



(12) PATENT

(19) NO

(11) 340953

(13) B1

NORGE

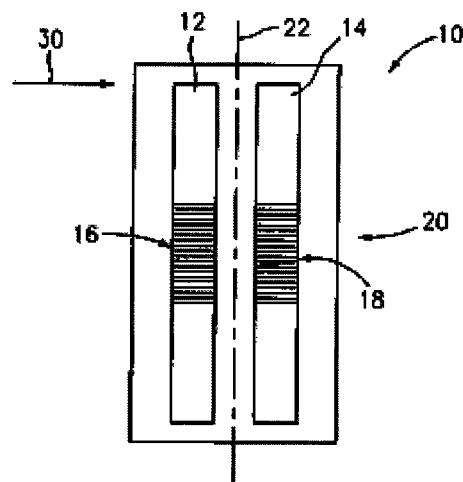
(51) Int Cl.
G01D 3/036 (2006.01)
G01D 5/353 (2006.01)
G01L 9/00 (2006.01)

Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20085040	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	2007.05.18 PCT/US2007/69207
(22)	Inng.dag	2008.12.03	(85)	Videreføringsdag	2008.12.03
(24)	Løpedag	2007.05.18	(30)	Prioritet	2006.06.07, US, 11/448,475
(41)	Alm.tilgj	2008.12.22			
(45)	Meddelt	2017.07.24			
(73)	Innehaver	Baker Hughes Inc, P.O. Box 4740, US-TX77019-2118 HOUSTON, USA			
(72)	Oppfinner	Brooks Childers, 1425 Red Hawk Run, US-VA24073 CHRISTIANBURG, USA Daniel S Homa, 2500 Foxhunt Lane Northwest, US-VA24060 BLACKSBURG, USA John Guarniere, 2019 Cypress Bend Lane, US-TX77478 SUGAR LAND, USA			
(74)	Fullmektig	Bryn Aarflot AS, Postboks 449 Sentrum, 0104 OSLO, Norge			

(54)	Benevnelse	Flerkjerne fiberoptisk sensor
(56)	Anførte publikasjoner	US 2006/013523 A1 US 6160944 A WO 00/37914 A WO 00/25103 A1
(57)	Sammendrag	

Det beskrives en flerkjerne fiberoptisk sensor, hvilken sensor inkluderer en optisk fiber som har minst to kjerner, hvor kjernene har sammenstilte målepartier, f.eks. interferometere i fiberen eller Bragg-gitterpartier. I en eksemplifiserende utførelse forsynes fiberen med sammenstilte målepartier under fibrering for å eliminere driftsfaktorer og for å tilveiebringe temperaturkorrigerende parameter-måleevner.



BAKGRUNN

[0001] Fiberoptiske sensorer, særlig de som benyttes i strenge omgivelser, så som i nedihullsomgivelser, er i stor grad plaget av uønskede parameterforandringer (eksempelvis temperaturforandringer for en trykksensor) og driftskilder. Således, der hvor man forsøker å måle temperatur, har det vært påkrevet med ytterligere sensorer for å forsøke å kompensere for slike uønskede parameterforandringer og drift av målingen. For eksempel, kan det anvendes to trykksensorer nær hverandre med forskjellige sensorkarakteristika (dvs forskjellige responser på den uønskede parameter), og det kan gjøres beregninger i et forsøk på å eliminere effekten av parameteren på målingen (i realiteten i et forsøk på å isolere parameteren av interesse, eksempelvis temperatureffekter ved punktet av interesse).

[0002] Selv om dette kan synes å være en god løsning, må betingelser ved de to sensorer være eksakte for nøyaktig å eliminere påvirkningene fra den uønskede parameter. Dessuten kan behovet for å sette opp og kjøre flere sensorer ved hvert målepunkt av interesse være kjedsommelig og kostbart.

[0003] Det som er nødvendig innen teknikken er en enkel løsning med lav kostnad for eliminering av uønskede parameterforandringer og driftskilder i fiberoptiske sensorer. US 2006/0013523 A1 vedrører en fiberoptisk sensor for posisjon og form og en metode som er knyttet dertil. US 6,160,944 omhandler en optisk bølgeleder-enhet. WO 00/37914 A2 angir en trykksensor med Bragg-gitter. WO 00/25103 A1 beskriver fremgangsmåter og apparater for mekanisk forsterkning av følsomheten av fiberoptiske sensorer lastet på tvers.

SAMMENFATNING

[0004] De ovenfor beskrevne og andre problemer og mangler ved den kjente teknikk overvinnes og avhjelpes ved hjelp av en fiberoptisk sensor for generering av en temperatur- og driftskorrigert omgivelsesparametermåling og en fremgangsmåte for fabrikking av en slik fiberoptisk sensor. Hovedtrekkene av den foreliggende oppfinnelse fremgår av de selvstendige patentkrav. Ytterligere trekk ved oppfinnelsen er angitt i de uselvstendige krav. Den foreliggende beskrevne flerkjerne fiberoptiske sensor inkluderer en optisk fiber som har minst to kjerner, hvor kjernene har sammenstilte målepartier, f.eks. interferometre i fiberen, Bragg-gitterpartier eller tilfeldige

fotoetsede strukturer. I en eksemplifiserende utførelse skrives målepartiene inn i de flere kjerner under fibrering. I en annen eksemplifiserende utførelse skrives målepartiene inn i kjernene under trekkeprosessen og før påføring av det beskyttende belegg.

5 **[0005]** I en eksemplifiserende utførelse er fiberen anordnet slik at en kraft vil virke på flerkjernefiberen, hvilket påvirker de sammenstilte målepartier på en forskjellig måte. En slik kraft kan være en påført kraft som respons på en omgivelseforandring (eksempelvis en membran som aktuerer mot fiberen som respons på en trykkforandring), eller en slik kraft kan være direkte svarende til omgivelseforandringen
10 (eksempelvis formforandringen til fiberen som et resultat av formforandringen av en nedihulls borestreng eller fôringsrør). I en annen eksemplifiserende utførelse forårsaker et slikt arrangement at et gitter kommer i trykk og et annet kommer i strekk.

[0006] I andre eksemplifiserende utførelser er forskjellige partier av flerkjernefiberen designet til å reagere forskjellig på trykk, og lysledende kjerner i de sammenstilte
15 målepartier er konfigurert til å avføle trykk. I en eksemplifiserende utførelse inneholder fiberen en kerne med lavere modul nær en første lysledende kerne og en kerne med høyere modul nær en annen lysledende kerne. Tilveiebringelsen av flerkjernefiberen og den forskjellige reaksjon på trykket for de fiberpartier som inneholder kjernene med henholdsvis den lavere og høyere modul, ved målepartiene i de
20 flere kjerner, eliminerer temperaturforandringer eller driftskilder som ellers kan påvirke målingene.

[0007] I andre eksemplifiserende utførelser virker et referansetrykk på en flerekjernefiber i tillegg til et trykk i en brønnboring (eller annen applikasjon). I en slik utførelse inneholder flerkjernefiberen minst to lysledende kjerner som er anordnet i forskjellig
25 romlig relasjon i forhold til en hul kerne. Den hule kerne virker som en port som forårsaker forskjellige trykkfremkalte reaksjoner med hensyn til de lysledende kjerner.

[0008] I en annen eksemplifiserende utførelse er en flerkjernefiber anordnet på en overflate eller i en innretning av interesse, slik at forandringen i form av overflaten eller innretningen vil virke på flerkjernefiberen, hvilket påvirker de sammenstilte
30 målepartier på forskjellig måte. I en annen eksemplifiserende utførelse benyttes optisk domene-reflektometri med flerkjernefiberen for å tilveiebringe distribuerte målinger og formavføling ved forskjellige punkter av interesse.

[0009] De ovenfor omtalte og andre trekk og fordeler ved den foreliggende beskrevne flerkjerne optiske fibersensor vil innses å forstås av de som har fagkunnskap innen teknikken fra den følgende detaljerte beskrivelse og tegningene.

5 **KORT BESKRIVELSE AV TEGNINGENE**

[0010] Det vises nå til tegningene, hvor like elementer er nummerert likt på de flere figurer:

[0011] Fig. 1 er et tverrsnittsgrunnriss av en eksemplifiserende flerkjernefiber som benytter Bragg-gitre ved en samme avstand langs fiberen;

10 [0012] Fig. 2 er et tverrsnittsgrunnriss av en eksemplifiserende flerkjernefiber som er aktuert av en skyvestav og belg;

[0013] Fig. 3 er et tverrsnittsgrunnriss av en eksemplifiserende flerkjernefiber som er aktuert av en skyvestav og membran;

15 [0014] Fig. 4 er et tverrsnittsgrunnriss av en eksemplifiserende flerkjernefiber som er asymmetrisk aktuert av en skyvestav og membran;

[0015] Fig. 5 er et tverrsnittsgrunnriss av en eksemplifiserende flerkjernefiber som er aktuert av brønntrykk;

[0016] Fig. 6 er et tverrsnittsriss av en eksemplifiserende flerkjernefiber som har kjerner med forskjellig modul og lysledende kjerner;

20 [0017] Fig. 7 er et tverrsnittsriss av en eksemplifiserende flerkjernefiber som er aktuert av brønntrykk og referansetrykk; og

[0018] Fig. 8 er et tverrsnittsriss av en eksemplifiserende flerkjernefiber som har en hul, port-kjerne og lysledende kjerner.

25 **DETALJERT BESKRIVELSE AV EKSEMPLIFISERENDE UTFØRELSE**

[0019] Det vil nå i detalj vises til eksemplifiserende utførelser, idet eksempler på disse er illustrert på de ledsagende tegninger.

[0020] Det vises nå til fig. 1, hvor et tverrsnittsgrunnriss av en eksemplifiserende flerkjernefiber er illustrert generelt med 10. En første kjerne 12 og en annen kjerne 14 inkluderer Bragg-gitterpartier 16, 18 ved et samme måleparti, vist generelt med 20, i forhold til en lengdeakse, illustrert med linje 22, i fiberen 10.

[0021] Gitterpartiene 16 og 18 kan være skrevet i kjernene på en hvilken som helst måte og på ethvert tidspunkt. Gitterpartiene 16 og 18 er imidlertid, i en eksemplifi-

serende utførelse, fotoetset i kjernene 12 og 14 under fibrering. I en bestemt eksemplifiserende utførelser blir gitterpartiene skrevet under trekkeprosessen og før påføringen av et beskyttende belegg. I en slik eksemplifiserende utførelse er de sammenstilte sensorer særlig ufølsomme overfor driftsfaktorer, siden alle sammenstilte gitterpartier vil drifte sammen.

[0022] Videre, selv om den ovenstående eksemplifiserende utførelse beskriver bruk av Bragg-gitre, skal det innses at andre strukturer som er nyttige for avlesing av slike fibre kan brukes, så som interferometre i fiberen, Rayleigh-spredning og tilfeldige fotoetsede strukturer, blant andre, så lenge sammenstilte målepartier er anordnet i fiberen.

[0023] Det vises nå til fig. 2, hvor et tverrsnittsgrunnriss av en eksemplifiserende flerkjernefiber 10 er illustrert i et system som er designet til å aktuere fiberen ved hjelp av en skyvestav 24 og belg 26. Skyvestaven 24 strekker seg fra belgen normalt mot flerkjernefiberen, som er anordnet i et mediaisolert hus 28. Belgene 26 er responsiv på en trykkforandring for å forårsake at skyvestaven 24 bøyer fiberen 10.

[0024] Med henvisning tilbake til fig. 1, tas det ad notam at skyvestaven 24 og belgen 26 er en eksemplifiserende mekanisme for å tilveiebringe den trykkfremkalte kraft på fiberen som er illustrert med pilen 30. En slik kraft 30 bøyer fiberen 10, hvilket setter det eksemplifiserende gitter 16 i strekk og det eksemplifiserende gitter 18 i trykk.

Forskjellige målinger i kjernen 12 og 14 kan da utføres for å avføle trykkforandringen. Det legges merke til at ikke bare er driftsfaktorer eliminert på grunn av den sammenstilte karakter av kjernemålepartiene (eksempelvis gitre skrevet under fibrering i flere kjerner i en flerkjernefiber), men temperatureffekter er også eliminert på grunn av karakteren av flerkjernesystemet.

[0025] Det vises nå til fig. 3, hvor et tverrsnittsgrunnriss av en eksemplifiserende flerkjernefiber 10 er illustrert idet den aktueres av en skyvestav 24 og membran 32. På andre måter enn bruken av membranen 32, istedenfor belgen 26, er operasjon av det sammenstilte sensorsystem identisk til det som er beskrevet ovenfor med hensyn på fig. 2. Det bør tas ad notam at man her tenker seg enhver mekanisme som er virksom til å overføre en kraft som er representativ for trykk mot fiberen, idet utførelsene med belgen og skyvestaven og membranen og skyvestaven kun er eksemplifiserende.

[0026] Det vises nå til fig. 4, hvor et tverrsnittsgrunnriss av en eksemplifiserende flerkjernefiber 10 er illustrert idet den blir asymmetrisk aktuert av en skyvestav 24 og membran. Det bør innses at enhver type av aktuering på fiberen kan gjennomføres, så lenge kjernemålepartiene (20 på fig. 1) av kjernene 12 og 14 blir forskjellig på-

[0027] Det vises nå til fig. 5, hvor et tverrsnittsgrunnriss av en eksemplifiserende flerkjernefiber 34 er illustrert idet den blir aktuert av brønntrykk, illustrert generelt med 36, som virker på flerkjernefiberen 34 inne i det mediaisolerte hus 28. Det vises nå til fig. 6, idet flerkjernefiberen 34 i denne eksemplifiserende utførelse inkluderer lys-

ledende kjerner 12 og 14, så vel som en kerne 38 med lav modul og en kerne 40 med høy modul. Når brønntrykket 36 virker på fiberen 34, reagerer kjernen 38 med lav modul og kjernen 40 med høy modul forskjellig, hvilket forårsaker at fiberen 34 bøyes. Denne bøyingen påvirker følgelig de lysledende kjerner 12 og 14 forskjellig (merk at kjernene 12 og 14 bør være anordnet inne i fiberen slik at de bøyes forskjellig i forhold til effektene av reaksjonene til kjernene med lav og høy modul på trykk), og trykk kan beregnes uavhengig av temperatureffekter og driftsfaktorer. Dessuten, selv om tilveiebringelse av kjerner med lav modul og høy modul har blitt beskrevet med hensyn på denne eksemplifiserende utførelse, er enhver fiber-konstruksjon som forårsaker at fiberen deformeres under trykk tenkelig, inkludert f.eks. en enkelt kerne (anordnet i det minste delvis langs kjernemålepartiet) som har en forskjellig modul enn de lysledende kjerner og har en forskjellig avstand med hensyn på kjernene 12 og 14. Videre, uttrykkene "lav modul" og "høy modul" er kun betegnende for en forskjell i modul for de to kjerner, og er ikke ment nødvendigvis å innebære en stor forskjell i modulegenskaper mellom de to kjerner 38 og 40.

[0028] Det vises nå til fig. 7, hvor et tverrsnittsgrunnriss av en eksemplifiserende flerkjernefiber 42 er illustrert idet den blir aktuert av brønn- og referansetrykk, illustrert generelt med 36, henholdsvis 44. Et mediaisolert hus 46 er anordnet over fiberen 42 og inkluderer en trykktetning 48, som separerer sonene med brønntrykk og referansetrykk. Det vises nå til fig. 8, idet fiberen 34 inkluderer lysledende kjerner 12 og 14, som har forskjellig avstand fra en hul kerne 50. Den hule kerne 50 strekker seg fra brønntrykksonen 36 til referansetrykksonen 38, og forårsaker deformasjon av fiberen 34 på grunn av forskjellene i trykk mellom referansetrykksonen og brønntrykksonen. På grunn av den forskjellige avstand til kjernene 12 og 14 i forhold til den hule kerne

50, vil bøyningen påvirke de lysledende kjerner 12 og 14 forskjellig, og forandringen i trykk i brønntrykksonen 36 kan måles.

[0029] Det vises nå til fig. 9, hvor en eksemplifiserende flerkjernefiber 20 er anordnet på en overflate 52 eller i en innretning av interesse, slik at forandring i form av overflaten 52 eller innretningen vil virke på flerkjernefiberen 20, hvilket påvirker de sammenstilte målepartier på en forskjellig måte. Mer spesifikt kan fiberen 20 være anordnet slik at en forandring i form av overflaten 52 på forskjellig måte påvirker de sammenstilte målepartier 16 og 18 (f.eks. plassering av målepartiet 16 i strekk og plassering av målepartiet 18 i trykk).

[0030] I en annen eksemplifiserende utførelse benyttes optisk domene-reflektometri med flerkjernefiberen for å tilveiebringe distribuerte målinger, f.eks. for formavføling, i forskjellige punkter av interesse, som det er beskrevet i US-patentsøknad med serienr. 11/180,389 (US 2006/0013523 A1) innlevert 13. juli 2005.

[0031] I en annen eksemplifiserende utførelse er en slik flerkjerne-optisk fiber festet til punktet av interesse, eksempelvis en borestreng eller et fôringsrør, for å overvåke absolutt form og formforandring. Slike arrangementer kan likeledes bruke optisk frekvensdomene-reflektometri og, eksempelvis enten Bragg-gitter- eller Rayleigh-spredningsbaserte, sensorer for å overvåke fiberens form. Når den brukes på en brønnboring, kan den brukes til å trekke slutninger om brønnboringens form over hele brønnboringen eller over isolerte regioner med målinger som er ufølsomme overfor temperatur og andre driftsmekanismer (som med de sensorarrangementer som er beskrevet ovenfor). Et slikt arrangement ville også være mindre sensitivt overfor tøyninger på grunn av kablingsprosessen. Siden alle kjerner også ville bli påvirket på en lignende måte. Bruken av slik flerkjernefiber eliminerer også behovet for å tolke fôringsrørtøyninger, og er derfor mindre tilbøyelig til feil i målinger og mekaniske modeller av fôringsrøret. Dette eliminerer også behovet for å forstå innfestingen til fôringsrøret med hensyn på overføring av tøyninger.

[0032] Det vil være åpenbart for de som har fagkunnskap innen teknikken at, selv om eksemplifiserende utførelser har blitt vist og beskrevet, forskjellige modifikasjoner og variasjoner kan gjøres ved de utførelser som her offentliggjøres uten å avvike fra oppfinnelsens idé og omfang definert av patentkravene.

P A T E N T K R A V

1. Fiberoptisk sensor for generering av en temperatur- og driftskorrigert omgivelsesparametermåling, omfattende:

5 en optisk fiber (10) omfattende en flerhet av lysledende kjerner (12, 14), hvor minst to av de flere lysledende kjerner (12, 14) inkluderer sammenstilte optiske målepartier (16, 18), og k a r a k t e r i s e r t v e d at den videre omfatter:

en mekanisme (24, 26; 24, 32) konfigurert til å påføre en kraft (30) på den optiske fiberen (10), representativ for en første avfølt omgivelsesparameter som er
10 forbundet med den fiberoptiske sensor, hvilken kraft gjør at den optiske fiber bøyes som respons på den første avfølte omgivelsesparameter,

hvor de minst to lysavfølende kjerner (12, 14) er posisjonert inne i den optiske fiberen (10), slik at de lysavfølende kjerner (12, 14) blir forskjellig påvirket av en bøyning av den optiske fiberen (10), og

15 hvor bøyningen setter et sammenstilt optisk måleparti (16) i én av de lysledende kjerner (12) i strekk og et annet sammenstilt optisk måleparti (18) i én annen av de lysledende kjerner (14) i trykk, slik at utspørring av de sammenstilte optiske målepartier (16, 18) med lys genererer en temperatur- og driftskorrigert omgivelsesparametermåling.

20 2. Sensor som angitt i krav 1,

k a r a k t e r i s e r t v e d a t den optiske fiber (10) er konfigurert til å bøyes som respons på en forandring i omgivelsesbetinget trykk.

25 3. Sensor som angitt i krav 1 eller 2,

k a r a k t e r i s e r t v e d a t den optiske fiber (10) er posisjonert på en innretningsoverflate eller inne i en innretning.

4. Sensor som angitt i krav 3,

30 k a r a k t e r i s e r t v e d a t den optiske fiber (10) er konfigurert til å bøyes som respons på en forandring i form av innretningen eller innretnings overflate.

5. Sensor som angitt i krav 4,

karakterisert ved at den optiske fiber (10) er konfigurert til å måle posisjon og form av innretningen eller innretningens overflate med en bredbånds-referansereflektor som er posisjonert i en funksjonsdyktig relasjon til de sammenstilte optiske målepartier (16, 18), hvor optiske veilengder er etablert for de sammenstilte optiske målepartier (16, 18), og med et frekvensdomene-reflektometer posisjonert i en funksjonsdyktig relasjon til de optiske fiberkjerne (12, 14).

6. Sensor som angitt i krav 5,

karakterisert ved at den optiske fiber (10) er festet til borestrengen eller fôringsrøret i en brønnboring og er konfigurert til å overvåke absolutt form og formforandring.

7. Sensor som angitt i krav 6,

karakterisert ved at de sammenstilte optiske målepartier (16, 18) omfatter sammenstilte Bragg-gitre.

8. Sensor som angitt i ethvert av krav 1-6,

karakterisert ved at de sammenstilte optiske målepartier (16, 18) omfatter interferometre i fiberen eller tilfeldige fotoetsede strukturer.

9. Fremgangsmåte for fabrikking av en fiberoptisk sensor for generering av en temperatur- og driftskorrigert omgivelsesparametermåling, omfattende:

skrivning av et første måleparti (16) i en første optisk kjerne (12) for en optisk fiber (10) ved en første posisjon langs lengden av den første optiske kjerne (12); og

skrivning av et andre måleparti (18) i en andre optisk kjerne (14) for den optiske fiber (10) på det samme sted i forhold til det første måleparti (16);

karakterisert ved:

skrivning av nevnte første og andre målepartier (16, 18) under fibrering av den optiske fiber (10) for den fiberoptiske sensor; og

tilveiebringelse av en mekanisme (24, 26; 24, 32) konfigurert til å påføre en kraft (30) på den optiske fiberen (10), representativ for en omgivelsesparameter som er forbundet med den fiberoptiske sensor,

hvor bøyning av den optiske fiber (10) som respons på kraften, setter det første måleparti (16) i strekk og det andre måleparti (18) i trykk, og en forskjellig måling mellom de første og andre optiske kjerner (12, 14) genererer en temperatur- og drifts-korrigert måling.

5

10. Fremgangsmåte som angitt i krav 9,
karakterisert ved at de første og andre målepartier (16, 18) skrives under trekking av den optiske fiber (10).

10

11. Fremgangsmåte som angitt i krav 10,
karakterisert ved at de første og andre målepartier (16, 18) skrives før påføring av et beskyttende parti rundt de første og andre optiske kjerner (12, 14).

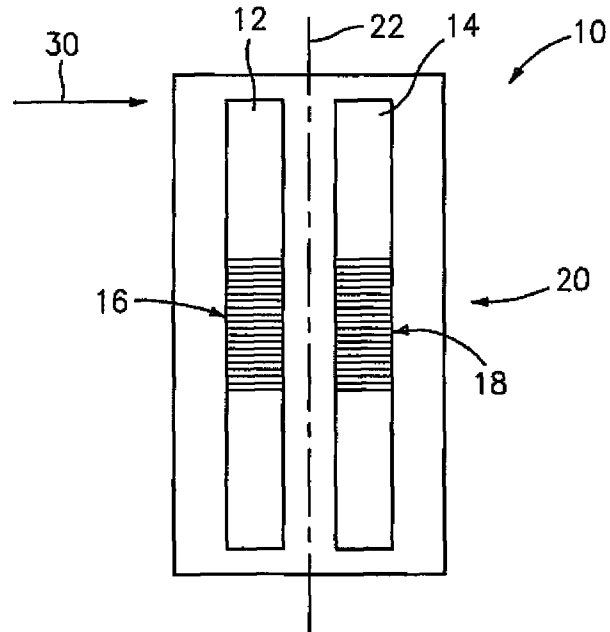
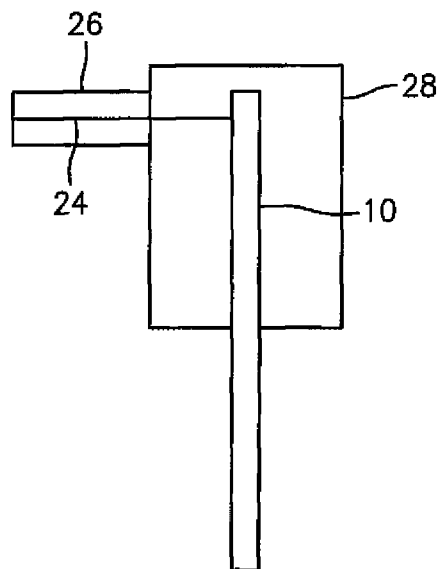
15

12. Fremgangsmåte som angitt i ethvert av krav 9-11,
karakterisert ved at minst ett av de første og andre målepartier (16, 18) omfatter et Bragg-gitter, et interferometer i fiberen eller en tilfeldig fotoetset struktur.

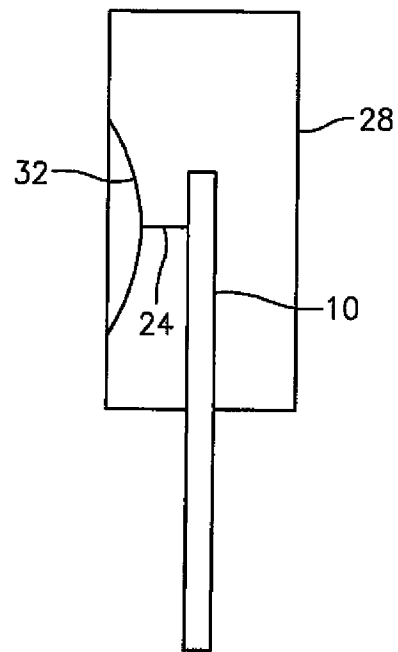
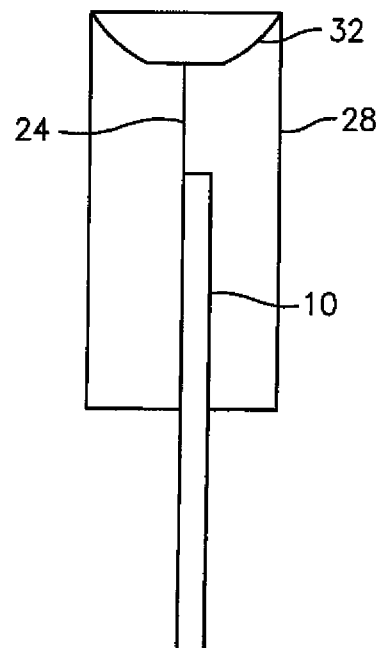
20

13. Fremgangsmåte som angitt i krav 12,
karakterisert ved at de første og andre målepartier (16, 18) omfatter Bragg-gitre, interferometre i fiberen eller tilfeldig fotoetsede strukturer.

1/3

*FIG. 1**FIG. 2*

2/3

*FIG. 3**FIG. 4*

3/3

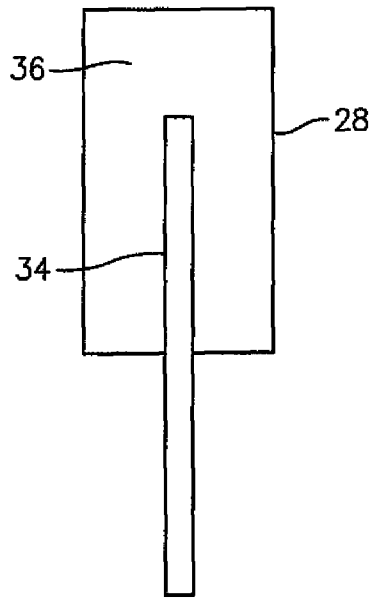


FIG. 5

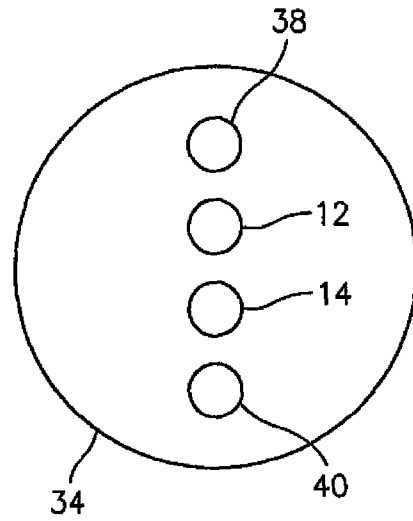


FIG. 6

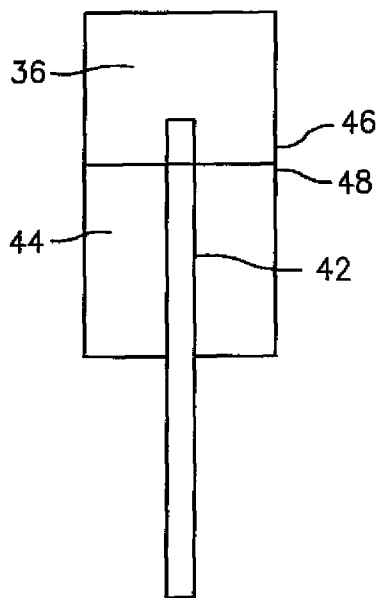


FIG. 7

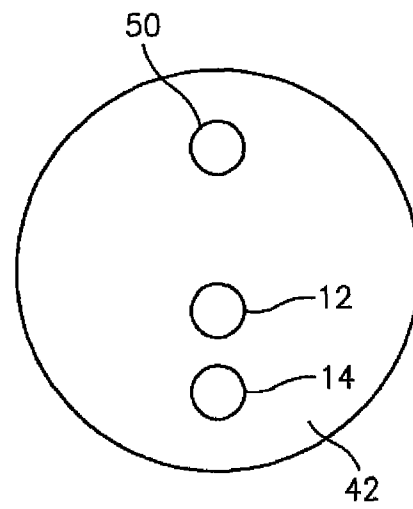


FIG. 8