



(12) SØKNAD

(19) NO

(21) 20130884

(13) A1

NORGE

(51) Int Cl.

H04R 23/00 (2006.01)

H04R 9/08 (2006.01)

G01B 11/14 (2006.01)

G02B 5/18 (2006.01)

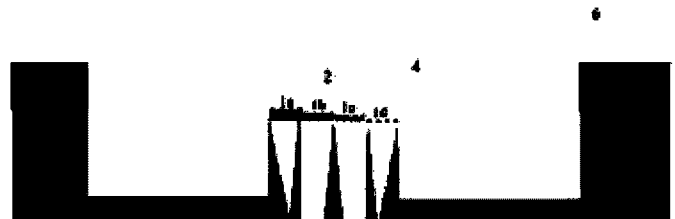
Patentstyret

(21)	Søknadsnr	20130884	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	
(22)	Inng.dag	2013.06.26	(85)	Videreføringsdag	
(24)	Løpedag	2013.06.26	(30)	Prioritet	2013.06.21, NO, 20130866
(41)	Alm.tilgj	2014.12.22			
(73)	Innehaver	Sinvent AS, Postboks 4764 Sluppen, 7465 TRONDHEIM, Norge			
(72)	Oppfinner	Ib-Rune Johansen, Svensenga 174, 0882 OSLO, Norge Thor Bakke, Lysaker Brygge 14, 1366 LYSAKER, Norge Matthieu Lacolle, Myrveien 22 A, 1397 NESØYA, Norge Ole-Hermann Bjør, Gjellum terrasse 9 A, 1389 HEGGEDAL, Norge			
(74)	Fullmektig	Protector Intellectual Property Consultants AS, Oscarsgate 20, 0352 OSLO, Norge			

(54) Benevnelse **Sensorelement med optisk forskyvning**

(57) Sammendrag

Den foreliggende oppfinnelsen angår en optisk forskyvningssensor omfattende en første i det minste delvis reflekterende flate og en andre flate med et diffraktivt mønster, der flatene er frembrakt på elementer som har en variabel avstand mellom seg, der hvert flatepar definerer et hulrom mellom seg. Sensoren omfatter også minst én lyskilde som overfører lys i minst ett valgt bølgelengdeområde inn i hulrommene og minst én lysdetektor som mottar lys fra hulrommene, hvor de diffraktive mønstrene er tilpasset til å lede lys mot minst én detektor anbrakt i en kjent posisjon i forhold til de diffraktive flatene.



Sensorelement med optisk forskyvning

Denne oppfinnelsen angår et sensorelement med optisk forskyvning. Et eksempel kan være en trykksensor eller en mikrofon, omfattende to essensielt plane flater atskilt av et hulrom
 5 definert av et avstandsstykke, det avstanden mellom flatene avhenger av trykkfluktuasjoner i omgivelsene i forhold til trykket i hulrommet. Endringen i avstand mellom flatene kan skyldes avbøyning av én eller begge flater eller ved sammentrykning av avstandsstykket.

Inntil nylig har forskyvningssensorer slik som mikrofoner vart basert på kapasitive strukturer
 10 og impedansmålinger. Dette har et antall ulemper forbundet med følsomhet, høyspentforspenning, isolasjon mellom lag, innretting og plassering av membran i forhold til bakelektrode, høye krav til forforsterkere og ikke-lineær respons, som alle bidrar til kostbare og kompliserte løsninger.

15 I US2005/0018541 beskrives en forbedring hvor en diffraktiv struktur med modulert diffraksjonseffektivitet brukes til å frembringe et optisk sensorelement til måling av forskyvning, trykk, akustiske signaler eller lignende uten at det kreves komplisert optikk. Dette oppnås ved å bruke et gitter med fokuseringsegenskaper for å fjerne eller redusere behovet for komplisert optikk. Dette blir forklart nedenfor på grunnlag av fresneloneplater.
 20 En fresneloneplate frembringer som kjent en flat linse basert på diffraksjon. Denne strukturen er vist i figur 1. Den foreslåtte løsningen har imidlertid et dynamisk område begrenset til omtrent $\lambda/8$ som vist i figur 2, som viser signalet generert ved å bevege den reflekterende flaten. Signalet er periodisk (bare den første perioden vises i figuren). De to første arbeidspunktene er vist ved de to sirklene ved $\lambda/8$ og $3\lambda/8$. Pilene viser sensorens
 25 dynamiske område, hvor det genererte signalet er nesten lineært med posisjonen til den reflekterende flaten.

Det finnes andre typer posisjonssensorer som frembringer sinus- eller kvasisinussignaler der det dynamiske området økes ved å kombinere flere signaler uta av fase. Artikler av Brown,
 30 David A., m fl. "A symmetric 3x3 coupler based demodulator for fiber optic interferometric sensors." *SPIE, Fiber Optic and Laser Sensors IX* Vol. 1584 (1991) [1] og Reid, Greg J., og David A. Brown. "Multiplex architecture for 3 x 3 coupler based fiber optic sensors." *SPIE, Distributed and Multiplexed Fiber Optic Sensors RI, Boston* (1993) [2] drøfter eksempler på fiberbaserte posisjonssensorer der det brukes 3 signaler med 0, 120° og 240° faseforskyvning

til å finne posisjonen med et dynamisk område på flere bølgelengder. Det er også mulig å bruke to signaler i kvadratur (90° faseforskyvning) som beskrevet i Stowe, D., og Tsung-Yuan Hsu. "Demodulation of interferometric sensors using a fiber-optic passive quadrature demodulator." *Lightwave Technology, Journal of* 1.3 (1983): 519-523 [3].

5

Dette er også nevnt i "Optical interferometric sensor" US 2009/0268211, særlig i sammendraget og avsnittene [0013], [0016] og [0020].

Et annet eksempel på kjent teknikk er vist i US7355720, som ser ut til å være begrenset til fabry-perot-resonatorer, hvor mengden av reflektert lys måles. Lys som ikke reflekteres blir overført. Dette prinsippet er forskjellig fra gitteravlesningen i vår oppfinnelse, hvor en endring i hulromslengde modulerer diffraksjonseffektiviteten til gitteret – dvs hvor mye lys som rettes inn mot henholdsvis orden 0 (speilrefleksjon) og orden $-1/+1$. Hvis membranen er fullstendig reflekterende overføres intet lys. Bruk av en fullstendig reflekterende membran i en fabry-perot-enhet ville ikke virke: Det ville ikke være noen modulering av det reflekterte lyset med endringer av hulromslengden.

10
15

Patentet US7355720 nevner imidlertid bruk av flere signaler til å utvide det dynamiske området, men disse signalene genereres først av forskjellige bølgelengder. Deretter avsnitt [0020] bruk av en stabel med flere optiske hulrom som kan avføres med flere signaler, også tilsynelatende ved bruk av flere lyskilder.

20

Det er således et formål med den foreliggende oppfinnelsen å frembringe en relativt enkel og rimelig forskyvningssensor med utvidet dynamisk område. Formålene med oppfinnelsen oppfylles ved å bruke en sensor ifølge oppfinnelsen beskrevet i de vedføyde patentkravene.

25

Signalbehandling er beskrevet er basert op de ovennevnte publikasjonene, spesielt US2005/0018541.

Denne foreliggende oppfinnelsen kan beskrives som en forlengelse av bruk av flere diffraktive elementer. De diffraktive elementene kan plasseres under den samme reflekterende flaten, og deres høyder i forhold til den reflekterende flaten må til enhver tid avvike med en høydeforskyvning som er nær konstant (denne nær konstante høydeforskyvningen er forskjellig for

30

hvert diffraktive element). Refleksjonen eller/og diffraksjonen fra de forskjellige diffraktive elementene blir rettet mot forskjellige detektorer og genererer signaler med faseforskjeller.

Prinsippet kan dermed beskrives som følger

- 5 Hvis hvert diffraktive element retter lys inn på sin egen detektor, gis et elektrisk signal

$$A_n \approx I \left(1 + \cos \left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta + \varphi_n \right) \right),$$

med en faseforskyvning

10

$$\varphi_n = \frac{4\pi}{\lambda} d_n,$$

- og hvor I er belysningsintensiteten, λ er belysningens bølgelengde, d_i høyden (avstanden) til hver diffraktive element i forhold til den reflekterende flaten når den er i sin hvilestilling, og δ er forskyvningen av den reflekterende flaten fra sin hvilestilling. Ytterligere informasjon om hvordan signalet A genereres finnes i US2005/0018541.
- 15

- Prinsippet er altså å leses flere signaler med forskjellig faseforskyvning, og vi kaller denne fremgangsmåten flerfaseavlesing. I spesielle tilfeller kan fremgangsmåten kalles differensiell avlesing (når det tas differansen mellom to signaler, typisk med en 180° faseforskjell) eller kvadratisk avlesing (når det brukes to signaler med en 90° faseforskjell).
- 20

- Prinsippet med å kombinere flere sinusoidale signaler ute av fase for å foreta en måling – og mer eller mindre direkte utvide det dynamiske området – har allerede blitt implementert i flere innretninger, for eksempel i optiske posisjonssensorer EP2482040, US2005/0253052 og WO 2002/04895. Andre anvendelser kan være interferometrisk avstandsmåling og TV-holografi (et raskt patentsøk returnerte ingen relevante resultater for disse siste anvendelsene). Vi ønsker å avgrense denne oppfinnelsen til posisjonssensorer med en diffraktiv avlesing, dvs når det brukes et diffraksjonsgitter eller en fokuserende diffraktiv linse.
- 25

30

I US2005/0018541 beskrives implementering av en ”differensiell mikrofon” hvor to diffraktive elementer med to forskjellige høyder i forhold til den reflekterende flaten gir to signaler A_1 og A_2 med en faseforskjell på 180° , som vist i figur 9 i publikasjonen.

5 Vi har da:

$$\begin{cases} A_1 = I \left(1 + \cos \left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta \right) \right) \\ A_2 = I \left(1 + \cos \left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta + \pi \right) \right) = I \left(1 - \cos \left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta \right) \right). \end{cases}$$

10 Det er mulig å kansellere fluktuasjonene i belysningen I ved å kombinere A_1 og A_2 , og finne forskyvningen av den reflekterende flaten direkte:

$$\delta = \frac{\lambda}{4\pi} \cos^{-1} \left(\frac{A_1 - A_2}{A_1 + A_2} \right).$$

15 Kansellering av belysningsfluktuasjonene kan også implementeres ved å måle lyset som fokuseres (i -1’te diffraksjonsorden) av det diffraktive elementet og lyset som reflekteres (0’te diffraksjonsorden) av det diffraktive elementet, hvilket frembringer to signaler med en faseforskjell på π . Å bruke både refleksjon og diffraksjon til å kansellere belysningsfluktuasjonene ble publisert i en presentasjon av Lacolle m fl, “Micromachined Optical Microphone
20 based on a modulated diffractive lens”, 3rd of the EOS Topical Meeting on Optical Microsystems (O μ S’09), Capri, sept 27-30., 2009. Patentsøknader fra Hall m fl US2011/0194857 og US2011/0194711 drøfter prinsippet anvendt på et lineært gitter uten fokuserende egenskaper.

For å oppnå høyest følsomhet og nær lineær måling, er det viktig at den reflekterende flatens
25 hvilestilling eller arbeidspunkt er plassert der kurven gitt av $A = I(1 + \cos(\frac{4\pi}{\lambda} \delta + \varphi))$ er brattest (for høy følsomhet) og nesten lineær for å unngå forvrengning av det målte signalet. De to første passende arbeidspunktene er vist i den foreliggende figur 2.

Kurven er i realiteten periodisk med en periode $\lambda/2$ i distanse eller 2π i fase. For å sikre høy
30 følsomhet og god linearitet må derfor φ være nær $\pi/2$ pluss et heltallig multiplum av π . Dette

betyr at avstanden d mellom det diffraktive elementet og den reflekterende flaten i sin hvilestilling må oppfylle

$$d = \frac{\lambda}{8} + m \frac{\lambda}{4} \text{ med } m = 1, 2, 3 \dots$$

5

Avstanden d må derfor defineres svært nøyaktig. I en fysisk implementasjon er det imidlertid mulig at høyden av det diffraktive elementet i forhold til den reflekterende flaten i sin hvilestilling endres på grunn av enhetens termiske stabilitet kombinert med det faktum at det i utgangspunktet kan være svært vanskelig å fremstille en innretning med en svært nøyaktig

10 høyde. I dette tilfellet har vi en perturbasjon i de diffraktive elementenes høyder, $d_{\text{perturbasjon}}$, som kan variere eller ikke variere over tid, men som er den samme for alle diffraktive elementer.

15

I US 2004/0130728 og US2005/01192976 foreslås en løsning hvor den reflekterende flaten forskyves av elektrostatisk aktivering til et ordentlig arbeidspunkt. Dette systemet krever et aktivt reguleringsystem.

20

Flere faser ut kan også brukes som remedium for dette problemet. Vi kan for eksempel lage en enhet med N diffraktive elementer, hvor høyden av det n 'te diffraktive elementet er gitt av

$$d_n = \frac{\lambda}{8} + m \frac{\lambda}{4} + n \frac{\lambda}{4N} + d_{\text{perturbasjon}}$$

i hvilket tilfelle vi er sikre på at det finnes et diffraktivt element som oppfyller

25

$$\left| d_n - \frac{\lambda}{8} - m \frac{\lambda}{4} \right| \leq \frac{1}{2} \frac{\lambda}{4N}$$

30

Å velge det diffraktive elementet som oppfyller betingelsen ovenfor vil sikre god følsomhet og linearitet ved alle tider. Hvis vi for eksempel har 4 diffraktive elementer, vil det finnes et diffraktivt element med et arbeidspunkt som er innenfor $\lambda/32$ fra det nærmeste ideelle arbeidspunktet i høyde, eller $\pi/8$ i fase.

Et annet nytt trekk frembrakt av den foreliggende oppfinnelsen er å utvide sensorens dynamiske område. Dette gjør det mulig å utvide sensorens dynamiske område fra et bevegelsesområde $\sim \lambda/8$ til flere λ .

- 5 Dette kan oppnås ved å fremstille en sensor med to diffraktive elementer som gi to signaler i kvadratur:

$$\begin{cases} A_1 = I \left(1 + \cos \left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta \right) \right) \\ A_2 = I \left(1 + \cos \left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta - \frac{\pi}{2} \right) \right) = I \left(1 + \sin \left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta \right) \right). \end{cases}$$

10

Forskyvningen δ finnes ved først å beregne det komplekse tallet

$$\left(\frac{A_1}{I} - 1 \right) + i \left(\frac{A_2}{I} - 1 \right) = \cos \left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta \right) + i \sin \left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta \right),$$

- 15 og så ved utfolding av (unwrapping) fasen til dette komplekse tallet.

$$\delta = \frac{\lambda}{4\pi} \text{Unwrap} \left[\text{Arg} \left[\left(\frac{A_1}{I} - 1 \right) + i \left(\frac{A_2}{I} - 1 \right) \right] \right]$$

- I dette tilfellet trenger ikke innretningen noen nøyaktig hvilestilling (arbeidspunkt), og en
 20 liten høydevariasjon $d_{\text{perturbasjon}}$ vil ikke forringe følsomheten eller lineariteten til innretningen. En annen fordel er at det er ingen den teoretiske begrensningen i amplituden til den reflekterende flatens forskyvning som kan være flere λ . Men denne fremgangsmåten krever at belysningens intensitet I er kjent. Dette kan implementeres i den samme innretningen ved å legge til diffraktive elementer som gir signal med 180° faseforskyvning.

25

En alternativ algoritme for å finne posisjonen på et dynamisk område av flere bølgelengder fra 2 signaler i kvadratur er beskrevet i Stowe, D., and Tsung-Yuan Hsu. "Demodulation of interferometric sensors using a fiber-optic passive quadrature demodulator." *Lightwave Technology, Journal of* 1.3 (1983): 519-523 [3].

I en implementasjon med flere faser kan avlesing med fire diffraktive elementer vurderes. Fire diffraktive elementer gir:

$$5 \quad \left\{ \begin{array}{l} A_1 = I \left(1 + \cos \left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta \right) \right) \\ A_2 = I \left(1 + \cos \left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta + \frac{\pi}{2} \right) \right) = I \left(1 - \sin \left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta \right) \right) \\ A_3 = I \left(1 + \cos \left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta + \pi \right) \right) = I \left(1 - \cos \left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta \right) \right) \\ A_4 = I \left(1 + \cos \left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta + \frac{3\pi}{2} \right) \right) = I \left(1 + \sin \left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta \right) \right) \end{array} \right.$$

10 Forskyvningen δ finnes ved

$$\delta = \frac{\lambda}{4\pi} \text{Unwrap} \left[\text{Arg} \left[\left(\frac{A_1 - A_3}{A_1 + A_3} \right) + i \left(\frac{A_4 - A_2}{A_2 + A_4} \right) \right] \right],$$

som er uavhengig av belyningsintensiteten I .

15 Dette er en kombinasjon av prinsippene beskrevet ovenfor som gir alle de tre fordelene med flerfaseavlesing:

- Kansellering av fluktuasjonene i belysningen
- Arbeidspunktjustering
- Utvidet dynamisk område

20

Et alternativ til løsningen ovenfor er bruk av to diffraktive elementer som gir to signaler i kvadratur, hvor både diffraksjons- og refleksjonssignalen fra hvert av de to diffraktive elementene måles. Diffraksjons- og refleksjonssignalene er ute av fase (med en 180° faseforskyvning). Dette gir de fire signalene beskrevet ovenfor med $\varphi = 0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3\pi}{2}$, men

25 hvor I kan være forskjellig for diffraksjons- og refleksjonssignalene, dog bare med en multiplikativ faktor som enkelt kan korrigeres.

Både belyingsignalet og den reflekterende flatens forskyvning kan finnes ved å bruke tre diffraktive elementer som gir signalene

$$S \begin{cases} A_1 = I \left(1 + \cos \left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta \right) \right) \\ A_2 = I \left(1 + \cos \left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta - \frac{2\pi}{3} \right) \right) \\ A_3 = I \left(1 + \cos \left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta + \frac{2\pi}{3} \right) \right) \end{cases}$$

Vi beregner så det komplekse tallet

$$10 \quad S = A_1 + \frac{A_2 \exp(i2\pi)}{3} + \frac{A_3 \exp(i2\pi)}{3}.$$

Etter utvikling finner vi

$$S = I \frac{3}{2} \left[\cos \left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta \right) + i \sin \left(\frac{4\pi}{\lambda} \delta \right) \right].$$

15

Signalbelysningen kan enkelt finnes ved å beregne normen til S :

$$I = \frac{2}{3} \text{Abs}(S),$$

20 og forskyvningen av den reflekterende flaten kan finnes ved å beregne og utfolde fasen til S :

$$\delta = \frac{\lambda}{4\pi} \text{Unwrap} [\text{Arg}(S)].$$

Dette gir også alle tre fordelene med flerfaseavlesing:

- 25
- Kansellering av fluktuasjonene i belysningen
 - Arbeidspunktjustering
 - Utvidet dynamisk område

En alternativ algoritme for å finne posisjonen på et dynamisk område over flere bølgelengder fra for 3 signaler med 0, 120° og 240° faseforskyvning er beskrevet i artikler av Brown, David A. m fl. "A symmetric 3x3 coupler based demodulator for fiber optic interferometric sensors." *SPIE, Fiber Optic and Laser Sensors IX* Vol. 1584 (1991) [1] og Reid, Greg J., og David A. Brown. "Multiplex architecture for 3 x 3 coupler based fiber optic sensors." *SPIE, Distributed and Multiplexed Fiber Optic Sensors RI, Boston* (1993) [2].

Mer generelt kan det brukes tre eller flere passende signaler når det er mulig å finne I med:

$$I = \sum \alpha_i A_i$$

og finne forskyvningen med

$$\delta = \frac{\lambda}{4\pi} \text{Unwrap} \left[\text{Arg} \left[\sum \beta_i \left(\frac{A_i}{I} - 1 \right) \right] \right],$$

hvor α_i er reelle konstanter og β_i er komplekse konstanter.

Tillegg av flere signaler legger redundans til målingen og kan redusere målefeil.

Den tekniske realiseringen av oppfinnelsen vil bli nærmere beskrevet med henvisning til de vedføyde tegningene, som illustrerer oppfinnelsen ved hjelp av eksempler. Hvor Figur 1 og 2 illustrerer kjent teknikk.

Figur 3 illustrerer en posisjonssensor med avlesing av flere faser og her fire diffraktive elementer.

Figur 4 Innretning ifølge en utførelsesform av oppfinnelsen med lyskilde og fotodetektorer.

Figur 5 Innretning ifølge en annen utførelsesform av oppfinnelsen med lyskilde og fotodetektorer.

- Figur 6 illustrerer utførelsesformen i figur 5 med belysning fra utenfor aksen og tre forskjellige diffraktive elementer plassert i et sirkulært område under den reflekterende flaten.4
- Figur 7 illustrerer utførelsesformen i figur 4 med lyskilden plassert på aksen.
- 5 Figur 8 illustrerer en løsning for å redusere direkte refleksjon fra gitrene i utførelsesformen med lyskilde utenfor aksen.
- Figur 9 illustrerer en situasjon tilsvarende figur 8 for løsningen med lyskilde på aksen.
- Figur 10 illustrerer en utførelsesform med fordypningene implementert i den reflekterende overflaten på motsatt side av hulrommene i forhold til de diffraktive elementene.
- 10 Figur 11 illustrerer en utførelsesform av oppfinnelsen som bruker en optisk fiber til å sende lys og velge lys fra sensoren.
- Figur 12 illustrerer utførelsesformen illustrert i fig. 11 mens den mottar en forskjellig bølgelengde tilbake gjennom fiberen.
- 15 En forskyvningssensor med flerfaseavlesing er vist i figur 3. Innretningen består av en, i det minste delvis, reflekterende overflate (2), som kan være en side på en membran (4), og flere diffraktive elementer (1a-d). Overflaten (2) og de diffraktive elementene (1a-d) er atskilt av et hulrom definert av et avstandsstykke (5). I denne utførelsesformen finnes en ramme (6) som understøtter membranen (4). De diffraktive elementene (1a-d) understøttes av et, i det minste
- 20 delvis, transparent substrat (3). Det kan være 2 eller flere diffraktive elementer (på figuren er det 4). Forskjellige høyder mellom (1a-d) og (2) er implementert ved å opprette fordypninger i substratet (3), hvor de diffraktive elementene (1a-d) er plassert.

De diffraktive elementene (1a-d) er plassert under den samme reflekterende flaten (2) og 25 høydene deres i forhold til den reflekterende flaten må til enhver tid avvike bare med en høydeforskyvning som er nær konstant (denne nær konstante høydeforskyvningen er forskjellig for hvert diffraktive element). Dette kan implementeres som:

1. Fokuserende diffraktive linser, slik som i US2005/0018541, i hvilket tilfelle de diffraktive optiske linsene har forskjellig optisk akse slik at hver av dem fokuserer 30 diffraksjonsflekken på forskjellige steder hvor detektorene kan plasseres,
2. ikke-fokuserende gitre slik som i US2004/0130728 og US2006/0192976, i hvilket tilfelle diffraksjonen fra hvert gitterelement er splittet av det faktum at gitterelementet ikke er plassert på samme sted, eller/og har forskjellig orientering

av gitterlinjene. Det kan også være mulig å bruke ytterligere linser til å fokusere diffraksjons- eller refleksjonslyset på flere detektorer.

Avlesingsprinsippet er det følgende: Når avstanden mellom de diffraktive elementene (1a-d) og den reflekterende flaten (2) endres, blir diffraksjonseffektiviteten til de diffraktive elementene (1a-d) modulert. Modulerte signaler kan genereres ved å belyse innretningen med en smalbåndet lyskilde (7), for eksempel et VCSEL (se figur 4). Flere fotodetektorer (8a-d) måler så lyset som reflekteres eller brytes av de diffraktive elementene. Signalene avhenger tilsvarende av avstanden mellom de diffraktive elementene (1a-d) og den reflekterende flaten (2), men med en fase/høydeforskyvning (en forskyvning i forhold til avstanden mellom de diffraktive elementene (1a-d) og den reflekterende flaten (2)).

De elektriske signalene fra fotodetektorene blir behandlet, slik at avstanden mellom de diffraktive elementene (1a-d) og den reflekterende flaten (2) finnes, over et dynamisk område på flere bølgelengder. For å oppnå dette, må det finnes to eller flere diffraktive elementer med en høydeforskyvning.

En innretning tilsvarende den som er beskrevet ovenfor er vist i figur 5, hvor lyskilden er skråstilt sammenlignet med planet til de diffraktive elementene (1a-d) og til den reflekterende flaten (2), for å redusere mengden av lys som reflekteres tilbake til lyskilden. Lys som reflekteres tilbake inn i en laserdiode vil typisk øke kildestøyen.

Som nevnt ovenfor, må høydene til de diffraktive elementene i forhold til den reflekterende flaten til enhver tid avvike bare med en konstant som er tilknyttet hvert diffraktive element. I praksis kan dette oppnås ved å plassere de diffraktive elementene nær hverandre under den reflekterende flaten. I tilfelle en bøyelig membran, vil en passende plassering være sentrum av membranen hvor krumningen er minimal. I figur 3 er de diffraktive elementene vist side ved side, men de diffraktive elementene kan i stedet plasseres i et sirulært område under den reflekterende flaten. To eksempler med tre diffraktive elementer er vist i figur 6 og figur 7.

30

I figur 6a-c vises en utførelsesform med lyskilden utenfor aksene og tre forskjellige diffraktive elementer plassert i et sirkulært område under den reflekterende flaten. Posisjonen til de tre diffraktive elementene 11, 12, 13 er vist i figur 6a. I figur 6b vises en utførelsesform med fokuserende diffraktive elementer med sentra 21, 22, 23, hvis refleksjonslinjer er vist. Figur

6c viser i tillegg posisjonen 10 til en lyskilde for belysning av de diffraktive elementene, samt posisjonene 31, 32, 33 til tre detektorer som måler lys som er brutt og fokusert av de tre diffraktive elementene. Lyskilden og de tre detektorene er plassert i et plan anbrakt under de diffraktive elementene, og de relative posisjonene er valgt avhengig av linsenes refleksjons-

5 karakteristika samt deres innbyrdes posisjoner.

Fordelingen av de tre linsene over det sirkulære området er valgt for å gi essensielt lik effektivitet i refleksjoner fra alle tre diffraktive elementer.

10 Figur 7 viser en utførelsesform med lyskilden på aksene som tilsvarer den på figur 6, men hvor lyskilden er plassert i sentrum og dermed har tre sirkeldeler 11a, 12a, 13a med samme størrelse som hver er utstyrt med diffraktive elementer. I tilfelle bruk av fokuserende diffraktive elementer, kan det være nyttig å lage senterområdene 21, 22, 23 av de diffraktive elementene

15 ugjennomsiktige 24, slik at ikke noe lys reflekteres på detektorene, som i dette tilfellet måler det brutte og fokuserte lyset. Dette kan også oppnås ved å etse en kurvet overflate 25 på substratet der den sentrale delen av hvert diffraktive element er plassert. På tilsvarende måte kan det være nyttig å gjøre området over lyskilden ugjennomsiktig eller etset 20 for å minimere mengden av lys som reflekteres tilbake til lyskilden. Dette er vist i figurene 8 og 9.

20 Figur 8: Illustrasjon av hvordan sentrumsområdet av et fokuserende diffraktivt element kan gjøres ugjennomsiktig eller krumt, slik at intet lys reflekteres inn i 0'te diffraksjonsorden fra sentrumsområdet av de diffraktive elementene på detektorene som måler det brutte og fokuserte lyset.

25 Figur 9: Tilsvarende implementasjon som figur 8, men i en implementasjon på aksene.

Utførelsesform med fordypninger på den reflekterende flaten. En alternativ utførelsesform er å plassere de diffraktive elementene (1a-d) i plan og å implementere fordypningene (2a-d) i den reflekterende flaten som vist i figur 10. Det kan være to eller flere diffraktive elementer.

30

I figur 11 og 12 er lyskilden og detektorene frembrakt gjennom en optisk fiber 40 som på i og for seg kjent måte overfører lys mot de diffraktive elementene (1a-d). Dette lyset kan ha et valgt spektralområde, og de diffraktive elementene kan være utstyrt med fokusegenskaper for å fokusere lys tilbake mot den optiske fiberen slik at bølgelengden av lyset som mottas i den

optiske fiberen indikerer identiteten til det fokuserende diffraktive elementet. Ettersom egenskapene til de diffraktive elementene er kjente, er posisjonen til de diffraktive elementene i forhold til den reflekterende flaten 2 kjent, og den relative forskyvningen kan finnes. Dette er vist i figurene 11-12 ved at det første diffraktive elementet 1a fokuserer mot fiberenden i figur 11, mens det fjerde diffraktive elementet fokuserer mot fiberenden i figur 12.

For å oppsummere, angår oppfinnelsen dermed en optisk sensor omfattende en første i det minste delvis reflekterende flate og en andre flate med minst to diffraktive mønstre, der mønstrene har forskjellige avstander fra den første flaten og/eller flatene retter lys med forskjellige bølgelengder i forhåndsbestemte retninger. De diffraktive mønstrene leder lys inn i sine forskjellige diffraksjonsordener (inkludert 0'te ordens diffraksjon, dvs refleksjon), og intensiteten i noen av diffraksjonsordenene kan måles for å generere forskjellige signaler. Denne oppfinnelsen krever minst to signaler generert av minst to diffraksjonsmønstre. Signalene må ha faseforskyvninger som gjør det mulig å slakke på kravet at avstanden mellom de to flatene ikke varierer over et område større enn ca $\lambda/8$. Signalene kan også muliggjøre en eller to av de følgende:

- øke det dynamiske området til sensoren fra ca $\lambda/8$ til flere λ .
- kansellere fluktuasjonene i belysningens intensitet.

US 2005/0018641 beskriver implementasjon av en "differensiell mikrofon", hvor to diffraktive elementer med to forskjellige høyder genererer to signaler med 180° faseforskyvning for å kansellere fluktuasjonene i belysningens intensitet. Men de to signalene gjør det ikke mulig å slakke på kravene om at avstanden mellom de to flatene ikke varierer mer enn ca $\lambda/8$.

De diffraktive mønstrene er tilpasset til å rette lys mot minst én detektor plassert i en kjent posisjon i forhold til de diffraktive flatene. Hvert hulrom og diffraksjonsmønster kan også overføre lys til flere detektorer, f eks plassert i forhold til de forskjellige diffraksjonsordenene til mønsteret.

De diffraktive mønstrene kan være diffraktive linser som fokuserer lyset mot de respektive sensorene og dermed øker effektiviteten og følsomheten til sensoren..

De diffraktive linsene kan utgjøres av sirkulære mønstre med en optisk akse som er forskjøvet i forhold til strålens sentrum i mønsterplanet, og kan derved ha et fokuspunkt forskjøvet i radial retning i forhold til strålens sentrum, hvor detektoren eller andre lyssamlere slik som optiske fibre kan være plassert.

5

Det sentrale området av hver diffraktive linse er overflatebehandlet for å unngå direkte refleksjoner fra lyskilden til detektorene, og sikrer dermed at bare lys i det valgte bølgelengdeområdet fokuseres mot detektorene. Overflatene kan også behandles på andre måter for å unngå direkte refleksjoner tilbake til lyskilden..

10

Forskjellen i hulromslengder mellom hulrommene kan velges for å gi en valgt faseforskjell mellom lyset rettet fra gitrene.

15

Strålebredden til lyset overført fra lyskilden kan velges slik at den dekker et bestemt område som fortrinnsvis tilsvarer et område tilsvarende arealet til de diffraktive delene og hulrommene. Derved dekker hulromsstørrelsen over strålens tverrsnitt essensielt samme område i strålen, slik at den utsettes for essensielt samme mengde lys. Formen til hulrommene og de diffraktive mønstrene kan også velges for dette formålet.

20

I én utførelsesform er lyskilden plassert koaksialt med de reflekterende områdene, der hulrommene og detektorene er fordelt omkring aksene., hvor hulrommene utgjør deler med innbyrdes lik størrelse omkring aksene.

25

Alternativt kan lyskilden plasseres utenfor aksene, der hulrommene dekker essensielt like arealer og essensielt deler av omkretsen i forhold til avstanden fra sentrum av det nevnte sentrum. Formen av dem er beregnet for å motta en lik mengde av lysintensiteten.

30

Lyskilden kan være av enhver tilgjengelig type som utstråler i de valgte bølgelengdeområdene, og kan overføre mot hulrommene gjennom minst én optisk fiber. I en utførelsesform sender kilden lys ved flere valgte bølgelengder, hvor hvert diffraktive mønster retter lys ved én av de valgte bølgelengdene mot én eller flere optisk fibre som er forbundet med minst én detektor.

Lyskilden kan også velges for å belyse hulrommene gjennom ved en optisk fiber som overfører lys ved flere valgte bølgelengder, hvor hvert diffraktive mønster som retter lys tilbake mot den optiske fiberen, er tilpasset til å overføre signalet til én eller flere detektorer, for eksempel gjennom stråledelere osv.

5

Flere varianter er altså mulig, inkludert ingen optisk fiber, en fiber både inn og ut, en fiber for belysning og flere for å motta og overføre til detektorene, flere inn og flere ut, samt flere fibre inn og en ut, hvor f eks inngangssignalene er multiplekset. Som nevnt ovenfor, kan samme fiber eller fibre brukes til inndata og utdata.

10

I tillegg kan et dispersivt element benyttes mellom den belysende fiberen og de diffraktive mønstrene retter forskjeller bølgelengder mot forskjellige diffraktive mønstre. I stedet for å belyse alle hulrommene med alle de valgte bølgelengdene, er det altså mulig å bruke et dispersivt element mellom fiberutgangen og hulrommene, slik at hver bølgelengde blir rettet mot den tilhørende kaviteten og tilbaker til fiberen eller fibre.

15

Fortrinnsvis definerer hulrommene forskjellige hulromslengder, f eks for å øke separasjonen som oppnås ved at bølgelengdene skilles av de diffraktive mønstrene.

20

Hulrommene kan belyses med ethvert valgt bølgelengdeområde eller et antall områder avhengig av applikasjon og tilgjengelige kilder, diffraktive mønstre og detektorer. Alle hulrommene kan belyses med de komplette områdene eller de forekjellige bølgelengdene overføres selektivt mot de forskjellige hulrommene, f eks avhengig av hulromslengden og mønsteregenskapene.

25

Som drøftet ovenfor, frembringer den foreliggende oppfinnelsen midler for å oppnå et bredt dynamisk område som dekker bevegelser mellom de reflekterende flatene i sensoren som strekker seg over flere bølgelengder av lyset som brukes til å belyse flatene og deres tilhørende hulrom og diffraktive mønstre. Dette kan fordelaktig brukes i mikrofoner som gir et utvidet dynamisk område mellom små og store forskyvninger mellom flatene mens følsomheten opprettholdes.

30

Patentkrav

1. Optisk forskyvningssensor omfattende en første i det minste delvis reflekterende flate og en andre flate med minst to diffraktive mønstre, der flatene er frembrakt på
5 elementer som har en variabel avstand mellom seg, der hvert flatepar definerer et hulrom mellom seg,
der sensoren også omfatter minst én lyskilde som overfører lys i minst ett valgt bølgelengdeområde inn i hulrommene og minst én lysdetektor som mottar lys fra hulrommene, hvor de diffraktive mønstrene er tilpasset til å lede lys mot minst én
10 detektor anbrakt i en kjent posisjon i forhold til de diffraktive flatene.
2. Sensor ifølge krav 1, hvor de diffraktive mønstrene er diffraktive linser som fokuserer lyset mot de respektive sensorene.
- 15 3. Sensor ifølge krav 2, hvor hver diffraktive linse utgjøres av sirkulære mønstre med en optisk akse som er forskjøvet i forhold til strålens sentrum.
4. Sensor ifølge krav 3, hvor det sentrale området av hver diffraktive linse er overflatebehandlet for å unngå direkte refleksjoner fra lyskilden til detektorene.
20
5. Sensor ifølge krav 1, hvor forskjellen i hulromslengder er valgt for å gi en valgt faseforskjell mellom lyset rettet fra gitrene.
6. Sensor ifølge krav 1, hvor lyskilden utstråler en lysstråle som dekker et bestemt område,
25 der hulromsstørrelsen over strålens tverrsnitt dekker essensielt samme område i strålen, slik at den utsettes for essensielt samme mengde lys.
7. Sensor ifølge krav 1, hvor flatene er behandlet for å unngå direkte refleksjoner tilbake til lyskilden.
30
8. Sensor ifølge krav 1, hvor lyskilden er plassert koaksialt med de reflekterende områdene, der hulrommene og detektorene er fordelt omkring aksen.

9. Sensor ifølge krav 8, hvor hulrommene utgjør deler med innbyrdes lik størrelse omkring aksen.
- 5 10. Sensor ifølge krav 1, hvor lyskilden er plassert utenfor aksen, der hulrommene dekker essensielt like arealer og essensielt deler av omkretsen i forhold til avstanden fra sentrum av det nevnte sentrum.
- 10 11. Sensor ifølge krav 1, hvor lyskilden belyser hulrommene gjennom ved en optisk fiber som overfører lys ved flere valgte bølgelengder, og hvor hvert diffraktive mønster retter lys ved én av de valgte bølgelengdene mot én eller flere optisk fibre, som overfører signalet til én eller flere detektorer.
- 15 12. Sensor ifølge krav 1, hvor lyskilden belyser hulrommene gjennom ved en optisk fiber som overfører lys ved flere valgte bølgelengder, og hvor hvert diffraktive mønster som retter lys tilbake mot den optiske fiberen, er tilpasset til å overføre signalet til én eller flere detektorer.
- 20 13. Sensor ifølge krav 11 eller 12, men hvor et dispersivt element mellom den belysende fiberen og de diffraktive elementene retter forskjeller bølgelengder mot forskjellige diffraktive mønstre.
14. Sensor ifølge krav 1, hvor hulrommene definerer forskjellige hulromslengder.
- 25 15. Sensor ifølge krav 1, hvor hulrommene belyses med lys ved forskjellige bølgelengder.
16. Mikrofon omfattende en sensor ifølge krav 1, hvor én av flatene er anbrakt på en membran.

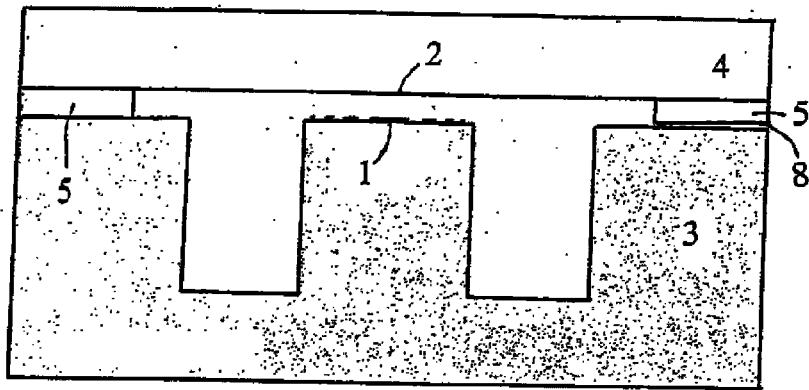


Fig. 1

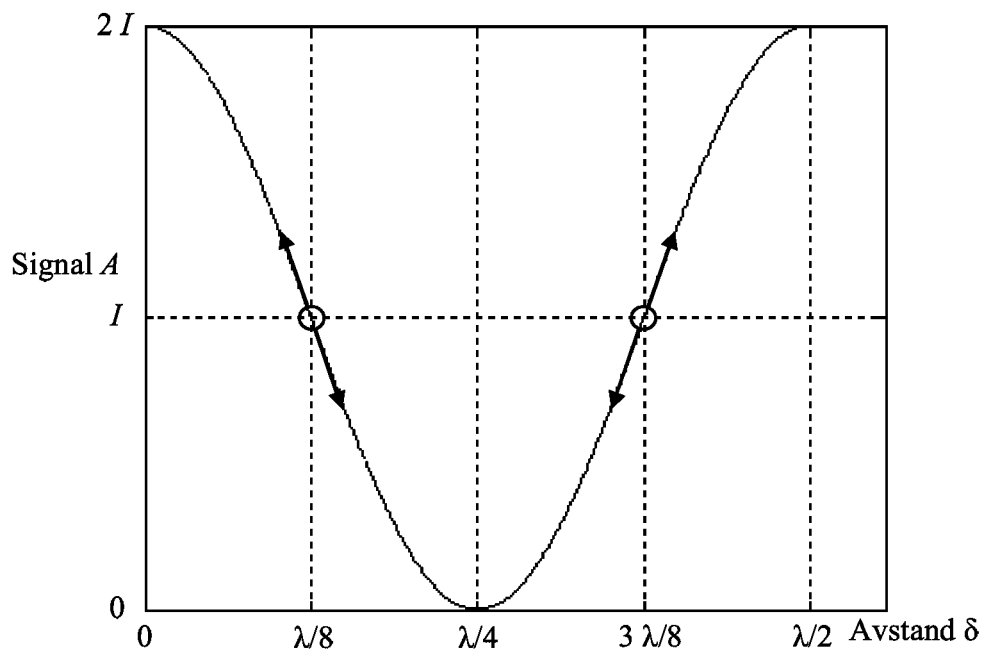


Fig. 1

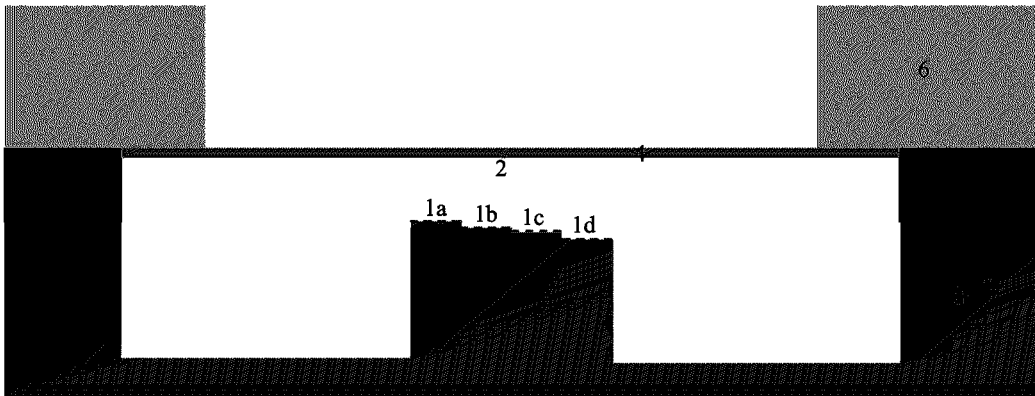


Fig. 3

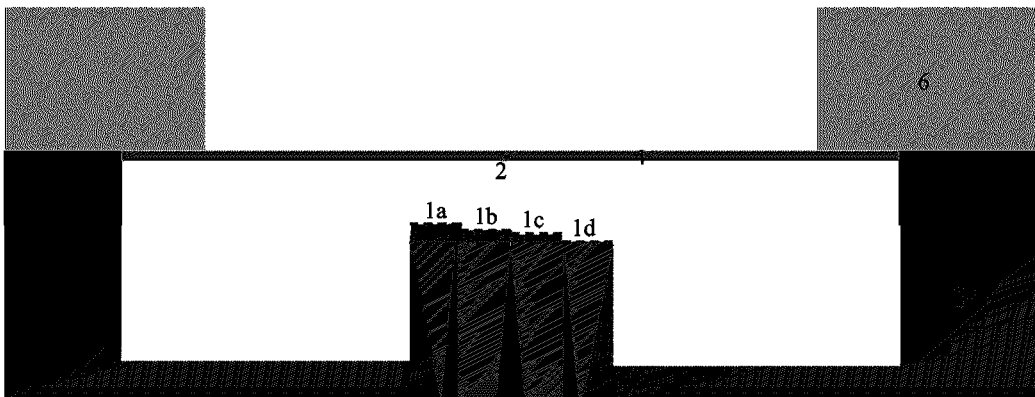
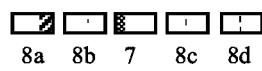


Fig. 4



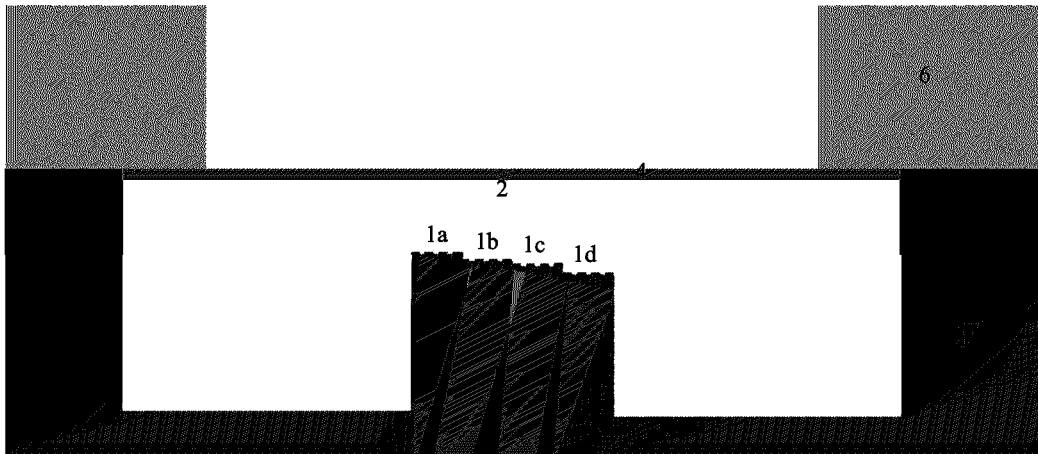


Fig. 5

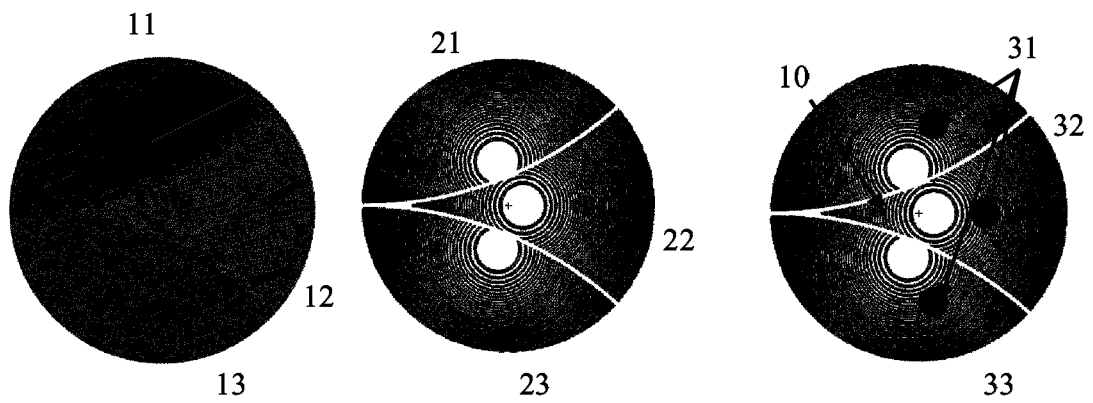
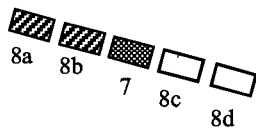


Fig. 6

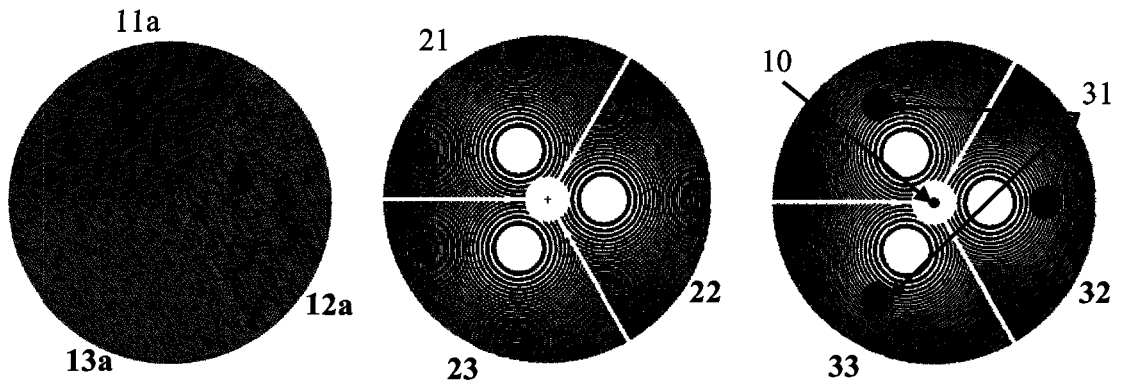


Fig. 7

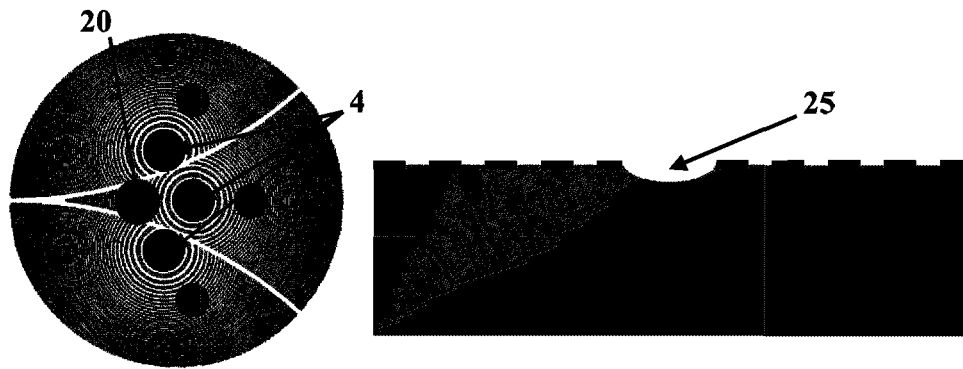


Fig. 8

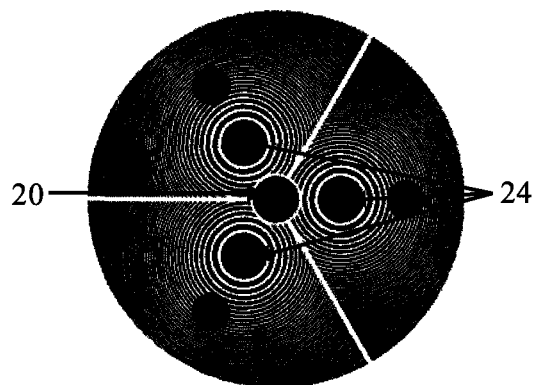


Fig. 9

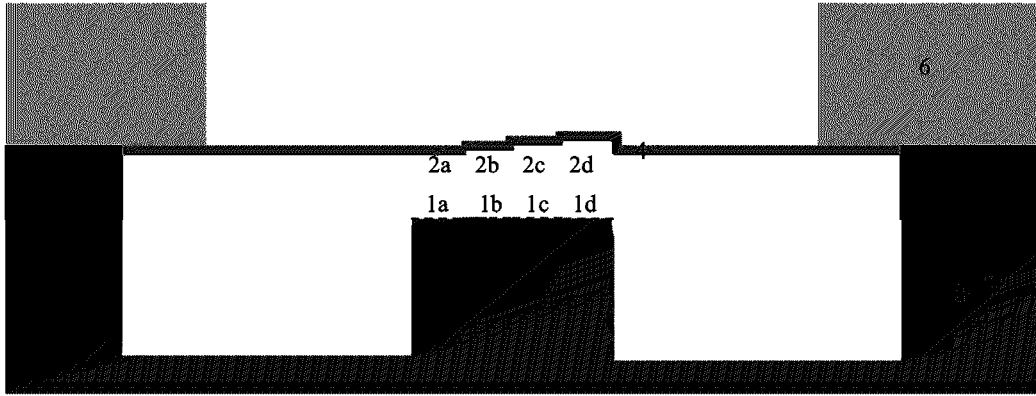


Fig. 10

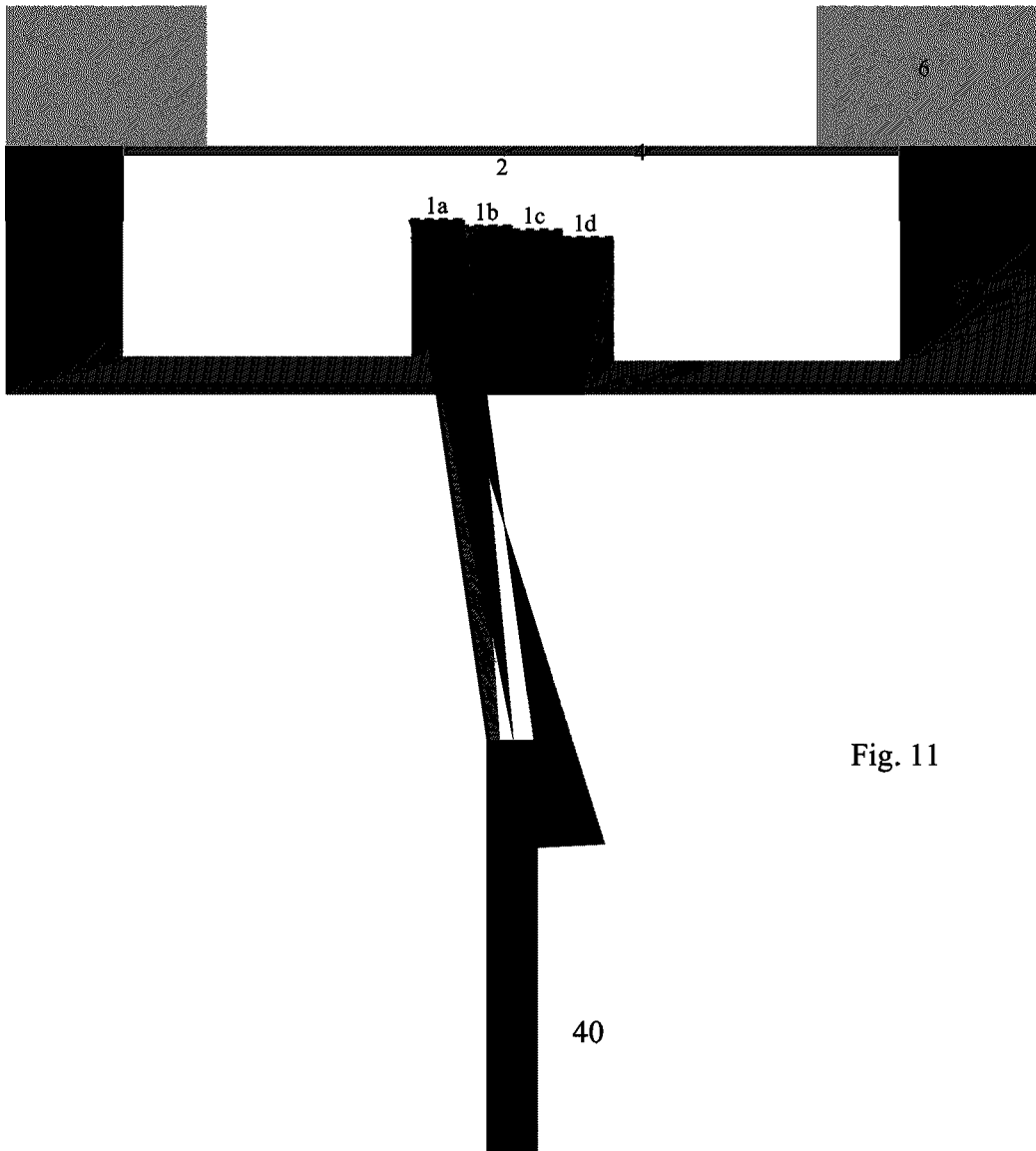


Fig. 11

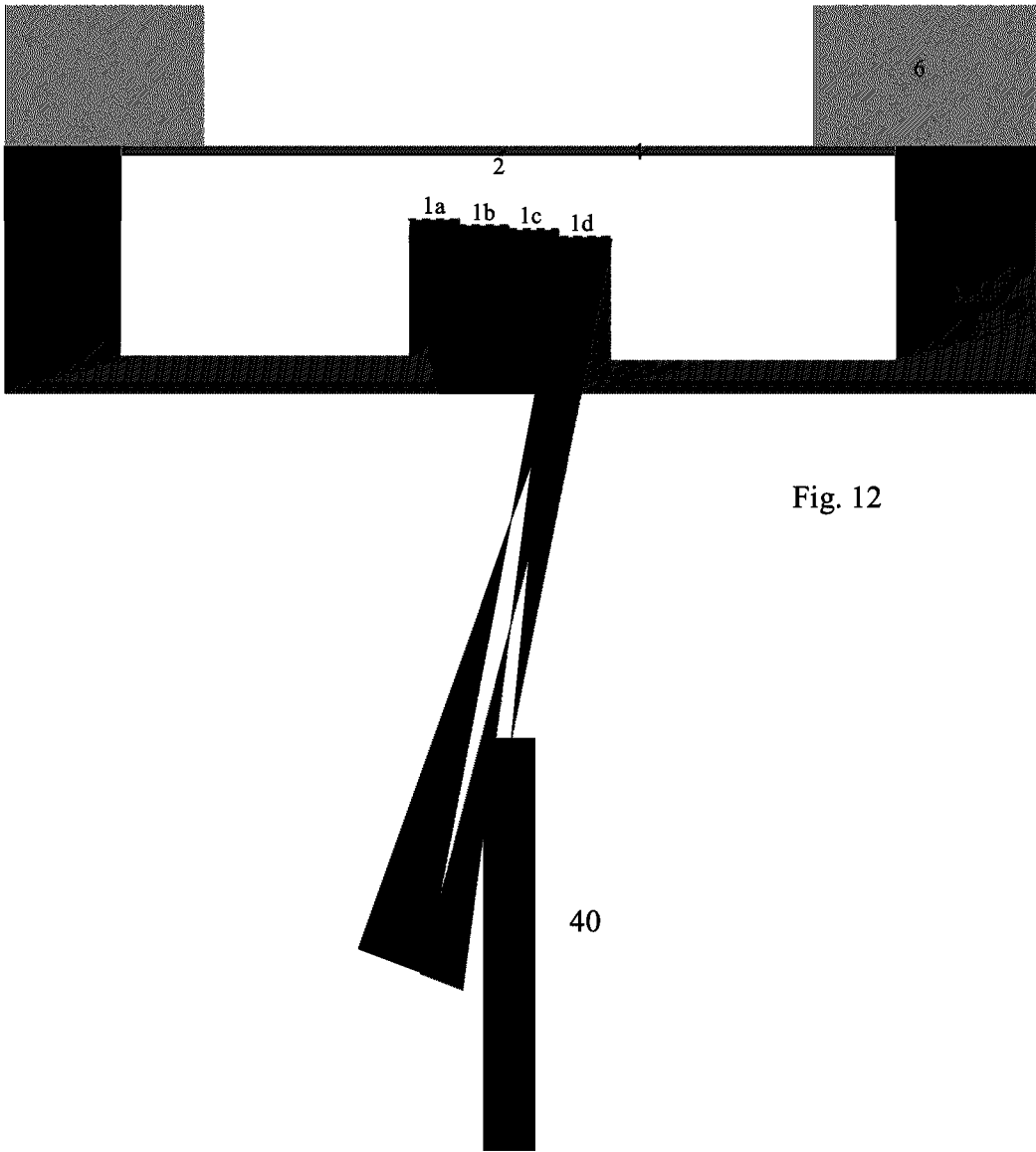


Fig. 12