] Este pedido reivindica o benefício do Pedido Provisório Norte-Americano Nº. Serial 62/093.187 depositado em 17 de dezembro de 2014 e intitulado "Interferômetro insensível de pressão". O pedido provisório está incorporado por referência aqui como se reproduzido completamente abaixo.

Antecedente

[0002] O monitoramento de reservatório de hidrocarboneto é uma técnica onde são tomadas várias "imagens" sísmicas tridimensionais do estado de um reservatório de hidrocarboneto de tal forma que um geólogo ou engenheiro de reservatórios possa planejar a localização de perfurações adicionais para aumentar a eficiência da extração de hidrocarbonetos e/ou podem avaliar a eficiência das técnicas de extração atuais ao longo do tempo. Em alguns casos, a tomada de imagens sísmicas múltiplas de um reservatório de hidrocarboneto pode ser referida como sísmica de quatro dimensões (4D).

[0003] O monitoramento de reservatórios permanentes com base marinha passa por desafios significativos que não são enfrentados por sistemas de monitoramento permanente terrestres. Isto é particularmente verdadeiro em instalações de fundo oceânico, uma vez que as profundidades de água se estendem até ao limite de 1000 metros e mais além. Em particular, os componentes que compreendem os sensores e os sistemas de comunicação de dados associados dispostos no fundo do mar podem ser expostos à água do mar, à umidade elevada e à condensação, e sujeitos às tensões hidrostáticas que surgem no ambiente submarino.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[0004] Para uma descrição detalhada das modalidades exemplares, a referência será agora feita aos desenhos anexos nos quais:

[0005] A figura 1 mostra uma vista cortada em perspectiva de um sistema de monitoramento de reservatório de hidrocarboneto de acordo com pelo menos algumas modalidades;

[0006] A figura 2 mostra um diagrama em blocos de um dispositivo de acordo com pelo menos algumas modalidades;

[0007] A figura 2A mostra uma vista em elevação de uma parte do dispositivo da figura 2 de acordo com algumas modalidades;

[0008] A figura 3 mostra um diagrama em blocos de um dispositivo de acordo com pelo menos algumas modalidades;

[0009] A figura 4 mostra um fluxograma de um método de acordo com pelo menos algumas modalidades;

[0010] A figura 5 mostra um diagrama em blocos de uma parte de um sistema de monitoramento de reservatório de hidrocarboneto de acordo com pelo menos algumas modalidades; e

[0011] A figura 6 mostra um diagrama em blocos de um dispositivo de acordo com pelo menos algumas modalidades.

## DEFINIÇÕES

[0012] Certos termos são utilizados ao longo da descrição e das reivindicações para determinados componentes do sistema. Como um técnico no assunto irá apreciar, diferentes empresas podem consultar um componente com nomes diferentes. Este documento não pretende distinguir entre componentes que diferem no nome, mas não na função. Na seguinte discussão e nas reivindicações, os termos "incluindo" e "compreendendo" são utilizados de uma forma aberta e devem ser interpretados como significando "incluindo, mas não se limitando a ...". Ainda, o termo "acoplar" ou "acopla" é destinado a significar uma conexão direta ou indireta. Assim, se um primeiro dispositivo acoplar a um segundo dispositivo, esta conexão pode ser através de uma cone-

xão direta ou através de uma inconexão direta por meio de outros dispositivos e conexões.

[0013] "Cabo" significa um elemento flexível de suporte de carga que também compreende condutores elétricos e/ou condutores ópticos para transportar energia elétrica e/ou sinais entre componentes.

[0014] Por "corda" entende-se um elemento flexível de suporte de carga axial que não inclui condutores elétricos e/ou ópticos. Tal corda pode ser feita de fibra, aço, outro material de alta resistência, corrente ou combinações de tais materiais.

[0015] "Linha" deve significar uma corda ou um cabo.

[0016] "Ambiente marinho" deve significar uma localização subaquática independentemente da salinidade da água. Assim, mesmo uma localização subaquática em um corpo de água doce deve ser considerado um ambiente marinho.

[0017] "Fundo marinho" significa o limite de um corpo de água e o sedimento ou rocha subjacente. O termo "fundo do mar" não implica nada em relação à salinidade da água e, portanto, até mesmo o limite de um corpo de água doce e o sedimento ou rocha subjacente deve ser considerado um fundo marinho.

[0018] "Superfície" em relação à localização de um objeto físico no contexto de um corpo de água deve significar qualquer localização 100 pés abaixo do nível do mar médio e acima.

#### DESCRIÇÃO DETALHADA

[0019] A discussão a seguir é direcionada a várias modalidades da invenção. Embora uma ou mais destas modalidades possam ser preferidas, as modalidades reveladas não devem ser interpretadas ou de outra forma utilizadas como limitando o escopo da revelação ou das reivindicações. Além disso, um técnico no assunto entenderá que a seguinte descrição tem ampla aplicação e a discussão de qualquer modalidade é apenas exemplo desta modalidade e não destinado a

intimar que o escopo da revelação ou das reivindicações, é limitado a esta modalidade.

[0020] Os vários dispositivos e métodos exemplares são direcionados aos componentes de sistemas de monitoramento de reservatório de hidrocarboneto permanentes utilizados em ambientes marinhos (por exemplo, na faixa de 1000 metros da profundidade de água). Permanente neste contexto indicando que os sistemas exemplares podem ser utilizados em monitoramento de reservatório onde os vários dispositivos para monitoramento são deixados no fundo marinho de forma indefinida; entretanto, os sistemas exemplares podem ser utilizados em qualquer contexto de monitoramento de reservatório. Mais particularmente ainda, pelo menos alguns das várias modalidades são direcionados ao monitoramento de reservatório permanente com base óptica em ambientes marinhos. A especificação primeiro vira-se a um sistema ilustrativo para orientar o leitor e, então, às especificações referentes aos dispositivos empregados em conjunto com tal sistema.

[0021] A figura 1 mostra uma vista cortada em perspectiva de uma parte de um ambiente marinho compreendendo um sistema de monitoramento de reservatório permanente de acordo com pelo menos algumas modalidades. Em particular, a figura 1 mostra a superfície 100 da água. Em uma distância  $D$  abaixo da superfície 100 reside o fundo marinho 102 e abaixo do fundo marinho 102 reside um reservatório de hidrocarboneto 122.

[0022] Dentro do ambiente da figura 1 reside um exemplo do sistema de monitoramento de reservatório 104. Em alguns casos, o sistema de monitoramento de reservatório 104 é instalado e permanece no local por um período estendido e, assim, pode ser considerado um sistema de monitoramento de reservatório “permanente”. O exemplo do sistema de monitoramento de reservatório 104 compreende uma unidade base 106 instalada no fundo marinho 102. A unidade base mecânica e comu-

nicavelmente acopla-se a um cabo umbilical 108 que estende-se da unidade base 106, através do corpo de água 105, a um sistema de computador na superfície. No exemplo sistema da figura 1, o sistema de computador 110 pode residir em um navio 112 que flutua na superfície 100. O navio 112 é ilustrativamente mostrado como uma plataforma flutuante, mas outros navios de superfície podem ser utilizados (por exemplo, navios, barcas ou plataformas ancoradas ou montadas no fundo marinho). Em forma do cabo umbilical 108, a unidade base 106, bem como os vários cabos do sensor discutidos mais abaixo, estão comunicavelmente acoplados ao sistema de computador 110.

[0023] Um sistema de monitoramento de reservatório pode compreender pelo menos um cabo do sensor e no exemplo do sistema da figura 1, o sistema de monitoramento de reservatório 104 compreende dois cabos do sensor 114 e 116. No sistema da figura 1, cada cabo do sensor 114, 116 mecânica e comunicavelmente acopla à unidade base 106 em cada extremidade para redundância de comunicação, no caso de quebra comunicativa ao longo do cabo do sensor. O comprimento dos cabos do sensor 114, 116 pode variar dependendo da situação particular e do comprimento de cabos do sensor acoplado a uma unidade base não precisa ser o mesmo. Por exemplo, em uma situação, um loop do cabo do sensor (por exemplo, cabo do sensor 114) pode estar na ordem de 19 quilômetros (km) em comprimento, enquanto outro loop do cabo do sensor (por exemplo, cabo do sensor 116) pode estar na ordem de 50 km.

[0024] Cada cabo do sensor 114, 116 pode compreender uma pluralidade de dispositivos de medição sísmica, como dispositivos do sensor 118 associados com o cabo do sensor 114 e dispositivos do sensor 120 associados com o cabo do sensor 116. Enquanto apenas três dispositivos 118 são mostrados associados com o cabo do sensor 114, na prática muitas centenas ou milhares destes dispositivos do

sensor podem ser espaçados ao longo do cabo do sensor 114. Do mesmo modo, enquanto apenas três dispositivos do sensor 120 são mostrados associados com o cabo do sensor 114, na prática muitas centenas ou milhares destes dispositivos do sensor podem ser colocados ao longo do cabo do sensor 116. Os dispositivos do sensor 118 e 120 não precisam, entretanto, ser igualmente espaçados ao longo dos cabos do sensor 114 ou 116 e partes estendidas dos cabos do sensor podem ser sem dispositivos do sensor. Por exemplo, partes principais do cabo do sensor podem ter longas extensões (por exemplo, múltiplos quilômetros) dentro das quais nenhum dispositivo do sensor está localizado.

[0025] As modalidades ilustradas e discutidas na especificação atual aqui desenvolvida no contexto de um sistema óptico – sem corrente elétrica que flui ao longo do cabo umbilical 108 e/ou dos cabos do sensor 114, 116. Técnicos no assunto entenderão que o sistema descrito e reivindicado não está limitado a sistemas ópticos apenas e sistemas ópticos e elétricos misturados podem ser implementados de acordo com os aspectos desta revelação.

[0026] Os dispositivos do sensor podem tomar qualquer forma adequada. Por exemplo, os dispositivos do sensor podem ser geofones de único eixo, que medem as mudanças de minuto na velocidade. Em alguns casos, os geofones de único eixo podem ser suspensos de modo que os geofones meçam apenas as mudanças verticais (ou seja, alinhados com a força da gravidade) na velocidade. Ainda em outros casos, os geofones podem ser geofones de três eixos, que medem as mudanças na velocidade em todas as três dimensões espaciais. Em outros casos, os dispositivos do sensor podem ser hidrofones que medem pressão ou som. Ainda em outros casos, múltiplos diferentes tipos de dispositivos do sensor podem ser utilizados no mesmo cabo, incluindo hidrofones e geofones. Em alguns casos, os geofones e/ou

hidrofones podem ser dispositivos ópticos passivos, significando que os geofones e/ou hidrofones são energizados pela energia óptica conduzida ao longo de uma ou mais fibras ópticas e, assim, modular os dados registrados na forma de sinais ópticos ao longo das mesmas ou diferentes fibras ópticas em resposta a sinais sísmicos, acústicos ou outros sinais que colidem nos dispositivos do sensor. Conforme descrito acima, os dados podem ser comunicados ao sistema de computador 110. Em pelo menos algumas modalidades, a modulação pode estar na forma de modulação de balanço, por exemplo, modulação de fase ou frequência, da energia óptica. Sinais ópticos compreendendo a energia óptica modulada podem ser demodulados para recuperar os dados gravados para processamento adicional pelo sistema de computador 110, ou, alternativamente, por um sistema de processamento de dados em terra. Entretanto, conforme descrito ainda abaixo, ruído acústico e/ou sísmico no ambiente marinho, que age nos dispositivos do sensor ou componentes ópticos, como fibras ópticas em cabos 114 e 116, podem modular as propriedades ópticas dos componentes, que, por sua vez, podem introduzir ruído e outra distorção aos sinais ópticos. Os próprios dispositivos do sensor, ou os cabos, podem incorporar os dispositivos para medir o ruído de fase e em um ambiente marinho, tais dispositivos podem ser submetidos à tensão hidrostática, entre outras coisas. Assim, estes dispositivos podem exigir um alojamento atmosférico para isolá-los da tensão hidrostática. Ainda, tais dispositivos também podem exigir isolamento de distúrbios externos que, caso contrário, apareceriam como ruído dentro do próprio dispositivo e, assim, mascaram as medições desejadas. Assim, o desenho dos dispositivos para medir sinais ópticos dentro de um sistema de monitoramento de reservatório que acomoda as restrições impostas pelo ambiente marinho pode ser complexo, custoso e complicado para integrar ao sistema.

[0027] A figura 2 mostra um diagrama em blocos funcional de um dispositivo interferométrico 200 de acordo com pelo menos algumas modalidades que podem direcionar os fatores do ambiente marinho previamente mencionados associados com a medição dos sinais ópticos em um sistema de monitoramento de reservatório subaquático. O dispositivo interferométrico 200 pode incluir dois guias de onda ópticos 202 e 204. Em pelo menos algumas modalidades, os guias de onda ópticos 202 e 204 podem compreender um material disposto dielétrico opticamente transmissor em um material de substrato como silício, cerâmicas, vidro, plástico, por exemplo, polimetilmetacrilato (PMMA) ou material da placa de circuito impresso (PCB). A figura 2A ilustra um par exemplar de guias de onda ópticos 202, 204 disposto em um material de substrato 205. Os guias de onda ópticos de polímero podem ser fabricados utilizando, por exemplo, técnicas de impressão tridimensionais (3D) ou, alternativamente, técnicas de estampagem. Em outras modalidades, os guias de onda ópticos podem compreender silício/dióxido de silício ( $\text{Si}/\text{SiO}_2$ ) (núcleo/revestimento) disposto em um substrato de silício. Tais guias de onda ópticos podem ser fabricados utilizando técnicas análogas às utilizadas na fabricação dos circuitos integrados semicondutores. Um dispositivo interferométrico integrado 200 pode ser encapsulado em qualquer material adequado e disposto dentro de qualquer compartimento adequado (não mostrado na figura 2). Por exemplo, o dispositivo interferométrico 200 pode ser fechado em uma proteção metálica fina de aço inoxidável, ou um metal não ferroso como alumínio ou bronze. Uma proteção não metálica pode também ser utilizada. O invólucro pode ser preenchido com um fluido de equilíbrio de pressão, que pode servir para resistir à tensão hidrostática associada com uma implementação em um ambiente marinho, e, em particular, uma implementação sem um alojamento atmosférico.

[0028] O guia de onda óptico 202 pode incluir um segmento 206

que pode ser configurado para receber um sinal óptico de um sistema de monitoramento de reservatório, conforme descrito mais abaixo. Em pelo menos algumas modalidades, o segmento 206 pode ser acoplado a uma fibra óptica em um cabo do sensor em um sistema de monitoramento de reservatório, também ainda descrito abaixo. De modo similar, o guia de onda óptico 204 pode incluir um segmento 208 que pode ser configurado para emitir um sinal interferométrico óptico, compreendendo uma superposição coerente dos sinais ópticos em guias de onda ópticos 202, 204, ao sistema de monitoramento de reservatório. Será observado por técnicos no assunto, que o segmento 206 ou o segmento 208 pode servir como uma porta de entrada ou, inversamente, uma porta de saída.

[0029] Elementos refletores 210 e 212 podem estar dispostos na extremidade do guia de onda óptico 202 e do guia de onda óptico 204, respectivamente e configurados para refletir sinais ópticos no respectivo guia de onda óptico 202, 204. Um ou ambos os elementos refletores 210 e 212 podem compreender, em algumas modalidades, um espelho giratório de Faraday (FRM). Um FRM gira a polarização de um sinal que colide por noventa graus e especularmente reflete o sinal óptico. Um FRM pode ser utilizado, por exemplo, para corrigir a distorção da polarização que pode ser introduzida pelos guias de onda ópticos. Entretanto, em outras modalidades, um espelho, um conjugador de fase, uma grade refletora, ou um material refletor, (por exemplo, alumínio, ouro ou prata depositado na extremidade do guia de onda óptico) pode ser utilizado em qualquer um ou em ambos os elementos refletores 210, 212.

[0030] O dispositivo interferométrico 200 também inclui o elemento de acoplamento 214. O elemento de acoplamento 214 pode ser configurado para acoplar um sinal óptico em um primeiro guia de onda óptico a um segundo guia de onda óptico, e, inversamente, acoplar um

sinal no segundo guia de onda óptico ao primeiro guia de onda óptico. Os guias de onda ópticos 202, 204 podem ser integrados no elemento de acoplamento 214. Assim, o elemento de acoplamento 214 pode compreender o segmento 216 do guia de onda óptico 202 e o segmento 218 do guia de onda óptico 204 dispostos substancialmente paralelos e adjacentes entre si na forma espaçada. Por exemplo, o elemento de acoplamento 214 pode também estar disposto no substrato. No elemento de acoplamento 214, uma fração do sinal óptico dentro de cada um dos guias de onda ópticos 202, 204 pode ser acoplada a outra. Por exemplo, um campo óptico associado com um sinal óptico dentro do segmento 216 do guia de onda óptico 202 pode estender-se para fora de uma superfície externa do guia de onda óptico 202. Um campo óptico fora de um guia de onda óptico pode exponencialmente decair em uma amplitude com aumento da distância da superfície externa do guia de onda óptico. Assim, por escolha da distância entre os segmentos 216, 218 dos guias de onda ópticos 202 e 204, uma fração desejada da energia óptica pode ser acoplada do guia de onda óptico 202 ao guia de onda óptico 204. Do mesmo modo, um sinal óptico no guia de onda óptico 204 pode ser acoplado ao guia de onda óptico 202 em forma similar. Conforme descrito mais abaixo, o elemento de acoplamento 214, por meio do acoplamento dos sinais ópticos entre os guias de onda ópticos 202, 204, pode servir como uma função análoga a um divisor de feixes em um interferômetro óptico livre de espaço como um interferômetro Michelson. Nas modalidades nas quais os guias de onda ópticos 202 e 204 são fabricados em um substrato, conforme descrito acima, o elemento de acoplamento 214 pode ser de modo similar fabricado.

[0031] O dispositivo interferométrico 200 pode também incluir um elemento de atraso 220 acoplado ao guia de onda óptico 202. O elemento de atraso 220 está, na modalidade exemplar na figura 2, dis-

posto dentro do braço 207 do dispositivo interferométrico 220. Entretanto, em modalidades alternativas, o elemento de atraso 220 pode ser incluído no braço 209. Os braços 207 e 209 compreendem os segmentos dos guias de onda ópticos 202 e 204, respectivamente dispostos entre o elemento de acoplamento 214 e os respectivos elementos refletores 210 e 212. O elemento de atraso 220 pode estar disposto em um substrato similar a e ao longo com os guias de onda ópticos 202, 204. Em algumas modalidades, o elemento de atraso 220 pode fornecer um atraso (conforme medido em unidades de fase),  $\Phi$ , de noventa graus ( $\pi/2$  radianos) e, em outras modalidades, um atraso,  $\Phi$ , de quarenta e cinco graus ( $\pi/4$  radianos) pode ser fornecido. Ainda em outras modalidades, o elemento de atraso 220 pode fornecer um atraso pré-selecionado na faixa de 0 a  $2\pi$ . O elemento de atraso 220 pode ser integrado no dispositivo interferométrico 200 para fornecer a compensação por dispersão, por exemplo. Ainda, em pelo menos algumas modalidades nas quais os dados são modulados por ângulo nos sinais ópticos, um atraso pode ser fornecido pelo elemento de atraso 220 com base em uma profundidade de modulação da modulação de ângulo. De outra forma declarada, em tais modalidades, se a profundidade de modulação do ângulo for medida pelo ângulo da fase  $\theta_p$ , o elemento de atraso 220 pode ter  $\Phi = \theta_p$ . Em pelo menos algumas modalidades, o elemento de atraso 220 pode compreender um segmento de um guia de onda óptico 202, 204 tendo uma diferença no índice refrator com relação ao índice refrator dos guias de onda ópticos 202, 204 fora do elemento de atraso 220. Ainda, em pelo menos algumas outras modalidades do dispositivo interferométrico 200, o elemento de atraso 220 pode ser omitido.

[0032] Voltando agora à figura 3, mostrado aqui está um diagrama em blocos funcional de um dispositivo interferométrico 300 de acordo com outra modalidade da revelação. O dispositivo interferométrico 300

pode também direcionar os efeitos ambientais encontrados em conjunto com a medição dos sinais ópticos em um sistema de monitoramento de reservatório. O dispositivo interferométrico 300 pode incluir dois guias de onda ópticos 302 e 304. Similar aos guias de onda ópticos 202 e 204, em pelo menos algumas modalidades, os guias de onda ópticos 302 e 304 podem compreender um polímero óptico disposto em um substrato, como silício, vidro, plástico, cerâmica ou material de placa de circuito impresso (não mostrado na figura 3). Em outras modalidades, os guias de onda ópticos podem compreender silício/dióxido de silício ( $\text{Si/SiO}_2$ ) (core/revestimento) disposto em um substrato de silício. Tais guias de onda ópticos podem ser fabricados utilizando técnicas análogas às utilizadas na fabricação de circuitos integrados semicondutores. Um dispositivo interferométrico 300 pode ser encapsulado em qualquer material adequado e disposto dentro de qualquer compartimento adequado, que pode ser preenchido com um fluido de equilíbrio de pressão, cujo fluido de equilíbrio de pressão pode servir para resistir à tensão hidrostática associada com uma implementação em um ambiente marinho sem um alojamento atmosférico, conforme descrito acima.

[0033] O guia de onda óptico 302 pode incluir um segmento 306 que pode ser configurado para receber um sinal óptico de um sistema de monitoramento de reservatório, conforme descrito acima em conjunto com o dispositivo interferométrico 200. O segmento 306 pode ser configurado para acoplar a uma fibra óptica acoplada ao sistema de monitoramento de reservatório, Por exemplo, o segmento 306 compreendendo uma porta de entrada do dispositivo interferométrico 200. O guia de onda óptico 304 pode incluir um segmento 308 que pode ser configurado para emitir um sinal óptico a um sistema de monitoramento de reservatório. O segmento 308 pode também ser configurado para acoplar em uma fibra óptica acoplada ao sistema de monitoramento de

reservatório, por exemplo, o segmento 308 compreendendo uma porta de saída do dispositivo interferométrico 200. Seria apreciado por técnicos no assunto e, conforme descrito mais abaixo, que qualquer segmento 306 ou segmento 308 pode servir como uma a porta de entrada e vice-versa.

[0034] Elementos refletores 310 e 312 podem estar dispostos em uma extremidade do guia de onda óptico 302 e guia de onda óptico 304, respectivamente. Um ou ambos os elementos refletores 310 e 312 podem compreender, em algumas modalidades, um espelho giratório de Faraday. Um FRM gira a polarização de um sinal óptico que colide por noventa graus e, então, especularmente reflete o sinal óptico. Tal modalidade pode ser utilizada, por exemplo, para corrigir a distorção da polarização que pode ser introduzida pelos guias de onda ópticos. Entretanto, em outras modalidades, um espelho, um conjugador de fase, uma grade refletora ou um material refletor depositado na extremidade do guia de onda óptico pode ser utilizado em um ou ambos dos elementos refletores 310, 312.

[0035] O dispositivo interferométrico 300 pode incluir, ainda, o elemento de acoplamento 314. O elemento de acoplamento 314 pode compreender o segmento 316 do guia de onda óptico 302 e o segmento 318 do guia de onda óptico 304 dispostos substancialmente paralelos e adjacentes entre si na forma espaçada. No elemento de acoplamento 314, uma fração do sinal óptico dentro de cada um dos guias de onda ópticos 302, 304 pode ser acoplada a outra. Por exemplo, um campo óptico associado com um sinal óptico dentro do segmento 316 do guia de onda óptico 302 pode estender-se fora de uma superfície externa do guia de onda óptico 302. Um campo óptico fora de um guia de onda óptico pode exponencialmente decair uma amplitude com o aumento da distância da superfície externa do guia de onda óptico. Assim, por escolha da distância entre os segmentos 316, 318 dos guias

de onda ópticos 302, 304 uma fração desejada de energia óptica pode ser acoplada do guia de onda óptico 302 ao guia de onda óptico 304. Do mesmo modo, um sinal óptico no guia de onda óptico 304 pode acoplar ao guia de onda óptico 302.

[0036] Similar ao elemento de acoplamento 214, o elemento de acoplamento 314 pode servir em uma função análoga a um divisor de feixes em um interferômetro óptico livre de espaço. Nas modalidades nas quais os guias de onda ópticos 302 e 304 são fabricados em um substrato, conforme descrito acima, o elemento de acoplamento 314 pode ser de modo similar fabricado e o dispositivo interferométrico 300 pode compreender um dispositivo monolítico.

[0037] No dispositivo interferométrico 300, os braços 305 e 307, compreendendo segmentos dos guias de onda ópticos 302 e 304 dispostos entre o elemento de acoplamento 314 e os respectivos elementos refletores 310 e 312 podem ter diferentes comprimentos, conforme ilustrado. De outra forma declarada, o comprimento dos braços 305 e 307 pode, em pelo menos algumas modalidades, ser desigual. Assim, na operação, o dispositivo interferométrico 300 pode ser um dispositivo desequilibrado tendo um atraso com base no desequilíbrio dos braços 305 e 307. Assim, um atraso pode ser incorporado no dispositivo interferométrico 300 com base no desequilíbrio, ou diferença de comprimento, entre os braços 305 e 307. Por exemplo, se o desequilíbrio for denotado  $\Delta L$  e o número de onda de um sinal óptico ao longo dos guias de onda ópticos 302, 304 denotado por  $k_g$ , então, o atraso (em unidades de fase),  $\Phi$ , pode ser dado por:

$$\Phi = k_g \bullet \Delta L.$$

(1)

[0038] Conforme mostrado, o dispositivo interferométrico 300 não inclui um elemento de atraso. Entretanto, um elemento de atraso pode ser incorporado em pelo menos algumas modalidades do dispositivo

interferométrico 300 na mesma forma que o elemento de atraso 220 está incluído no dispositivo interferométrico 200.

[0039] Agora com relação à figura 4 que mostra um fluxograma de um método 400 de acordo com pelo menos algumas modalidades que empregam um dispositivo interferométrico 200 como na figura 2 ou um dispositivo interferométrico 300 como na figura 3. O método 400 começa no bloco 402. A energia óptica de uma fonte óptica é acoplada a um cabo do sensor implantado próximo a um fundo marinho sob um corpo de água, bloco 404. No bloco 406, uma parte da energia óptica no cabo do sensor é acoplada a um primeiro guia de onda óptico de um dispositivo interferométrico implantado sob o corpo de água. O dispositivo interferométrico pode ser implantado em uma ausência de um alojamento atmosférico. Um sinal interferométrico óptico de um segundo segmento do dispositivo interferométrico é detectado no bloco 408. O método 400 termina no bloco 410.

[0040] Para ainda observar o acoplamento de um dispositivo interferométrico a um cabo do sensor conforme implantado em um sistema de monitoramento de reservatório em um ambiente marinho, agora com referência à figura 5. A figura 5 mostra um diagrama em blocos da parte 500 de um sistema de monitoramento de reservatório. Uma fonte óptica 502 gera a energia óptica em um ou mais comprimentos de onda ópticos. A fonte óptica 502 pode incluir, por exemplo, lasers no estado sólido, lasers semicondutores ou lasers gasosos. A energia óptica gerada pela fonte óptica 502 pode ser acoplada em partes de uma fibra óptica 504A das quais podem estar dispostas, por exemplo, dentro do cabo umbilical 118 e outras partes dentro de um dos cabos do sensor 114 ou 116 no exemplo do sistema de monitoramento de reservatório 104 (figura 1). A energia óptica transportada dentro da fibra óptica 504 é dividida ou separada em um divisor 506A. O divisor 506A pode ser qualquer dispositivo adequado para dividir a energia óptica na fibra

óptica 504. Por exemplo, o divisor 506A pode ser um dispositivo refletor parcialmente transmissor, parcialmente refletor, ou um divisor de feixes prismático. Uma parte da energia óptica é acoplada aos dispositivos do sensor 508, que pode corresponder aos dispositivos do sensor 118 ou 120 no sistema de monitoramento de reservatório 104 exemplar, em que os dispositivos do sensor 508 modulam os dados na energia óptica, conforme previamente descrito. Oito dispositivos do sensor 508 são mostrados na parte 500 para simplificar. Na prática, centenas ou milhares de dispositivos do sensor 508 podem ser utilizados. A energia óptica modulada pode, então, ser multiplexada na fibra óptica 510 e comunicada a um detector (não mostrado na figura 5) que pode ser implantado no navio a bordo 112 e os dados demodulados para análise pelo sistema de computador 110, por exemplo. A parte remanescente da energia óptica em fibra óptica 504A é acoplada à fibra óptica 504B.

[0041] No divisor 506B, a energia óptica é dividida novamente e uma parte acoplada ao dispositivo interferométrico 512A. O dispositivo interferométrico 512A pode ser, um dispositivo interferométrico 200, um dispositivo interferométrico 300, ou um dispositivo interferométrico 600 descrito abaixo em conjunto com a figura 6. Por exemplo, a parte de energia óptica acoplado ao dispositivo interferométrico 512A pode ser acoplada ao segmento 206 do dispositivo interferométrico 200, ou segmento 306 do dispositivo interferométrico 300. Um sinal interferométrico óptico emitido pelo dispositivo interferométrico 512A pode ser multiplexado em fibra óptica 514 e comunicado a um detector (não mostrado na figura 5) que pode ser implantado, por exemplo, em navio a bordo 112 e os dados demodulados para análise pelo sistema de computador 110. Análise exemplar do sinal interferométrico óptico pode incluir análise de ruído óptico que pode ser superimposto nos sinais transportadores ópticos compreendendo a energia óptica. Uma parte

do ruído óptico pode surgir na própria fonte óptica e ruído adicional pode ser gerado durante a transmissão da energia óptica da fonte óptica aos dispositivos do sensor. Ainda, os sinais transportadores ópticos podem compreender uma pluralidade de comprimentos de onda condutores ópticos, como, por exemplo, em uma modalidade de multiplexação de divisão de comprimento de onda (WDM). Efeitos não lineares, por exemplo, dentro das fibras ópticas, podem introduzir diafonia entre os comprimentos de onda condutores ópticos, ou canais. A análise dos sinais interferométricos ópticos pode ser utilizada para medir tais interações entre os canais.

[0042] A parte remanescente da energia óptica que é transmitida através do divisor óptico 506B pode ser ainda acoplada por meio da fibra óptica 504C a outros dispositivos do sensor 508 por meio de divisores adicionais 506C, 506D, 506E, 506F e fibras ópticas 504D, 504E, 504F. Partes da energia óptica podem ser amostradas pelos dispositivos interferométricos 512B, por meio do divisor 506E e dispositivo interferométrico 512C por meio do divisor 506F. Os sinais interferométricos ópticos emitidos pelo dispositivo interferométrico 512B podem ser multiplexados na fibra óptica 514 e comunicados a um sistema de processamento de dados para análise, conforme previamente descrito. Assim, por exemplo, o ruído óptico introduzido por componentes da parte 500 entre o dispositivo interferométrico 512A e o dispositivo interferométrico 512B pode ser medido. Em pelo menos algumas modalidades, a energia óptica pode ser filtrada de modo que um único comprimento de onda condutor óptico seja acoplado em um dispositivo interferométrico. Por exemplo, a energia óptica acoplada fora do divisor 506E por meio da fibra óptica 504F pode ser filtrada no filtro óptico 516, de modo que uma parte da energia óptica em um único canal,  $\lambda_1$ , seja acoplada ao dispositivo interferométrico 512C. Um sinal interferométrico óptico emitido pelo dispositivo interferométrico 512C pode

também ser multiplexado na fibra óptica 514. A análise do sinal interferométrico óptico emitido do dispositivo interferométrico 512C pode ser utilizada, por exemplo, para medir o componente de ruído da energia óptica dentro de um passa banda do filtro óptico 516 sobre o comprimento de onda  $\lambda_1$ . Por exemplo, um filtro óptico de filme fino pode ser utilizado em pelo menos algumas modalidades de um filtro óptico 516, entretanto, qualquer filtro óptico adequado pode ser utilizado. Embora três dispositivos interferométricos 512A-512C sejam mostrados na parte 500, em uma prática dezenas ou centenas de dispositivos interferométricos pode ser utilizada.

[0043] Agora com referência à figura 6 que mostra um dispositivo interferométrico 600 de acordo com pelo menos algumas modalidades. O dispositivo interferométrico 600 pode incluir dois guias de onda ópticos 602 e 604. Similar aos guias de onda ópticos 202, 204, em pelo menos algumas modalidades, os guias de onda ópticos 602 e 604 podem compreender um polímero óptico disposto em um substrato como silício, vidro, plástico, cerâmica ou material de placa de circuito impresso. Em outras modalidades, os guias de onda ópticos podem compreender silício/dióxido de silício (Si/SiO<sub>2</sub>) (núcleo/revestimento) disposto em um substrato de silício. Tais guias de onda ópticos podem ser fabricadas utilizando as técnicas análogas àquelas utilizadas na fabricação de circuitos integrados semicondutores. Um dispositivo interferométrico 600 pode ser encapsulado em qualquer material adequado e disposto dentro de qualquer compartimento adequado, que pode ser preenchido com um fluido de equilíbrio de pressão, que pode servir para resistir a tensão hidrostática associada com uma implementação em um ambiente marinho sem um alojamento atmosférico.

[0044] O guia de onda óptico 602 pode incluir um segmento 606 que pode ser configurado para receber um sinal óptico de um sistema de monitoramento de reservatório, conforme descrito acima, em con-

junto com a parte exemplar 500. Alternativamente, o segmento 607 pode ser configurado para receber um sinal óptico de um sistema de monitoramento de reservatório. O guia de onda óptico 604 pode incluir um segmento 608 que pode ser configurado para emitir um sinal óptico interferométrico a um sistema de monitoramento de reservatório, também descrito acima na parte exemplar 500. Alternativamente, o sinal interferométrico pode ser emitido no segmento 609. Seria apreciado por técnicos no assunto, que o segmento 606 ou o segmento 607 pode servir como uma porta de entrada com qualquer segmento 608 ou 609 como uma porta de saída. Inversamente, qualquer segmento 608 ou 609 pode servir como uma porta de entrada com qualquer segmento 606 ou segmento 607 como uma porta de saída.

[0045] O dispositivo interferométrico 600 pode incluir, ainda, elementos de acoplamento 614A e 614B. O elemento de acoplamento 614B pode estar disposto em uma distância ao longo de uma direção de propagação dos sinais ópticos em guias de onda ópticos 602, 604 de elemento de acoplamento 614A. Os guias de onda ópticos 602, 604 podem ser integrados nos elementos de acoplamento 614A, 614B. Assim, o elemento de acoplamento 614A pode compreender o segmento 616A do guia de onda óptico 602 e o segmento 618A do guia de onda óptico 604 disposto substancialmente paralelo e adjacente entre si na forma espaçada. No elemento de acoplamento 614A, uma fração do sinal óptico dentro do segmento 606 pode ser acoplada ao guia de onda óptico 604, conforme descrito acima. Do mesmo modo, o elemento de acoplamento 614B pode compreender segmentos 616B e 618B dos guias de onda ópticos 602 e 604, respectivamente. O sinal óptico no guia de onda óptico 604, que pode compreender a fração de energia óptica acoplada do segmento 606 e a energia óptica remanescente que propaga no guia de onda óptico 602, pode ser acoplado no elemento de acoplamento 614B. Um sinal interferométrico óptico então

gerado e compreendendo uma superposição coerente dos sinais ópticos nos guias de onda ópticos 604, 604 pode ser emitido no segmento 608. Em forma de exemplo, o sinal interferométrico óptico pode ser emitido a um sistema de monitoramento de reservatório, conforme descrito acima, em conjunto com a figura 5. Assim, o elemento de acoplamento 614A e 614B pode servir em uma função análoga a dois separadores de feixe em um interferômetro óptico livre de espaço como um interferômetro Mach-Zehnder. Nas modalidades nas quais os guias de onda ópticos 602 e 604 estão dispostos em um substrato, conforme descrito acima, os elementos de acoplamento 614A, 614B podem ser de modo similar fabricados. Conforme previamente descrito, uma extremidade do primeiro guia de onda óptico, por exemplo, uma extremidade do segmento 606, em um primeiro elemento de acoplamento pode compreender uma porta de entrada do dispositivo interferométrico 600 e uma extremidade do primeiro guia de onda óptico e um segundo guia de onda óptico em um segundo elemento de acoplamento, por exemplo, extremidades dos segmentos 608, 609, podem compreender uma porta de saída do dispositivo. Ainda, conforme previamente descrito, a configuração inversa por ser empregada.

[0046] O dispositivo interferométrico 600 pode também incluir um elemento de atraso 620 acoplado a, ou, alternativamente, disposto dentro do guia de onda óptico 602. O elemento de atraso 620 pode estar disposto em um substrato similar para e ao longo com os guias de onda ópticos 602, 604. Em algumas modalidades, o elemento de atraso 620 pode fornecer um atraso (conforme medido em unidades de fase),  $\Phi$ , de noventa graus ( $\pi/2$  radianos), e, em outras modalidades, um atraso,  $\Phi$ , de quarenta e cinco graus ( $\pi/4$  radianos) pode ser fornecido pelo elemento de atraso 620. O elemento de atraso 620 pode ser incluído no dispositivo interferométrico 600 para fornecer a compensação por dispersão, por exemplo. Em pelo menos algumas

modalidades na quais os dados são modulados por fase nos sinais ópticos, um atraso pode ser fornecido pelo elemento de atraso 620 com base em uma profundidade de modulação da modulação do ângulo. De outra forma declarada, em tais modalidades, se a profundidade de modulação do ângulo for medida pelo ângulo da fase  $\theta_p$ , então elemento de atraso 600 pode ser  $\Phi = \theta_p$ . Embora o elemento de atraso 620 seja, em forma de exemplo, acoplado a, ou disposto dentro do guia de onda óptico 602, o elemento de atraso 620 poderia, em outras modalidades, ser acoplado a ou disposto dentro do guia de onda óptico 604. Ainda, em pelo menos algumas outras modalidades do dispositivo interferométrico 600, o elemento de atraso 620 pode ser omitido.

[0047] As referências a “uma (número) modalidade”, “uma (artigo) modalidade”, “uma modalidade particular” e “algumas modalidades” indicam que um elemento ou característica particular incluída em pelo menos uma modalidade da invenção. Embora as frases “em uma modalidade”, “uma modalidade”, “uma modalidade particular” e “algumas modalidades” possam aparecer em vários locais, estes não necessariamente se referem à mesma modalidade.

[0048] A discussão acima destina-se a ser ilustrativa e várias modalidades da presente invenção. Muitas variações e modificações se tornarão evidentes aos técnicos no assunto uma vez que a revelação acima é completamente apreciada. Por exemplo, cada cabo do sensor 114, 116 pode incluir uma multiplicidade de fibras ópticas, cada uma sendo acoplada a uma fonte óptica e uma pluralidade de dispositivos do sensor 118, 120. Destina-se que as seguintes reivindicações podem ser interpretadas para abranger todas as variações e modificações.

## REIVINDICAÇÕES

1. Sistema compreendendo:

um dispositivo, **caracterizado** pelo fato de que compreende:

um substrato;

um primeiro guia de onda óptico disposto no substrato;

um segundo guia de onda óptico disposto no substrato;

um elemento de acoplamento disposto no substrato, o elemento de acoplamento configurado para:

acoplar um sinal óptico no primeiro guia de onda óptico ao segundo guia de onda óptico; e

acoplar um sinal óptico no segundo guia de onda óptico ao primeiro guia de onda óptico;

em que pelo menos um do sinal óptico no primeiro guia de ondas óptico ou o sinal óptico no segundo guia de ondas óptico inclui dados modulados em fase com uma profundidade de modulação em ângulo; e um elemento de atraso disposto no substrato, o elemento de atraso disposto dentro de um do primeiro guia de ondas óptico ou o segundo guia de ondas óptico, em que o elemento de atraso fornece um atraso com um ângulo de fase igual à profundidade de modulação do ângulo dos dados modulados.

2. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que os primeiro e segundo guias de onda ópticos compreendem um polímero óptico.

3. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que:

o primeiro guia de onda óptico compreende um segmento configurado para acoplar a uma primeira fibra óptica, o dito segmento compreendendo uma porta de entrada do dispositivo interferométrico; e

o segundo guia de onda óptico compreende um segmento configurado para acoplar a uma segunda fibra óptica, o dito segmento compreendendo uma porta de saída do dispositivo interferométrico.

4. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que o substrato é selecionado do grupo que consiste em:

material de placa de circuito impresso;

plástico;

cerâmica;

vidro; e

silício.

5. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que o dispositivo interferométrico inclui ainda:

um primeiro elemento refletivo disposto na extremidade do primeiro guia de ondas óptico configurado para refletir sinais ópticos no primeiro guia de ondas óptico; e

um segundo elemento refletivo disposto na extremidade do segundo guia de ondas óptico configurado para refletir sinais no segundo guia de ondas óptico.

6. Sistema, de acordo com a reivindicação 5, **caracterizado** pelo fato de que cada um dos primeiro e segundo elementos refletivos são selecionados do grupo que consiste em:

um espelho;

um espelho giratório de Faraday;

uma grade refletora;

um conjugador de fase; e

um material refletor depositado na extremidade de um respectivo do primeiro guia de onda óptico e do segundo guia de onda óptico.

7. Sistema, de acordo com a reivindicação 5, **caracterizado**

pelo fato de que:

o primeiro guia de ondas óptico compreende um segmento configurado para acoplar a uma primeira fibra óptica, compreendendo o referido segmento uma porta de entrada do dispositivo interferométrico; e

o segundo guia de ondas óptico compreende um segmento configurado para acoplar a uma segunda fibra óptica, compreendendo o referido segmento uma porta de saída do dispositivo interferométrico;

em que o dispositivo interferométrico ainda compreende:

um primeiro braço, o primeiro braço compreendendo uma parte do primeiro guia de onda óptico disposto entre o elemento de acoplamento e o primeiro elemento refletor; e

um segundo braço, o segundo braço compreendendo uma parte do segundo guia de onda óptico disposto entre o elemento de acoplamento e o segundo elemento refletor; e

em que um comprimento do primeiro braço e um comprimento do segundo braço são desiguais.

8 Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que o dispositivo interferométrico é configurado para implantação em um corpo de água na ausência de um compartimento atmosférico.

9. Sistema compreendendo:

um dispositivo interferométrico, **caracterizado** pelo fato de que compreende:

um substrato;

um primeiro guia de ondas óptico disposto no substrato;

um segundo guia de ondas óptico disposto no substrato;

um elemento de acoplamento disposto no substrato, o

elemento de acoplamento configurado para:

acoplar um sinal óptico no primeiro guia de ondas óptico ao segundo guia de ondas óptico; e

acoplar um sinal óptico no segundo guia de ondas óptico ao primeiro guia de ondas óptico; e

um elemento de atraso disposto no substrato, o elemento de atraso disposto dentro de um do primeiro guia de ondas óptico ou o segundo guia de ondas óptico;

um primeiro elemento refletivo disposto na extremidade do primeiro guia de ondas óptico configurado para refletir sinais ópticos no primeiro guia de ondas óptico; e

um segundo elemento refletivo disposto na extremidade do segundo guia de ondas óptico configurado para refletir sinais no segundo guia de ondas óptico;

em que o primeiro guia de ondas óptico inclui uma porta disposta em frente ao primeiro elemento refletivo e configurada para receber energia óptica de uma fonte óptica;

em que o segundo guia de ondas óptico inclui uma porta disposta em frente ao segundo elemento refletivo e configurada para acoplar a um cabo sensor implantado próximo ao fundo do mar sob um corpo de água.

10. Sistema, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado** pelo fato de que cada um dos primeiro e segundo elementos refletivos são selecionados a partir do grupo que consiste em:

um espelho;

um espelho rotativo Faraday;

uma grade reflexiva;

um conjugador de fase; e

um material refletivo depositado no final de um dos respectivos primeiros guias de onda ópticos e o segundo guia de ondas óptico.

11. Sistema, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado** pelo fato de que:

o primeiro guia de ondas óptico compreende um segmento configurado para acoplar a uma primeira fibra óptica, compreendendo o referido segmento uma porta de entrada do dispositivo interferométrico; e

o segundo guia de ondas óptico compreende um segmento configurado para acoplar a uma segunda fibra óptica, compreendendo o referido segmento uma porta de saída do dispositivo interferométrico;

em que o dispositivo interferométrico compreende ainda:

um primeiro braço, o primeiro braço compreendendo uma porção do primeiro guia de ondas óptico disposto entre o elemento de acoplamento e o primeiro elemento refletivo; e

um segundo braço, o segundo braço compreendendo uma porção do segundo guia de ondas óptico disposto entre o elemento de acoplamento e o segundo elemento refletivo; e

em que um comprimento do primeiro braço e um comprimento do segundo braço são desiguais.

12. Sistema, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado** pelo fato de que o primeiro e o segundo guias de onda ópticos compreendem um polímero óptico.

13. Sistema, de acordo com a reivindicação 9, **caracterizado** pelo fato de que:

o primeiro guia de ondas óptico compreende um segmento configurado para acoplar a uma primeira fibra óptica, compreendendo o referido segmento uma porta de entrada do dispositivo interferométrico; e

o segundo guia de ondas óptico compreende um segmento configurado para acoplar a uma segunda fibra óptica, compreendendo o referido segmento uma porta de saída do dispositivo interferométrico.

14. Sistema compreendendo:

um dispositivo interferométrico, **caracterizado** pelo fato de que compreende:

um substrato;

um primeiro guia de ondas óptico disposto no substrato;

um segundo guia de ondas óptico disposto no substrato;

um elemento de acoplamento disposto no substrato, o elemento de acoplamento configurado para:

acoplar um sinal óptico no primeiro guia de ondas óptico ao segundo guia de ondas óptico; e

acoplar um sinal óptico no segundo guia de ondas óptico ao primeiro guia de ondas óptico; e

um elemento de atraso disposto no substrato, o elemento de atraso disposto dentro de um do primeiro guia de ondas óptico ou o segundo guia de ondas óptico;

um cabo sensor para implantação sob um corpo d'água; e

uma fonte óptica gerando uma energia óptica no cabo do sensor;

em que o primeiro guia de ondas óptico do dispositivo interferométrico está configurado para acoplar uma porção da energia óptica no cabo do sensor em um segmento do primeiro guia de ondas óptico; e

em que o dispositivo interferométrico está configurado para gerar um sinal interferométrico óptico dentro do segundo guia de ondas óptico.

15. Sistema, de acordo com a reivindicação 14, **caracterizado** pelo fato de que compreende ainda um detector configurado para detectar o sinal interferométrico óptico e desmodular dados nele.

16. Sistema, de acordo com a reivindicação 14, **caracterizado** pelo fato de que o detector está localizado em uma superfície do corpo de água.

17. Sistema, de acordo com a reivindicação 14, **caracterizado** pelo fato de que o dispositivo interferométrico inclui ainda:

um primeiro elemento refletivo disposto na extremidade do primeiro guia de ondas óptico configurado para refletir sinais ópticos no primeiro guia de ondas óptico; e

um segundo elemento refletivo disposto na extremidade do segundo guia de ondas óptico configurado para refletir sinais no segundo guia de ondas óptico.

18. Sistema, de acordo com a reivindicação 17, **caracterizado** pelo fato de que cada um dos primeiro e segundo elementos refletivos são selecionados a partir do grupo que consiste em:

um espelho;

um espelho rotativo Faraday;

uma grade reflexiva;

um conjugador de fase; e

um material refletivo depositado no final de um dos respectivos primeiros guias de onda ópticos

e o segundo guia de ondas óptico.

19. Sistema, de acordo com a reivindicação 17, **caracterizado** pelo fato de que:

o primeiro guia de ondas óptico compreende um segmento

configurado para acoplar a uma primeira fibra óptica, compreendendo o referido segmento uma porta de entrada do dispositivo interferométrico; e

o segundo guia de ondas óptico compreende um segmento configurado para acoplar a uma segunda fibra óptica, compreendendo o referido segmento uma porta de saída do dispositivo interferométrico;

em que o dispositivo interferométrico compreende ainda:

um primeiro braço, o primeiro braço compreendendo uma porção do primeiro guia de ondas óptico disposto entre o elemento de acoplamento e o primeiro elemento refletivo; e

um segundo braço, o segundo braço compreendendo uma porção do segundo guia de ondas óptico disposto entre o elemento de acoplamento e o segundo elemento refletivo; e

em que um comprimento do primeiro braço e um comprimento do segundo braço são desiguais.

20. Sistema, de acordo com a reivindicação 14, **caracterizado** pelo fato de que o dispositivo interferométrico é configurado para implantação em um corpo de água na ausência de um compartimento atmosférico.

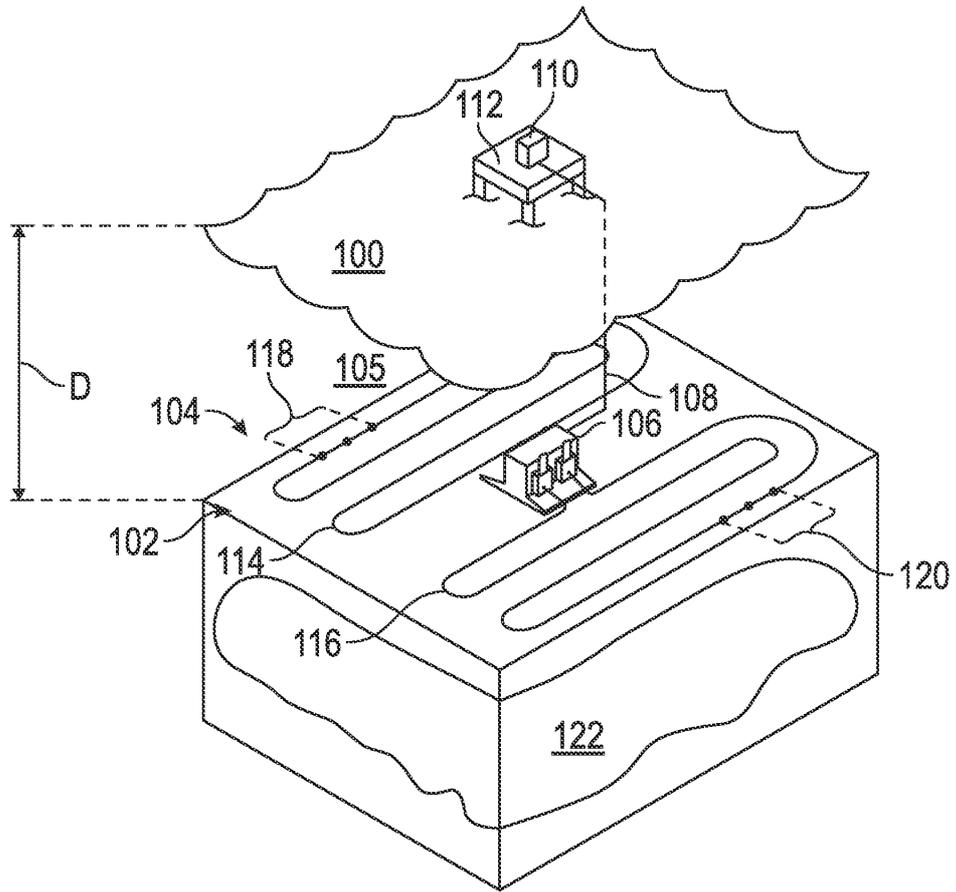


FIG. 1

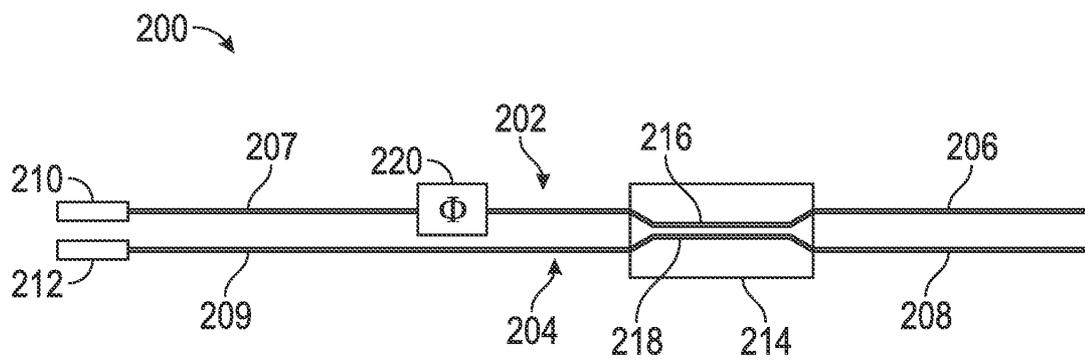


FIG. 2

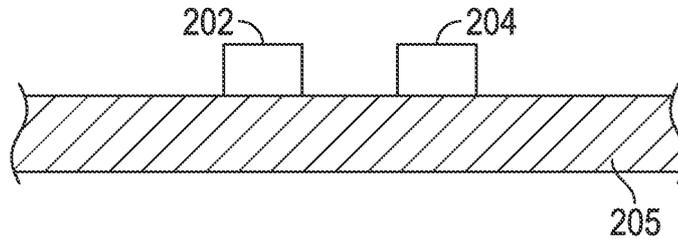


FIG. 2A

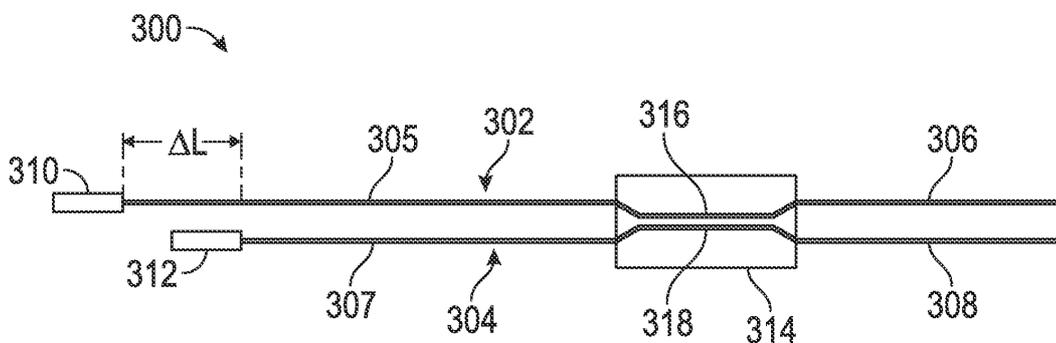


FIG. 3

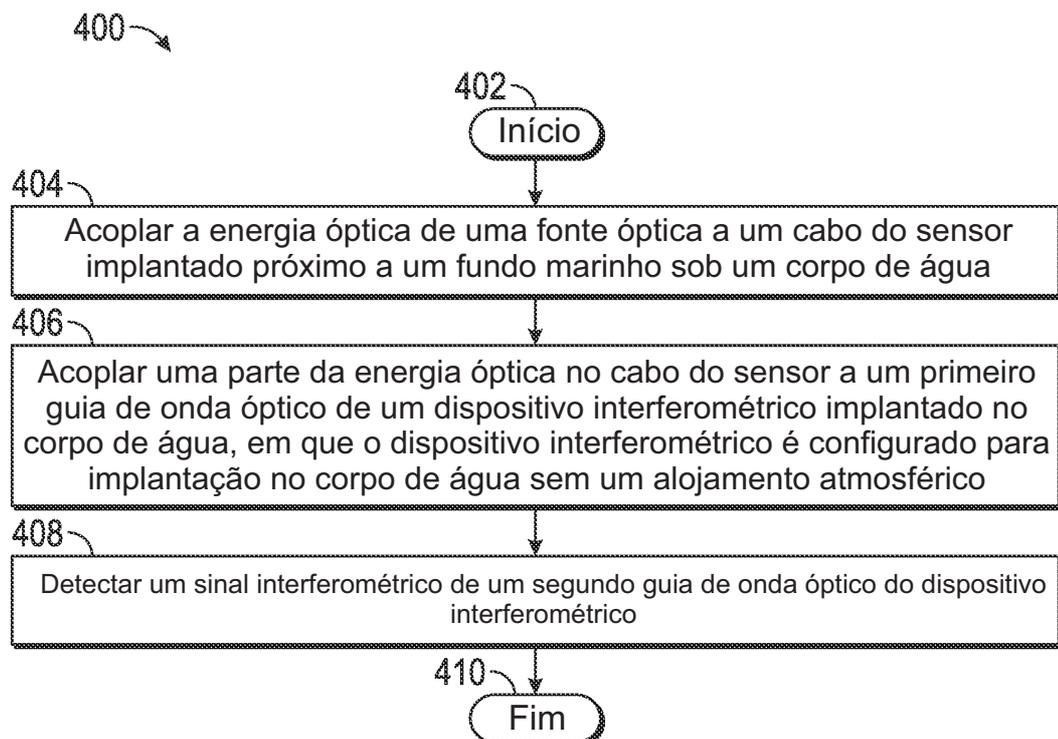


FIG. 4

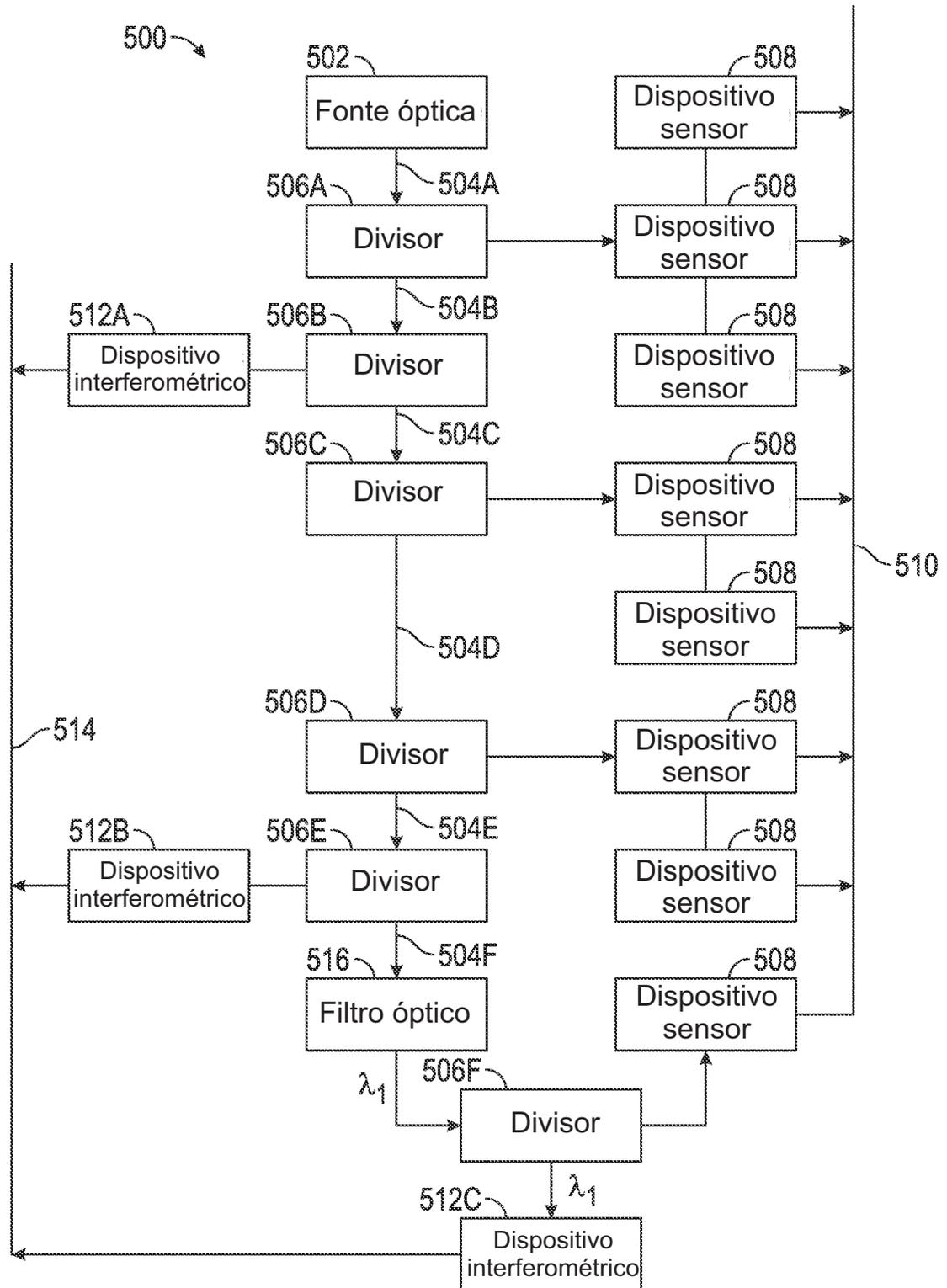


FIG. 5

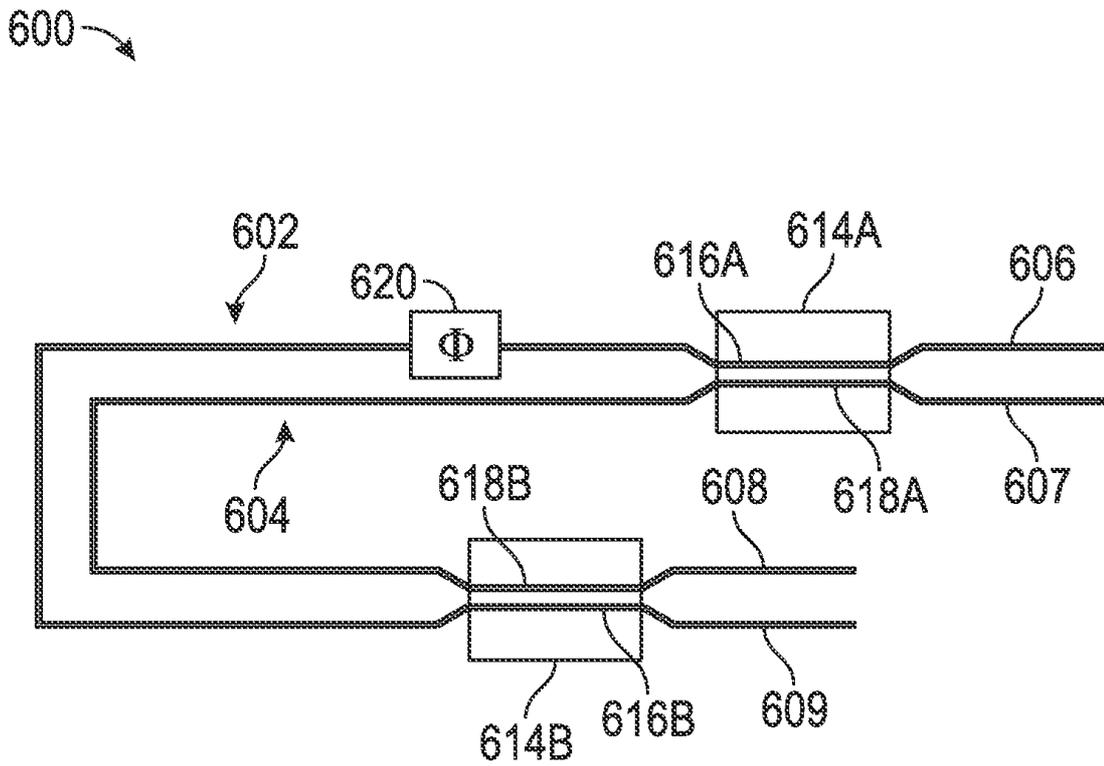


FIG. 6