



(12) **PATENT**

(19) NO

(11) **315397**

(13) B1

(51) Int Cl⁷

G 02 B 5/18

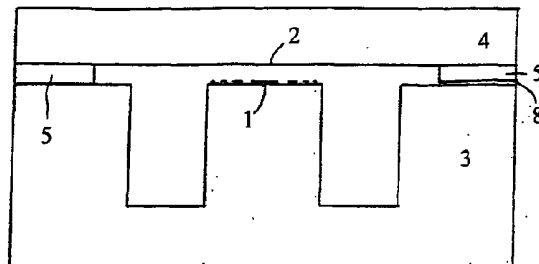
Patentstyret

(21) Søknadsnr	20015552	(86) Int. inng. dag og søknadsnummer	
(22) Inng. dag	2001.11.13	(85) Videreføringsdag	
(24) Løpedag	2001.11.13	(30) Prioritet	Ingen
(41) Alm. tilg.	2003.05.14		
(45) Meddelt dato	2003.08.25		
(71) Patenthaver	Sinvent AS, S P Andersensvei 5, 7465 Trondheim, NO		
(72) Oppfinner	Ib-Rune Johansen, 0491 Oslo, NO Dag Torstein Wang, 0494 Oslo, NO Olav Solgaard, Stanford, CA 94305, US Odd Løvhaugen, 0874 Oslo, NO Håkon Sagberg, 0875 Oslo, NO Henrik Rogne, 0260 Oslo, NO		
(74) Fullmektig	Protector Intellectual Property Consultants AS, 0301 Oslo		

(54) Benevnelse	Optisk forskyvnings-sensor
(56) Anførte publikasjoner	US 5794023, 11 AUG. 1998, HOBBS ET.AL. US 4636076, 13 JAN. 1987 PETTIGREW US 4496425, 29. JAN. 1985, KUYEL EP 0688062, 6. JUNI 1996, REITS US 5327218

(57) Sammendrag

Den foreliggende oppfinnelsen angår en optisk forskyvningsensorelement omfattende to i det vesentlige flate overflater (1,2) som er adskilt av en kavitet som er definert av et avstandsstykke (5) og overflatene (1,2), der avstanden mellom overflatene er variabel, der en første av overflatene (1) er plassert på en i det vesentlige transparent bærer (3) og er forsynt med et reflekterende mønster, der mønsteret er formet som en diffraktiv linse, og at den andre overflaten (2) er en reflekterende overflate.



Denne oppfinnelsen angår et element til en optisk forskyvnings-sensor. Et eksempel kan være en trykksensor eller en mikrofon, omfattende to i det vesentlige flate overflater som er adskilt av et avstandsstykke, der avstanden mellom overflatene er variable, avhengig av trykk-
5 fluktuasjoner i omgivelsene i forhold til trykket i kaviteten. Endringen i avstand mellom overflatene kan oppstå ved bøyning av en av overflatene eller ved sammentrykking av avstandsstykket.

10 Inntil nylig var forskyvnings-sensorer slik som mikrofoner basert på kapasitive strukturer og impedans-målinger. Dette har en rekke ulemper relatert til følsomhet, høy spenning, isolasjon mellom lagene, opplinjering og plassering av membranene i forhold til en bakenforliggende
15 elektrode, høye krav til forforsterkere, og ikke-lineær respons, der alle disse fører til dyre og kompliserte løsninger.

Optiske mikrofoner kan løse mange av de store problemene som kapasitive sensorer har. Det er ikke noen problemer med
20 baissing eller behov for elektrisk isolasjon.

Interferometriske sensorer kan oppnå like stor eller bedre sensitivitet enn kapasitive forskyvnings-sensorer med mindre krav til de elektroniske kretsene, men hittil har disse
løsningene vært forholdsvis dyre, siden problemer i forhold
25 til opplinjering og posisjonering ikke har vært løst.

I Hall N.A. og Deterkin F.L. "Self-calibrating Micromachined Microphones with Integrated Optical Displacement Detection", Transducers '01, The 11th International Conference on Solid-State Sensors and
30 Actuators, Munich, Germany, June 10-14, 2001, blir disse problemene diskutert og en alternativ løsning blir foreslått som implementerer optiske diffraktive gittere for forskyvningsmålinger.

Metoden som er beskrevet i denne artikkelen er basert på
35 den optiske modulatoren beskrevet i US 5,311,360 og tilveiebringer en pålitelig optisk løsning som bruker enklere elektronikk for deteksjon av forskyvning, siden de elektroniske kretsene bare måler endringer i intensiteten til det reflekterte signalet. Den optiske delen er imidlertid

fremdeles forholdsvis komplisert siden den krever bruke av linser for retting og fokusering av lyset til og fra gitteret, hvilket krever nøyaktig posisjonerte optiske deler for å fungere godt nok.

5 Det er et formål med den foreliggende oppfinnelsen å forbedre løsningen som er beskrevet i den ovennevnte artikkelen ved å tilveiebringe et optisk sensorelement for måling av forskyvning, trykk, akustiske signaler eller lignende uten å kreve komplisert optikk. Dette er oppnådd
10 ved tilveiebringelsen av en optisk forskyvnings-sensor slik som angitt over, og som er kjennetegnet slik som angitt i kravene.

Ifølge oppfinnelsen er gitteret forsynt med fokuseringsegenskaper slik at det fjerner eller reduserer
15 behovet for komplisert optikk. Dette er forklart nedenfor på basis av Fresnel-soneplater. En Fresnel-soneplate gir som kjent en flat linse basert på diffraksjon.

En diffraktiv linse er laget av et antall soner med et trinn i grensen mellom dem, der grensen har en avstand
20 r_j fra linsens sentrum, og j er trinn-nummeret. For en transmisjonslinse er den optiske høyden til trinnet h_j ofte valgt lik konstruksjonsbølgelengden λ_0 til linsen, slik at den fysiske høyden h_p kan uttrykkes som:

$$h_p = \frac{\lambda_0}{n(\lambda_0) - 1}$$

der $n(\lambda_0)$ er brytningsindeksen ved λ_0 .

25 Den generelle høydefunksjonen $f(r)$ for en transmitterende diffraktiv linse med brennvidde f er:

$$r_j^2 = 2j \lambda_0 f \quad j = 1, 2, 3, \dots, N$$

der N er antallet soner og n er brytningsindeksen.

Fasefunksjonen $\Phi(r, \lambda)$ når den er belyst av en plan bølge med bølgelengde λ , er dermed definert som:

$$\begin{aligned}\Phi(r, \lambda) &= \frac{2\pi}{\lambda} \cdot [n(\lambda) - 1] \cdot f(r) \\ &= 2\pi \left(\frac{\lambda_0}{\lambda} \right) \cdot \left(\frac{n(\lambda) - 1}{n(\lambda_0) - 1} \right) \cdot \left(j - \frac{r^2}{2\lambda_0 f} \right) \quad r_{j-1} \leq r < r_j\end{aligned}$$

Denne diffraktive linsen kan ikke brukes i bredbåndapplikasjoner siden dens brennvidde er sterkt bølgelengdeavhengig, hvilket kan uttrykkes som:

$$f_m(\lambda) = \frac{\lambda_0}{m\lambda} \cdot f(\lambda_0)$$

Der f_m er brennvidde til den diffrakterte orden m for $\lambda \neq \lambda_0$.

- 5 Hvis en diffraktiv linse skal brukes til refleksjon blir trinnet lik halvparten av designbølgelengden. I multiordens tilfellet blir de tilsvarende ligningene som følger:

$$\begin{aligned}\Phi(r, \lambda) &= \frac{2\pi}{\lambda} \cdot 2 \cdot f(r) = 2\pi \cdot \left(\frac{\lambda_0}{\lambda} \right) \cdot \left(j - \frac{r^2}{2\lambda_0 f} \right) \quad r_{j-1} \leq r < r_j \\ r_j^2 &= 2j \lambda_0 f \quad j = 1, 2, 3, \dots, N\end{aligned}$$

10 og

$$f_m(\lambda) = \frac{\lambda_0}{m\lambda} \cdot f(\lambda_0)$$

- 10 Den aktive tykkelsen på den diffraktive linsen er i dette tilfelle dermed:

$$t_p(r) = \left\{ |\Phi(r, \lambda)|_{2\pi} \right\} \frac{\lambda}{4\pi}$$

der strålebanens innfallsvinkel er ignorert.

Det vises til figurene 3 og 4 for illustrasjon av teorien som er diskutert over.

- 15 En reflekterende Fresnel-soneplate har en fysisk høyde $h_p = \lambda/2$ og en kontinuerlig profil innen hver sone, som illustrert i figur 3A. En binær fase-soneplate har bare to

nivåer, og kan oppnås ved å sette en terskelverdi på linsehøyden ved halve høyden slik som illustrert i figur 3A. Den nye reflekterende binære fasesoneplaten har nå et reflekterende topplag for alle høyder over terskelverdien, og et reflekterende bunnlag for alle høyder under

5 terskelverdien, og de to lagene er bare adskilt av $hp/2$ eller $\lambda/4$, som illustrert i figur 3C. Figur 3D illustrerer linsen sett ovenfra der de hvite feltene er det nedre reflekterende laget og de svarte feltene er det øvre reflekterende laget.

10 Det må bemerkes at en binær fasesoneplate er mindre effektiv enn en Fresnel-soneplate med en kontinuerlig høydeprofil (figur 3A).

Figur 4 illustrerer det samme som figur 3D, men mønsteret er tatt fra et reelt design, og

15 størrelsesforholdene er dermed med realistiske.

Oppfinnelsen er basert på ideen som innebærer å skille det øvre reflekterende laget fra det nedre reflekterende laget i to separate strukturer og tillate at avstanden mellom disse lagene endres. Endringen i høyde mellom det øvre og det nedre laget vil gi en endring i intensiteten slik som illustrert i figur 5. Hvis høyden er 0 vil linsen fungere som et speil og hvis høyden er $\frac{1}{4}$ av bølgelengden vil maksimal fokusering være oppnådd.

20

Oppfinnelsen vil bli beskrevet mer i detalj nedenfor, med referanse til de vedlagte tegningene, som illustrerer oppfinnelsen ved hjelp av eksempler.

25

Figur 1 illustrerer tverrsnittet av en sensor ifølge oppfinnelsen.

Figur 2 illustrerer prinsippet ved den diffraktive linsen.

- 30 Figur 3
- a) illustrerer et tverrsnitt av Fresnel-fasesoneplaten.
 - b) illustrerer et tverrsnitt av en soneplate med en markert terskelverdi.
 - c) illustrerer et tverrsnitt av en binær fasesoneplate.
 - d) illustrerer en binær soneplate sett ovenfra.
- 35

Figur 4 viser et annet eksempel på en binær fasesoneplate.

Figur 5 illustrerer intensiteten i linsens fokus som funksjon av avstanden mellom den øvre og den nedre reflekterende flaten.

Figur 6 tilsvarer figur 5, men med en indikasjon på den mest følsomme delen ved bruk som en sensor.

Figure 7 illustrerer en utførelse av oppfinnelsen med kontrollert soneplatehøyde.

Den optiske forskyvnings-sensoren illustrert i figur 1 omfatter to i det vesentlige flate overflater 1,2 som er adskilt mer en valgt avstand. Den første flaten 1 utgjøres av et sirkulært eller buet optisk reflekterende gitter som tilveiebringer en reflekterende diffraksjonslinse slik som definert over og som er plassert på en gjennomsiktig elementdel 3, for eksempel laget av plast eller glass.

Den andre flaten utgjøres av en reflekterende flate som er plassert på en stabil elementdel 4 av en hvilken som helst egnet type, for eksempel glass.

I tegningene er de to elementdelene 3,4 adskilt av et avstandsstykke 5 for å gi en valgt avstand mellom overflatene 1,2. Endringen i avstanden mellom flatene kan oppnås ved bøyning av en eller begge flater.

Alternativt kan avstandsstykket 5 være laget i et egnet materiale som tillater at avstanden mellom overflatene endres ved varierende trykk, og kan alternativt være tilveiebragt som en del av en av elementdelene 3,4.

Sensorelementet ifølge oppfinnelsen kan også inkludere en lekkasjekanal 8 mellom kaviteten og omgivelsene for langsom trykkutjevning mellom disse, i tillegg til å fungere som et fysisk lavpassfilter som avhenger av luftgjennomgangen gjennom kanalen. Kanalen kan være plassert i hvilken som helst egnet del av sensorelementet, avhengig av situasjonen, der den eksakte posisjonen ikke er viktig for utførelsen av oppfinnelsen.

Figur 2 illustrerer prinsippet for oppfinnelsen skjematisk ved å illustrere hvordan en lyskilde 6 sender lys mot soneplaten, og lyset blir reflektert mot detektoren 7. Når avstanden d mellom overflatene 1,2 er endre av avstanden Δx endres fokuseringseffektiviteten tilsvarende og resulterer i en reduksjon i intensiteten målt ved detektoren 7.

Figur 2 viser en detektor og en lyskilde plassert i forskjellige posisjoner. Alternativt kan disse plasseres i samme optiske posisjon, for eksempel ved bruk av en
 5 stråledeler. Dette krever et litt mer komplisert system, men tillater bruk av en kilde/detektor-enhet som i noen tilfeller kan være mer bekvem. Et mer kompakt system kan omfatte en enkelt optisk fiber terminert ved den optiske aksens i en
 10 posisjon som er det dobbelte av linsens brennvidde, der kilder og detektoren er plassert ved den andre enden av den optiske fiberen, separert av en optisk kobler. Hvis kollimert eller delvis kollimert lys brukes (f.eks en diodelaser eller LED) kan den justerbare binære linsen brukes for å fokusere lys til detektoren.

15 Dessuten kan forbedre nøyaktighet oppnås ved bruk av minst to detektorer plassert i fokus eller langs linjen av fokuspunkter til de ytterligere refleksjonsordenene til den diffraktive linsen.

Sensoren ifølge oppfinnelsen har en membran som er
 20 følsom for trykkvariasjoner. En liten endring i trykk resulterer i en forskyvning Δx av membranen. En maske (limt på et glasssubstrat) er plassert over membranen.

Kombinasjonen av den reflekterende membranen og masken virker som en Fresnel-soneplate. Denne binære linsen er slik at den
 25 konjugerer kilden mot detektoren slik som vist i figur 2.

Som nevnt over, for en avstand mellom masken og membranen d slik at d er et ulikt multippel av $\lambda/4$, er fokus på detektoren. For en avstand mellom masken og membranen d slik at d er et multippel av $\lambda/2$, er faseforskyvningen 2π og
 30 systemet virker som et speil (eller med andre ord: fokuserer ikke).

Ved å måle energien ved detektoren er det dermed mulig å dedusere hvor godt linsen fokuserer og forskyvningen Δx for membranen.

35 Når denne justerbare linsen brukes som en forskyvnings-sensor bør avstanden fra den reflekterende delen av det reflekterende mønsteret til den reflekterende membranen være et ulikt multippel av $\lambda/8$.

De fysiske dimensjonene til en sensor brukt som mikrofon, basert på utførelsen vist i figurene 1 og 2 kan være som følger:

Diameteren til overflaten som er påført et mønster kan være omkring 2-3 med mer og tykkelsen på avstandsstykket fra 0,1 til 8 mikrometer avhengig av hvilket akustisk frekvensområde som skal dekkes. Diameteren til membranen kan være omkring 5 med mer. Avstanden fra overflatene til detektoren og kilden kan være 5-10 med mer. Hvis detektoren og kilden er nær hverandre kommer sonene for nær hverandre og skygge-effekter begynner å dominere. Skygge-effekter er også et problem hvis avstandsstykket blir for tykt.

Som illustrert i figur 4 omfatter den foretrukne utførelsen et sirkulært gitter i den diffraktive linsen. Det er imidlertid også mulig med andre løsninger der den mest beslektede er sirkelseksjoner, for eksempel ved å bruke bare den høyre tredjedelen av mønsteret i figur 4. Fokuseringsegenskapene vil da bli omtrent de samme som for det sirkulære mønsteret, men siden det fokuserte lyset vil nå den optiske aksens fra én retning kan et detektorarray plasseres langs den optiske aksens. I dette tilfellet vil detektoren som mottar størst lysintensitet indikere fokusets plassering. Denne utførelsen kan også gi en mulighet for å måle plasseringen av flere refleksjonsmodi for gitteret, og gir et entydig mål på avstanden mellom overflatene.

Andre kurver relatert til mer generelle kjeglesnitt kan i noen tilfeller også brukes, i tillegg til todimensjonale detektormatrisen plassert i eller ved den optiske aksens.

Figur 5 illustrerer den relative intensiteten R ved fokus for det reflekterende diffraktive gitteret som funksjon av avstanden mellom flatene l , l målt i forhold til bølgelengden λ . Som det fremgår fra figuren er følsomheten ved sitt maksimum når den relative intensiteten er omtrent 50%, ved avstandene $1/8 \lambda$ og $3/8 \lambda$. Ved å holde avstanden nær et av disse områdene er følsomheten maksimal. Følsomheten synker imidlertid ved større innput når avstanden nærmer seg $1/4 \lambda$. Sensorelementet skal derfor fortrinnsvis være dimensjonert for å holde operasjonsområdet innen området $\lambda/8 + m\lambda/4 + n\lambda$, der $n, m = 0, 1, 2, 3, \dots$, som illustrert i figur 6.

Kurven er periodisk ved $1/2 \lambda$ perioder. For å unngå såkalt "presset film effekt" ved små avstander mellom overflatene vil større avstander enn de illustrerte bli foretrukket. Pressfilm-effekten kan imidlertid brukes som en dempningseffekt for å unngå resonans i systemet, og dermed gi en parameter som bør vurderes når sensoren lages.

De reflekterende gitteren og overflatene 1,2 kan være dielektriske eller metalliske avhengig av bruke og bølgelengdeområde. Ifølge en utførelse av oppfinnelsen illustrert i figur 7 er overflatene metalliske og er koblet til en kraftforsyning for å påtrykke en spenning mellom de to overflatene. Figur 7 illustrerer en utførelse i hvilken de reflekterende flatene i seg selv ikke er brukt med den hensikt, men i hvilken ytterligere metallag er tilveiebragt i et antall posisjoner for å oppnå parallelle overflater.

I utførelsen illustrert i figur 7 er detektoren koblet til en forsterker 10 som sender et signal til kontroll-enheten 11. Kontroll-enheten 11 påtrykker en spenning på de metalliske lagene for å kontrollere avstanden mellom overflatene 1,2.

Ved å justere spenningen kan avstanden mellom overflatene justeres slik at optimal fokusering kan oppnås til enhver tid. Spenningen som kreves for å holde en gitt avstand vil indikere størrelse på trykket som påføres sensorelementet, og dermed gi en metode for å oppnå et utlesnings-signal fra detektoren. De elektriske kretsene for å oppnå dette er velkjente og deres eksakte utførelser er ikke viktig for denne oppfinnelsen. Derfor vil de ikke bli beskrevet nærmere her.

Et elektrostatisk felt kan påføres for å avstemme avstanden mellom det diffraktive mønsteret og den reflekterende membranen for å optimere sensorens følsomhet, eller til å låse forskyvningen til en gitt posisjon (som en tunnellerende tupp sensor), hvilket vil øke det dynamiske området til sensoren.

Det diffraktive mønsteret kan selvsagt både være på membranen eller det kan være laget av et tynt lag der de transmitterende delene er etsset bort for å tillate luft å trenge gjennom det diffraktive mønsteret.

Oppfinnelsen har blitt beskrevet her primært i forbindelse med mikrofoner og trykksensorer. Den kan, imidlertid, muligens med mindre tilpasninger, brukes i andre applikasjoner som akselerometere og lignende, i hvilke den ene overflaten flyttes i forhold til den andre. I tilfellet med akselerometeret kan den bevegelige delen forsynes med en vekt for å øke sensitiviteten.

P a t e n t k r a v

1. Optisk forskyvnings-sensor-element omfattende to i det
vesentlige flate overflater (1,2) som er adskilt av en
5 kaviteten som er definert av et avstandstykke (5) og
overflatene (1,2), der avstanden mellom overflatene er
variabel,
karakterisert ved at en første av overflatene (1) er plassert
på en i det vesentlige transparent bærer (3) og er forsynt
10 med et reflekterende mønster, der mønsteret er formet som en
diffraktiv linse, og at den andre overflaten (2) er en
reflekterende overflate.
2. Optisk element ifølge krav 1, der mønsteret er et
15 sirkulært mønster.
3. Optisk element ifølge krav 1, der avstanden mellom
overflatene er $\lambda/8+m\lambda/4+n\lambda$, $n,m=0,1,2,3,\dots$ og λ er den
optiske bølgelengden.
20
4. Optisk element ifølge krav 1, der de reflekterende
overflatene er metalliske.
5. Optisk element ifølge krav 1, der elementet omfatter en
25 lekkasjekanal mellom kaviteten og omgivelsene for langsom
trykkutligning mellom disse.
6. Optisk sensor omfattende et optisk element ifølge et av
de foregående krav, også omfattende en lyskilde rettet mot
30 den diffraktive linsen og minst én detektor i en valgt
posisjon for måling av refleksjonene fra den diffraktive
linsen.
7. Optisk sensor ifølge krav 6, omfattende et detektorarray
35 for måling av posisjonen til minst én refleksjonsorden fra
den diffraktive linsen.
8. Optisk sensor ifølge krav 7, der detektorarrayet har en
i det minste delvis aksiell orientering.

9. Optisk sensor ifølge krav 6, der hver overflate er forsynt med en elektrisk leder, hvilke ledere er koblet til en elektrisk kontroll-enhet for å påtrykke en spenning på
- 5 lederne, der kraftforsyningen også er koblet til minst én detektor for å styre avstanden mellom overflatene når en endring detekteres, og at utgangs-spenningen indikerer trykkendringer i omgivelsene.
- 10 10. Optisk sensor ifølge krav 9, der kontrollenheten er innrettet til å justere arbeidsavstanden mellom overflatene til en valgt verdi.
11. Optisk sensor ifølge krav 6, omfattende en kanal for
- 15 kontrollert luftgjennomgang mellom kaviteten mellom overflatene og omgivelsene.
12. Anvendelse av et element ifølge krav 1 som trykksensor.
- 20 13. Anvendelse av et element ifølge krav 1 som mikrofon.

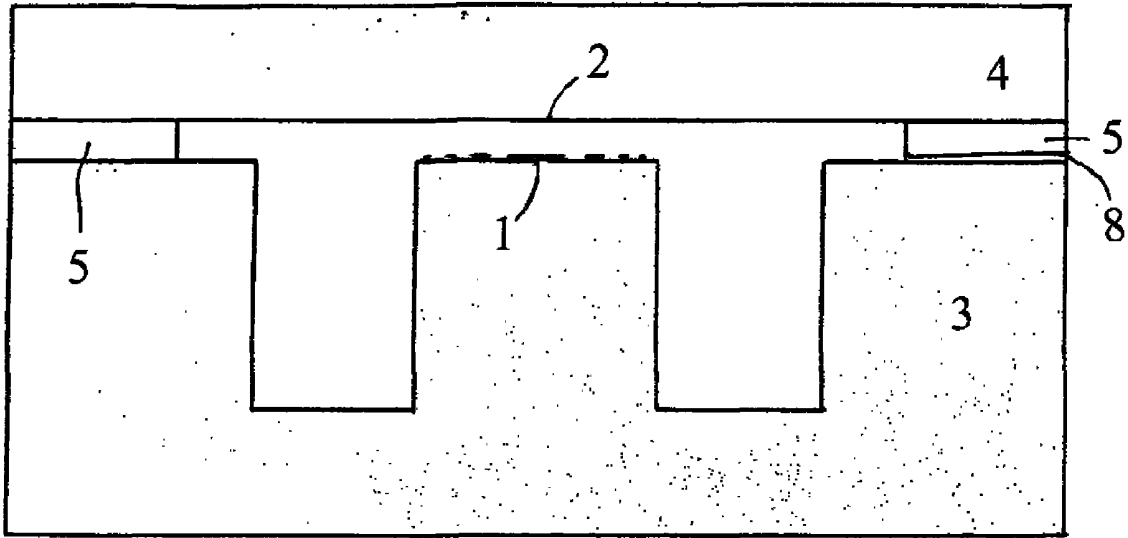


Fig. 1

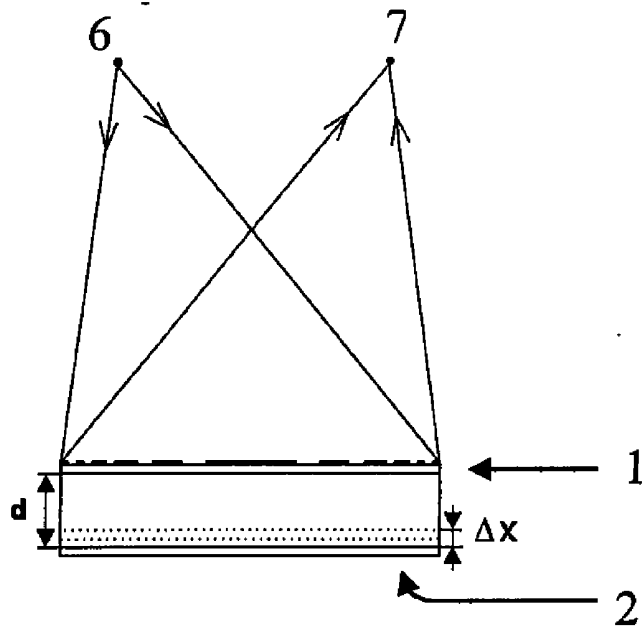


Fig. 2

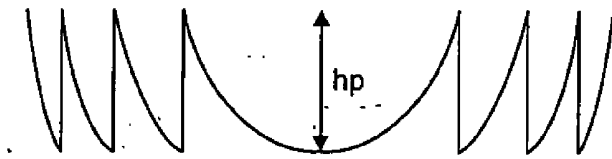


Fig. 3a

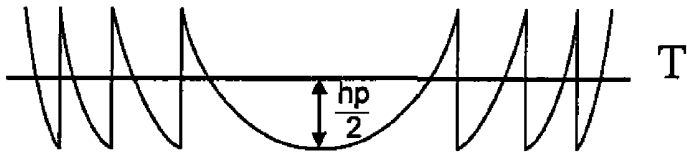


Fig. 3b

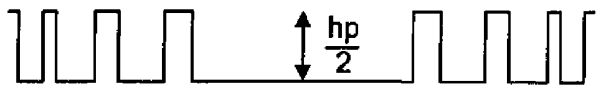


Fig. 3c

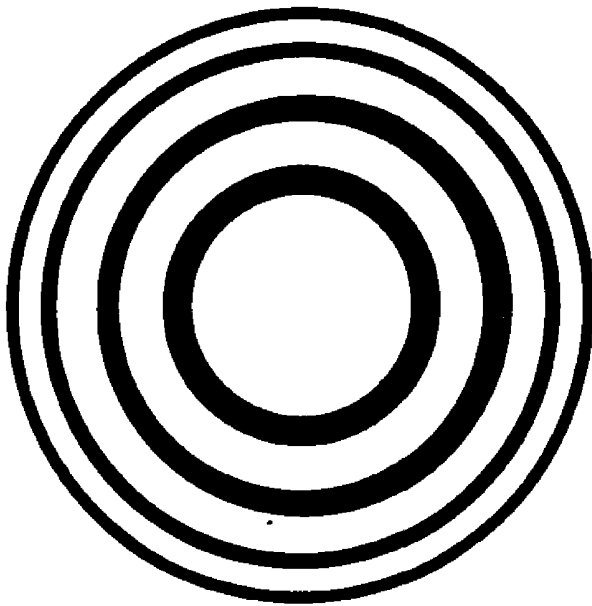


Fig. 3d

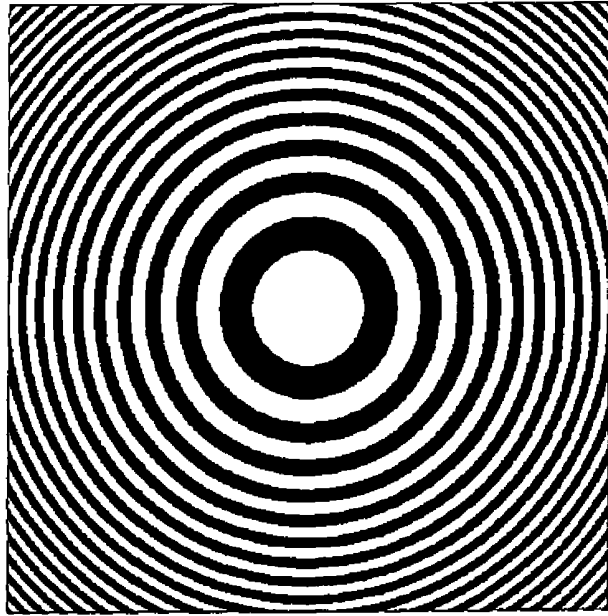


Fig. 4

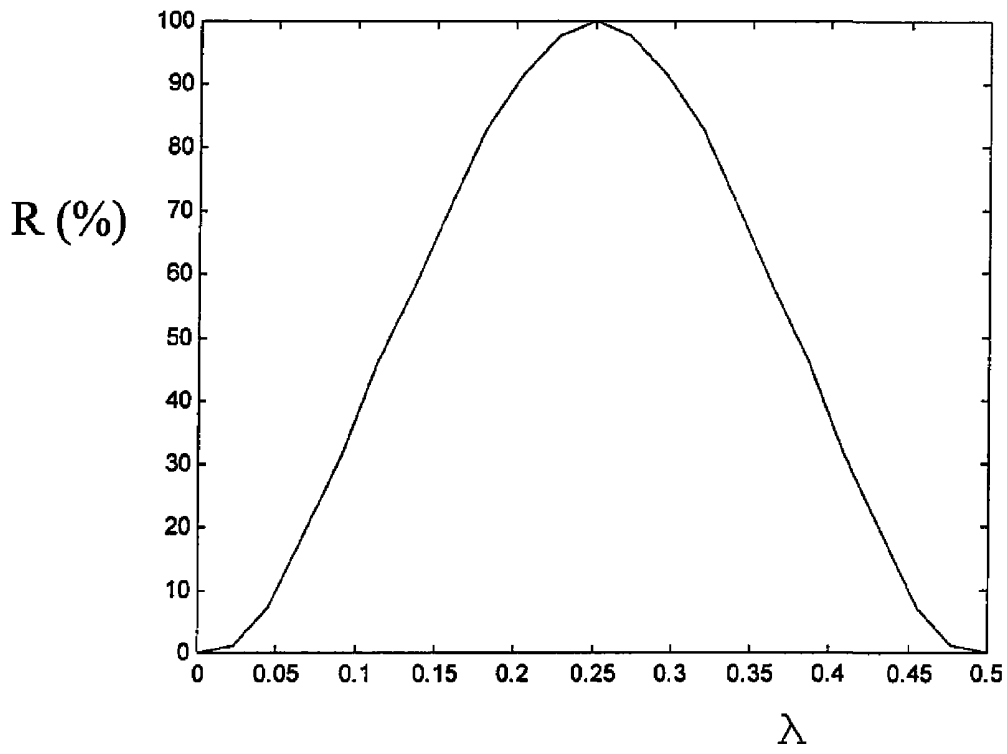


Fig. 5

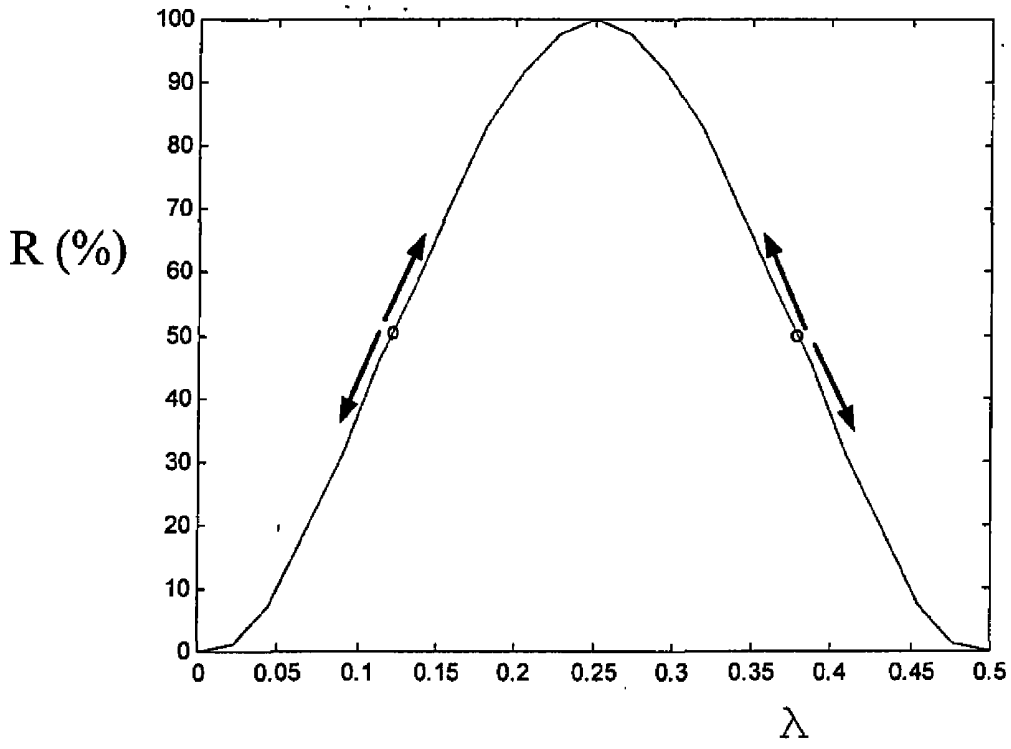


Fig. 6

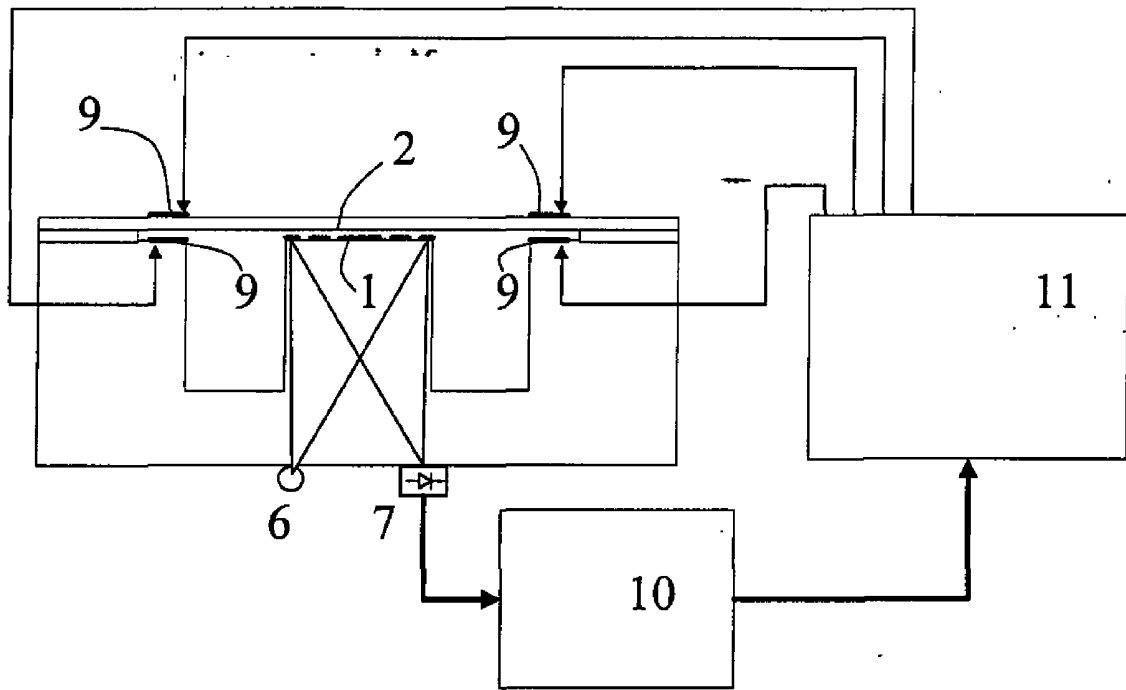


Fig. 7