



(12) PATENT

(19) NO

(11) 334730

(13) B1

NORGE

(51) Int Cl.

G01H 1/00 (2006.01)

G01B 9/02 (2006.01)

Patentstyret

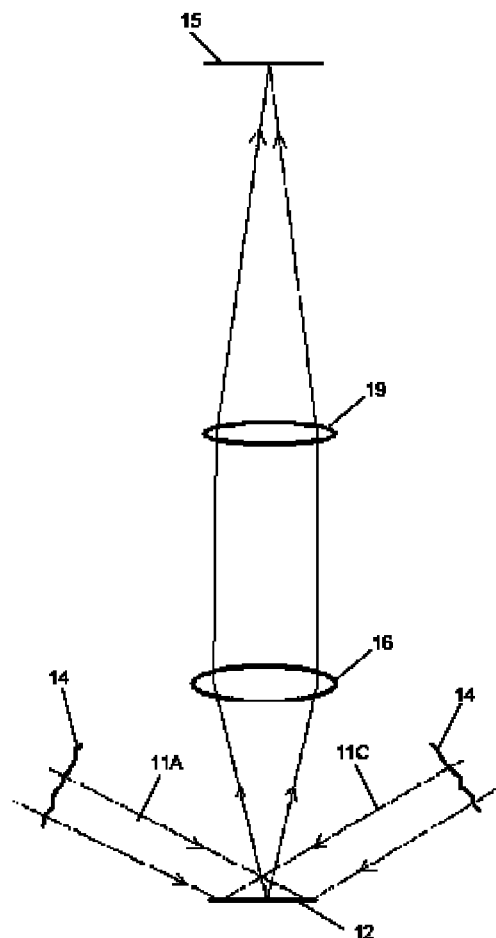
(21)	Søknadsnr	20121458	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr
(22)	Inng.dag	2012.12.05	(85)	Videreføringsdag
(24)	Løpedag	2012.12.05	(30)	Prioritet
(41)	Alm.tilgj	2014.05.19		
(45)	Meddelt	2014.05.19		
(73)	Innehaver	Optonor AS, Bromstadvn. 59, 7047 TRONDHEIM, Norge		
(72)	Oppfinner	Eiolf Vikhagen, Bromstadveien 44, 7045 TRONDHEIM, Norge		
(74)	Fullmektig	Curo AS, Industriveien 53, 7080 HEIMDAL, Norge		

(54) Benevnelse **Fremgangsmåte for vibrasjonsmåling og interferometer**

(56) Anførte publikasjoner
US 5229832 A
US 2003/0037616 A1

(57) Sammendrag

Fremgangsmåte og system for å måle vibrasjoner i to eller tre retninger i objekter (12) ved å benytte tre belyningsstråler (11A-C) for måling av i-planet vibrasjoner i to retninger, hvor en av de tre belyningsstrålene (11A-C) er felles for de to i-planet målingene, og hvor de tre belyningsstrålene (11A-C) er konfigurert for å gi tilgjengelig rom på en side av objektet (12) for lettere tilgang til objektet. Fremgangsmåten og systemet er videre innrettet for å benytte to belyningsstråler (30A-B) for måling av vibrasjoner i objektet (12) i en tredje retning, hvilken tredje retning er ut-av-planet retning, hvor en belyningsstråle (30A) belyser objektet (12) gjennom et avbildningsobjektiv (16) og en belyningsstråle (30B) er brukt som referansestråle.



FREMANGSMÅTE FOR VIBRASJONSMÅLING OG INTERFEROMETER

Den foreliggende oppfinnelsen gjelder en fremgangsmåte for vibrasjonsmåling i samsvar med innledningen til patentkrav 1.

- 5 Den foreliggende oppfinnelsen gjelder også et interferometer i samsvar med innledningen til patentkrav 17.

Spesielt gjelder denne oppfinnelsen en fremgangsmåte for måling av vibrasjoner i to eller tre retninger, samt beskriver et interferometer for denne anvendelsen.

10 Bakgrunn

Det finnes i dag en rekke av optiske interferometriske teknikker og instrumenter for måling av geometriske størrelser som avstand, overflateform, dimensjoner, bevegelser og vibrasjoner. Norsk patent 314323 og dens patentfamilie er bare ett eksempel, hvor det er beskrevet hardware og algoritmer for å måle vibrasjoner i små strukturer ved bruk av interferometer og såkalt tidsmidling.

- 15 Dette er en todimensjonal løsning med en enkelt følsomhetsretning for målingen.

US5229832 A beskriver et dobbelt interferometer for samtidig måling av i-planet og ut-av-planet ultrasonisk bevegelser av overflaten til materialer omfattende en enkelt laserkilde, optiske fibre, optiske kobler og delere, et fasekonjugerende speil, samt et banelengdestabiliserende system omfattende en piezo-elektrisk kompensator.

- 20 Tredimensjonale vibrasjonsopptak og systemer for tredimensjonale målinger er kjent teknologi i dag.

Et hovedproblem med tredimensjonale målinger er å måle og finne den relative vibrasjonsfasen mellom ulike retninger. Dersom objektet vibrerer med en vibrasjon med stabil tilstand med konstant frekvens og amplitude, er det mulig å måle vibrasjoner i en retning av gangen, for eksempel i X-retningen først, så i Y-retning, og til slutt i Z-retning. Men å finne faserelasjonen mellom de ulike retningene og ulike målingene kan være vanskelig.

- 25 En måte å løse dette på er ved å utføre målinger i de ulike retningene samtidig og på samme tid, og dermed finne den tidsmessige relasjonen mellom ulike målinger.

Dersom objektet som analyseres er avbildet fra en gitt retning, vil de fleste interferometriske system måle vibrasjoner i denne observasjonsretningen, for eksempel som beskrevet i søkerens norske patent 314323. Belysningen av objektet, gjort med en laserstråle eller med en annen (delvis) koherent lyskilde, vil da være på linje med observasjonsretningen. For i-planet målinger, hvor følsomhetsretningen er vinkelrett, eller i det minste med en komponent vinkelrett på observasjonsretningen, vil belysningen normalt komme fra en annen retning enn observasjons-

- 35 retningen, når interferometriske metoder blir brukt. Et typisk oppsett for i-planet målinger med en

følsomhetsretning vinkelrett på observasjonsretningen, består av to belysningsstråler fra hver side, som vist i Figur 1.

I dette tilfellet er det ikke behov for en intern referansestråle i interferometeret siden interferens og interferometrisk følsomhet er oppnådd ved interferens mellom de to belysningsstrålene.

Med et oppsett som i Figur 1, kan målinger utføres i en enkelt i-planet retning. En vanlig prosedyre vil så være å belyse objektet med to andre lyskilder fra andre retninger for å oppnå følsomhet i den andre i-planet retningen. De to første lyskildene kan også bli flyttet til nye posisjoner for denne andre målingen. En ulempe med denne måten å utføre i-planet målinger i to retninger på, er behovet for plass for belysningskildene i ulike retninger rundt objektet som analyseres.

Kjente løsninger lider av lite tilgjengelig plass på en side av objektet som skal analyseres, samt vanskelig tilgang til objektet for brukeren.

Dersom fire belysningsstråler blir brukt, to i gangen, eller alternativt, alle fire på samtidig for i-planet målinger i to retninger, kan det også være vanskelig å finne faserelasjonen mellom målingene i de to i-planet retningene.

Det finnes også noen systemer for i-planet målinger basert på prinsipper med stroboskopisk belysning eller stroboskopisk avbildning. Disse systemene har problemer knyttet til målinger av høye frekvenser, og også problemer med begrenset amplitude-oppløsning.

Det er følgelig et behov for en fremgangsmåte og et interferometer som kan benyttes for både todimensjonale opptak og fulle tredimensjonale opptak av vibrasjoner i små og mikroskopiske objekter.

Det er følgelig et behov for en fremgangsmåte og et interferometer som kan utføre både i-planet målinger og ut-av-planet målinger.

Formål

Hovedformålet med den foreliggende oppfinnelsen er å tilveiebringe en fremgangsmåte og et interferometer som løser de ovenfor nevnte problemene med kjent teknikk.

Et formål med foreliggende oppfinnelse er å tilveiebringe en fremgangsmåte og et interferometer som er innrettet for måling av vibrasjoner i et objekt i to eller tre retninger.

Et annet formål med den foreliggende oppfinnelsen er å tilveiebringe en fremgangsmåte og et interferometer som tilveiebringer vibrasjonsfase-forhold mellom de to i-planet retningene.

Videre er det et formål med den foreliggende oppfinnelsen å tilveiebringe en fremgangsmåte og et interferometer som også tilveiebringer vibrasjonsfase-forhold mellom de to i-planet retningene og en tredje ut-av-planet retning.

Det er videre et formål med den foreliggende oppfinnelsen å tilveiebringe en fremgangsmåte og et interferometer som kan tilveiebringe tilgjengelig klaring på en side av objektet som analyseres for å tilveiebringe lettere tilgang til objektet for brukeren.

5 Et formål med den foreliggende oppfinnelsen er å tilveiebringe en fremgangsmåte og et interferometer for måling av et objekt i to eller flere følsomhetsretninger, en retning i gangen, hvor objektet belyses med en eller flere koherente belyningsstråler samtidig.

Et formål med den foreliggende oppfinnelsen er å tilveiebringe en fremgangsmåte og et interferometer som kan utføre målinger både i-planet og ut-av-planet.

10 Det er videre et formål med den foreliggende oppfinnelsen å tilveiebringe en fremgangsmåte og et interferometer som anvender tre belyningsstråler for i-planet målinger i to retninger.

Det er et formål med den foreliggende oppfinnelsen å tilveiebringe en fremgangsmåte og et interferometer innrettet for bruk av to belyningsstråler for måling i en ut-av-planet retning, og hvor en av de to belyningsstrålene blir benyttet som en referansestråle.

15 Det er et formål med den foreliggende oppfinnelsen å tilveiebringe en fremgangsmåte og et interferometer innrettet for fasemodulasjon av belynings- eller referansestråle for ut-av-planet målinger.

Et formål med den foreliggende oppfinnelsen å tilveiebringe en fremgangsmåte og et interferometer innrettet for translasjon og/eller rotasjon av optiske diffusorer i belyningsstrålebaner for å tilveiebringe endringer i speckle-mønstre.

20 Det er videre et formål med den foreliggende oppfinnelsen å tilveiebringe en fremgangsmåte og et interferometer som tilveiebringer fulle tredimensjonale opptak av vibrasjoner, spesielt i små og mikroskopiske objekter, men som samtidig er anvendelig på større strukturer.

25 Det er også et formål med den foreliggende oppfinnelsen å benytte fasemodulasjon og tidsmidlingsopptak for å muliggjøre måling ved høye frekvenser i alle retninger (i-planet og ut-av-planet).

Oppfinnelsen

En fremgangsmåte for måling av vibrasjoner i to eller tre retninger i objekter er angitt i patentkrav 1. Fordelaktige trekk ved fremgangsmåten er angitt i patentkravene 2-16.

30 Et interferometer for måling av vibrasjoner i to eller tre retninger i objekter er angitt i patentkrav 17. Fordelaktige trekk ved interferometeret er angitt i patentkravene 18-24.

Den foreliggende oppfinnelsen tilveiebringer en fremgangsmåte og et interferometer for måling av vibrasjoner i to eller tre retninger for et objekt under analyse.

Spesielt tilveiebringer den foreliggende oppfinnelsen en fremgangsmåte og et interferometer som omfatter bruk av et avbildningssystem i en interferometrisk konfigurasjon, hvor objektet belyses fra ulike retninger etter tur, for å oppnå målinger med følsomhet i tre retninger, fortrinnsvis X-, Y- og Z-retninger i et koordinatsystem.

- 5 Dette vil gi data for full tredimensjonal vektoriell vibrasjons-bevegelse av objektet under analyse.

Ifølge den foreliggende oppfinnelsen kan objektet avbildes på et detektor-array, som for eksempel kan være et ccd-array.

- 10 Ifølge den foreliggende oppfinnelsen vibrerer objektet med en frekvens i gangen, og objektets vibrasjonseksitasjon er innrettet for å styres av en styringsenhet anordnet til interferometeret.

Ifølge den foreliggende oppfinnelsen vibrerer objektet over en gitt tidsperiode med konstant frekvens og konstant amplitude. Målinger gjøres i denne tidsperioden, som kan vare fra mindre enn et sekund og opp til flere minutter.

- 15 Den foreliggende oppfinnelsen er innrettet for bruk av såkalt tidsmidlingsopptak, hvor et detektor-array eksponerer over én eller mange vibrasjonsperioder, men den foreliggende oppfinnelsen kan også brukes med opptaksprinsipper involverer kort eksponeringstid sammenlignet med vibrasjonsperioden.

- 20 Ifølge den foreliggende oppfinnelsen er objektet målt med to eller flere følsomhetsretninger, en retning i gangen, hvor objektet belyses med en eller flere koherente belyningsstråler samtidig. I et XYZ-koordinatsystem, er målinger fortrinnsvis gjort i X-, Y- og Z-retning etter tur. Dersom XY-planet representerer i-planet retninger for objektet, og Z-retningen representerer ut-av-planet retningen, Z-målinger vil da bli gjort ved belysning av objektet med en enkelt belyningsstråle, samt også ved bruk av en referansestråle i tillegg, hvilken er ekspandert for å belyse detektor-arrayet direkte.

- 25 For i-planet målinger benyttes to belyningsstråler for X-retningen og to belyningsstråler for Y-retningen, hvor en belyningsstråle er felles for de to retningene.

Ifølge den foreliggende oppfinnelsen omfatter interferometeret fortrinnsvis en modulator og en styringsenhet. Styringsenheten kontrollerer eksitasjonen av objektet og kontrollerer også en referansemulator samtidig. Modulatoren fungerer som en tidsreferanse for signaler anvendt for objekt-eksitasjon og målinger i alle retningene X, Y og Z.

- 30 Følgelig beskriver den foreliggende oppfinnelsen en fremgangsmåte og et interferometer som kan bli brukt for både todimensjonale opptak og for fulle tredimensjonale opptak av vibrasjoner i små og mikroskopiske objekter. Oppfinnelsen kan også anvendes på større strukturer.

- 35 En fremgangsmåte for å måle vibrasjoner i to eller tre dimensjoner i objekter omfatter ifølge oppfinnelsen bruk av tre belyningsstråler for måling av i-planet vibrasjoner i to retninger, hvor en av de tre belyningsstrålene er felles for de to i-planet målingene, og hvor de tre belynings-

strålene er konfigurert til å gi tilgjengelig rom på en side av objektet for lettere tilgang til objektet for brukeren.

5 Fremgangsmåten kan videre omfatte bruk av to belyningsstråler for måling av vibrasjoner av objektet i en tredje retning, hvilken tredje retning er ut-av-planet retningen, hvor en belyningsstråle belyser objektet gjennom et avbildningsobjektiv, og en belyningsstråle blir brukt som referansestråle.

10 Fremgangsmåten kan videre omfatte bruk av en algoritme hvor objektet er eksitert med en frekvens i gangen, og hvor en eller flere fasemodulatorer blir anvendt for å tilveiebringe en dynamisk fasemodulasjon av en av de to belyningsstrålene anvendt for hvert opptak i hver retning.

Fremgangsmåten kan videre omfatte bruk av samme den samme modulatorene for de to i-planet målingene, idet en av belyningsstrålene er fasemodulert og denne belyningsstrålen er felles for de to i-planet målingene.

15 Fremgangsmåten kan videre omfatte bruk av samme, eller en annen fasemodulator for måling av en tredje ut-av-planet retning, hvor modulatorene også fasemodulerer en av de to belyningsstrålene anvendt for ut-av-planet målinger.

Fremgangsmåten kan videre omfatte bruk av optiske diffusorer i belyningsstrålene for i-planet målinger, samt bevegelse av diffusorene ved translasjon og/eller rotasjon for å oppnå endringer i speckle-mønstre i belyningsstrålene.

20 Fremgangsmåten kan videre omfatte bruk av en optisk diffusor i objekt-belysningsbanen for ut-av-planet måling, samt bevegelse av diffusoren ved translasjon og/eller rotasjon for å oppnå endringer i speckle-mønster i belyningsstrålen.

25 Fremgangsmåten kan videre omfatte bruk av en polariserende stråledeler og en retardasjonsplate eller kvartbølgeplate i belyningsbanen for ut-av-planet målingen, for å unngå at refleksjoner fra avbildningsobjektivet når detektor-arrayet.

Fremgangsmåten kan videre omfatte bruk av et fullt felt detektor-array for deteksjon av signaler i interferometeret.

Fremgangsmåten kan videre omfatte utførelse av flere opptak, hvor hvert opptak er utført med ulikt intensitetsnivå i belyningsstråler og i detektor-array-avbildninger.

30 Fremgangsmåten kan videre omfatte bruk av en algoritme hvor signaler brukt for ulike punkter eller områder i det avbildede området er valgt fra ulike opptak med ulikt intensitetsnivå, som beskrevet ovenfor, for å oppnå gode eller akseptable signaler fra alle punkter, eller de fleste punkter, på objektets overflate.

Fremgangsmåten kan videre omfatte utførelse av vibrasjonsmålinger i tre, alternativt to, separate retninger ved bruk av samme modulatorsignal som tidsreferanse for de tre- eller todimensjonale målingene.

5 Fremgangsmåten kan videre omfatte bruk av konstant objekteksitasjon med konstant amplitude og frekvens for objektet gjennom opptak i tre eller to retninger.

Fremgangsmåten kan videre omfatte kombinasjon av tre- eller todimensjonale målinger for å oppnå en full tre- eller todimensjonal forskyvningsvektor for alle punktene på den avbildede overflaten for objektfrekvens og amplitude benyttet i de tre- eller todimensjonale målingene.

10 Fremgangsmåten kan videre omfatte plotting av en full tre- eller todimensjonal animasjon av objektets overflatebevegelse.

Eksempel

Oppfinnelsen vil nå bli beskrevet mer detaljert med henvisning til de vedlagte tegningene, hvor:

Figur 1 viser en typisk oppstilling for i-planet målinger i samsvar med kjent teknikk,

15 Figur 2 viser en prinsippskisse for et interferometer i samsvar med en første utførelsesform av den foreliggende oppfinnelsen,

Figur 3 viser en prinsippskisse av i-planet målinger i samsvar med den foreliggende oppfinnelsen,

Figur 4 viser i-planet målinger, som i Figur 3, men med projeksjonen sett ovenfra,

20 Figur 5 viser et eksempel på et konkret design av et optisk hode for et interferometer i samsvar med den foreliggende oppfinnelsen,

Figur 6 er en prinsippskisse av vibrasjonsmåling i ut-av-planet retningen i samsvar med den foreliggende oppfinnelsen,

25 Figur 7 viser en prinsippskisse av vibrasjonsmålinger i tre retninger i samsvar med den foreliggende oppfinnelsen, og

Figur 8 viser et plott av et eksempel på en overflatevibrasjon av et lite objekt, der vibrasjonen er målt i de tre retningene X, Y og Z, og hvor de tredimensjonale vibrasjonsdataene er kombinert i en enkelt animasjon av objektvibrasjonen.

30 Det henvises nå til Figur 1, som viser et typisk oppsett for et interferometer for i-planet målinger i samsvar med eksisterende teknologi, med en følsomhet vinkelrett på observasjonsretningen. Interferometeret omfatter minst en belysningskilde (ikke vist), så som en koherent lyskilde i form av en laser, for belysning av et objekt 12 med to belysningsstråler 11A og henholdsvis 11C, samtidig fra hver sin side av objektet 12 som skal analyseres. Med et slikt
35 interferometer er det ikke behov for en intern referansestråle, idet interferens og interferometrisk

følsomhet er oppnådd ved interferens mellom de to belysningsstrålene 11A og 11C. Med et slikt interferometer belyser man vanligvis objektet 12 med to ulike sett belysningskilder fra ulike retninger for å oppnå følsomhet i begge i-planet retningene, eventuelt ved å flytte de to første belysningskildene til andre posisjoner. Et interferometer omfatter videre en avbildnings-

5 objektivlinse 16, som typisk kan være et mikroskopobjektiv, et detektor-array 15, som typisk kan være et ccd-array, og eventuelt en andre linse 19 for fokusering av reflektert lys fra objektet 12 på detektor-arrayet 15. Linsen 16 kan også være innrettet for å fokusere objektbildet direkte på detektor-arrayet 15 uten bruk av den andre linsen 19.

Det henvises nå til Figur 2 som viser en prinsippskisse i samsvar med den førte utførelsesform av den foreliggende oppfinnelse. Interferometeret i samsvar med den første utførelsesformen omfatter de samme komponentene som beskrevet over under Figur 1, men omfatter videre diffusorplater 14 som er bevegelige med en translasjons- og/eller rotasjonsbevegelse, for å endre spekle-mønsteret i belysningsstrålene 11A og 11C. Interferometeret kan også videre omfatte minst en styringsenhet som vanligvis er innrettet for å kontrollere fasemodulasjon og/eller faseskift av belysningsstrålene 11A og 11C., kontrollere en eksitasjonsenhet for eksitasjon av objektet 12, samt kontrollere innhenting og digitalisering av måledata fra detektor-arrayet 15. Det bør nevnes at i den foreliggende oppfinnelse benyttes ikke belysningsstrålene 11A og 11C samtidig, som ved løsninger av kjent teknikk beskrevet i Figur 1.

Det henvises nå til Figur 3 som er en prinsippskisse av i-planet målinger i samsvar med den foreliggende oppfinnelsen, hvor to belysningsstråler 11B og 11C blir brukt for målinger av objektet 12 i X-retning, og to belysningsstråler 11A og 11B blir brukt for målinger av objektet i Y-retning, hvor belysningsstråle 11B er en felles belysningsstråle for de to retningene. Alle belysningsstråler 11A-C må være tilstrekkelig ekspandert for å belyse hele den delen av objektet som skal bli målt.

Det henvises nå til Figur 4 som viser i-planet målinger som i Figur 3, men med projeksjonen sett ovenfra. For målinger i X-retningen er belysningsstrålene 11B og 11C slått på, mens belysningsstråle 11A er slått av. For målinger i Y-retningen er belysningsstrålene 11A og 11B slått på, mens belysningsstråle 11C er slått av.

Som vist i Figur 3 og 4 er det tilgjengelig rom på den ene siden av objektet 12, det vil si på motsatt siden av belysningsstråle 11B. Følgelig tilveiebringer den foreliggende oppfinnelsen lettere tilgang til objektet 12 for brukeren.

Det vises nå til Figur 5 som viser et eksempel på et konkret design av et interferometrisk hode for et interferometer i samsvar med den foreliggende oppfinnelsen. Figuren viser et mikroskopobjektiv 16 som ser ned mot objektet 12, samt de tre belysningsstrålene 11A, 11B og 11C for i-planet målinger som kommer ned på objektet 12. Belysningsstråle 11B, som er felles for X- og Y-

målinger, er nå den strålen som kommer fra baksiden. Belysningsstråle 11C er til venstre og belysningsstråle 11A er til høyre i Figur 5.

Belysningsstrålene 11A-C kan ha ulike innfallsvinkler mot objektet 12, men mest hensiktsmessig er at belysningsstrålene 11A og 11C er motstående hverandre, som vist i projeksjonen ovenfra (Figur 4), mens belysningsstråle 11B er vinkelrett på belysningsstrålene 11A og 11C i projeksjonen sett ovenfra (sett med Z-aksen som observasjonsretning som vist i Figur 4). Innfallsvinkelen mellom de ulike belysningsstrålene 11A-C og XY-planet kan bli valgt til alle verdier fra nær null og opp til nær nitti grader. Det vil være mest hensiktsmessig å velge samme vinkel mellom de tre belysningsstrålene 11A-C og XY-planet, for eksempel førtifem grader eller tretti grader.

I samsvar med den foreliggende oppfinnelsen kan belysningsstrålene 11A, 11B og 11C være kollimerte, eller de kan også være fokusert mot et tenkt punkt under eller over objektoverflaten, eller belysningsstrålene 11A-C kan også være konvergerende fra (et tenkt) punkt i, eller over belysningskilden.

Belysningsstrålene 11A-C kan også gå gjennom diffusorplater 14, som vist for to av belysningsstrålene 11A og 11C i Figur 2. Dersom det er benyttet en diffusorplate 14 i belysningen som vist i Figur 2, kan diffusorplaten 14 være bevegelig med en translasjons- eller rotasjonsbevegelse for å endre speckle-mønsteret i lysbølgen oppnådd når lysbølgen har passert diffusorplaten 14.

For å oppnå såkalt speckle-midling kan flere opptak på detektor-arrayet 15 midles, hvor speckle-mønsteret endres mellom eksponeringene.

For målinger i Z-retning blir objektet 12 belyst av en enkelt stråle, fortrinnsvis i Z-retningen.

Det henvises nå til Figur 6 som er en prinsippsskisse av vibrasjonsmåling i Z-retningen, det vil si i ut-av-planet retningen. Ifølge oppfinnelsen blir belysningen gjort ved hjelp av en belysningsstråle 30A gjennom en avbildnings-objektivlinse 16, som typisk kan være et mikroskopobjektiv.

Belysningslyset reflekteres fra en kubisk eller plan stråledeler 17, som fortrinnsvis kan være en polariserende stråledeler. Belysningslyset blir reflektert mot objektivlinsen 16 og går gjennom en retardasjonsplate eller en kvartbølgeplate 18 og gjennom linsen 16 og på objektoverflaten. Lys som reflekteres fra objektets overflate går tilbake gjennom objektivlinsen 16 og gjennom retardasjonsplaten eller kvartbølgeplaten 18 og gjennom (den polariserende) stråledeleren 17, og dette lyset fokuseres på detektor-arrayet 15 ved hjelp av den andre linsen 19. I en alternativ utførelsesform kan også linsen 16 være innrettet for å fokusere objektbildet direkte på detektor-arrayet 15, slik at den andre linsen 19 kan unnværes.

Dersom stråledeleren 17 er en polariserende stråledeler bør fortrinnsvis en lineær polarisator brukes før lyset ankommer den polariserende stråledeleren 17, som vist i Figur 6. Med oppsettet i Figur 6, hvor polarisasjonen av belysningslyset er rotert nitti grader etter at det har passert retardasjonsplaten (kvartbølgeplaten) 18 to ganger på vei ned og opp igjen, unngår man

refleksjoner fra objektivlinsen 16 i å nå detektor-arrayet 15, idet lys reflektert fra objektivlinsen 16 blir reflektert tilbake mot belysningskilden av den polariserende stråledeleren 17.

Belysningsstrålen 30A kan også gå gjennom en diffusorplate 14 før den kommer til stråledeleren 17, som vist i Figur 6. Dersom en diffusorplate 14 blir benyttet i belysningen, som vist i Figur 6, kan denne diffusorplaten 14 være bevegelig med translasjons- og/eller rotasjonsbevegelser for å endre speckle-mønsteret i belysningslysbølgen oppnådd når belysningslysbølgen har passert diffusorplaten 14. For å oppnå såkalt speckle-midling kan flere eksponeringer på detektor-arrayet 15 bli midlet, hvor speckle-mønsteret endres mellom eksponeringene.

Dersom oppfinnelsen blir benyttet for fulle tredimensjonale målinger av objektet 12 under analyse, kan det interferometriske oppsettet være slik vist i Figur 7, hvor den optiske konfigurasjonen av både i-planet målinger og ut-av-planet målinger er kombinert i samme interferometer. Kun to av de tre i-planet strålene er vist i Figur 7.

Full tredimensjonal måling av objektet 12 under analyse omfatter tre separate målinger med ulik følsomhetsretning. Følsomhetsretningene vil fortrinnsvis være i X-, Y- og Z-retningene i samsvar med Figurene 3 til 5. Eksitasjonen av objektet 12 er fortrinnsvis kontrollert av en styringsenhet, fortrinnsvis ved bruk av en signalgenerator. Styringsenheten kan også være innrettet for å endre fasen i belysningsbølgen i minst to av fem belysningsbølger anvendt for en full tredimensjonal måling. Denne faseendringen kan være dynamisk, med en frekvens lik eller nær eksitasjonsfrekvensen for objektet 12. Faseendringen kan også gjøre i trinn, for å bli anvendt med såkalte faseskift-algoritmer. Styringsenheten bør kunne utføre både dynamisk og trinnvis faseskift samtidig. For alle målinger (i X-, Y- og Z-retningen) er to belysningsstråler 11A-C, 30A-B benyttet for hver måling. De dynamiske og trinnvise faseskiftene kan bli anvendt på en og samme belysningsstråle 11A-C, 30A-B som blir brukt for hver måling, eller det dynamiske faseskiftet kan bli anvendt på en av belysningsstrålene 11A-C, 30A-B mens det trinnvise faseskiftet kan anvendes på de andre belysningsstrålene 11A-C, 30A-B.

For i-planet målinger i X- og Y-retninger kan belysningsstråle 11B i Figurene 3-5, som er felles for X- og Y-målinger, med fordel brukes for dynamisk faseskift. For ut-av-planet målinger i Z-retningen kan begge av de to lysstrålene 30A-B (belysningsstrålen 30A og referansestrålen 30B vist i Figurene 6 og 7) bli benyttet for dynamisk og/eller trinnvis faseskift.

Gjennom opptakene utført med tidsmidlings-prinsippet, kontrollerer styringsenheten eksitasjonen av objektet 12, samt faseskift av strålene 11A-C, 30 A-B. Den foreliggende oppfinnelsen anvender en algoritme hvor flere detektor-array eksponeringer (bilder) tas opp mens styringsenheten kontrollerer og endrer parametre som:

i) tidsmessig fase mellom objekt eksitasjon og dynamisk faseskift i belysningsstrålene 11A-C, 30 A-B,

ii) endrer optisk fase i belysningsstrålene 11A-C, 30A-B,
 iii) endrer speckle-mønster ved å endre posisjon av diffusorer 14 som anvendes,
 iv) endringer i eksponeringsnivå ved justering av elektronisk lukker, kameraforsterkning,
 belysningsintensitet, optiske aperturer og liknende.

5 Data tatt opp av styringsenheten blir så anvendt til å beregne amplituden og fasen av objektets vibrasjoner.

Med vinklet belysning for i-planet følsomhet, må noe av lyset reflektert fra objektets overflate være diffust reflektert. Hvis ikke, vil ikke noe lys bli reflektert mot avbildningslinsen 16. For å få lys reflektert til avbildningslinsen 16, må objektet vanligvis ha en ruhet i overflatetopografien. Vinklet
 10 belysning av ru overflater kan ofte gi ikke-uniform intensitet over objektoverflaten, spesielt ved observasjon fra andre retninger enn belysningsretningen. Dette kan gi problemer i interferometriske målinger, idet noen punkter eller områder på det avbildede objektet 12 får for mye lys, mens andre punkter eller områder får for lite lys til å oppnå målinger med god kvalitet.

Med den foreliggende oppfinnelsen, er måleprinsippet basert på bruk av flere opptak med ulik
 15 intensitet på detektorbildet av objektet 12, og hvor styringsenheten anvender en romlig utvelgelsesalgoritme for å velge signaler fra ulike opptak for ulike punkter eller områder. Dette betyr at noen punkter eller områder på det avbildede området benytter resultater fra ett opptak eller en eksponering, mens andre punkter eller områder bruker resultater fra andre opptak eller eksponeringer.

20 Når amplitude og fase for objektets vibrasjoner er målt i tre ulike retninger kan styringsenheten kombinere de tre resultatene for å finne en full tredimensjonal vibrasjonsmode eller vibrasjonskart for objektet ved den målte frekvensen.

Styringsenheten kan vise dette som et animert plott som indikert i Figur 8. I Figur 8 er det vist seks plott av den tredimensjonale objekt-bevegelsen, hver for forskjellige vibrasjonsfaser. Styrings-
 25 enheten kan lage mange slike plott, for eksempel tretti plott adskilt med tolv grader i forhold til en full 360-graders vibrasjonsperiode, for å vise et animert bilde av den tredimensjonale objekt-bevegelsen.

Oppfinnelsen kan også bli brukt på tilsvarende vis for vibrasjonsopptak i to dimensjoner, for eksempel for i-planet vibrasjoner i X- og Y-retning.

30 Følgelig er styringsenheten forsynt med midler og/eller programvare for en eller flere av følgende:

- utvelgelse av signaler anvendt for ulike punkter eller områder i et avbildet område fra ulike opptak ved ulike intensitetsnivå, for å oppnå godt eller akseptabelt signal fra alle punkter, eller de fleste punkter, på objektets overflate,

- gjøre målinger av vibrasjoner i to eller tre separate retninger ved bruk av samme modulator-signal som tidsreferanse for de tre- eller todimensjonale målingene,
 - anvende konstant objekteksitasjon med konstant amplitude og frekvens for objektet gjennom opptak i tre eller to retninger,
- 5 - kombinere de tre- eller to-dimensjonale målingene for å oppnå full tre- eller todimensjonal forskyvningsvektor for alle punktene på den avbildede overflaten for objektfrekvensen og amplituden brukt i den tre- eller todimensjonale målingen,
- plotting av full tre- eller todimensjonal animasjon av objektets bevegelse,
 - lagring av datasett for amplitude og fase i alle to eller tre retninger

Patentkrav

1. Fremgangsmåte for å måle vibrasjoner i to i-planet retninger, eller to i-planet retninger og en ut-av-planet retning i objekter (12) ved hjelp av et interferometer, **karakterisert ved at**
 - 5 fremgangsmåten omfatter:
 - å benytte tre belyningsstråler (11A-C) for måling av i-planet vibrasjoner i to retninger, hvor en av de tre belyningsstrålene (11A-C) er felles for de to i-planet målingene, og
 - hvor de tre belyningsstrålene (11A-C) er konfigurert til å gi tilgjengelig rom på den ene siden av objektet (12) for lettere tilgang til objektet.
- 10 2. Fremgangsmåte i samsvar med patentkrav 1, **karakterisert ved** bruk av to belyningsstråler (30A-B) for måling av vibrasjoner i objektet (12) i en tredje retning, hvilken tredje retning er ut-av-planet retning, hvor en belyningsstråle (30A) belyser objektet(12) gjennom et avbildningsobjektiv (16) og en belyningsstråle (30B) er benyttet som referansestråle.
- 15 3. Fremgangsmåte i samsvar med ett av patentkravene 1-2, **karakterisert ved at** objektet (12) eksiteres med en frekvens av gangen, samt bruk av en eller flere fasemodulatorer for å tilveiebringe en dynamisk fasemodulasjon i en av de to belyningsstrålene (11A-C, 30A-B) som benyttes for hvert opptak i hver retning.
- 20 4. Fremgangsmåte i samsvar med patentkrav 3, **karakterisert ved** bruk av samme modulator for de to i-planet målingene, idet en av belyningsstrålene (11A-C) fasemoduleres og denne belyningsstrålen (11A-C) er felles for de to i-planet målingene.
- 25 5. Fremgangsmåte i samsvar med ett av patentkravene 1-4, **karakterisert ved** bruk av den samme, eller en annen fasemodulator, for måling i den tredje ut-av-planet retningen, hvor modulatorens også fasemodulerer en av de to belyningsstrålene (30A-B) brukt til ut-av-planet målinger.
- 30 6. Fremgangsmåte i samsvar med ett av patentkravene 1-5, **karakterisert ved** bruk av optiske diffusorer (14) i belyningsstrålene (11A-C) for i-planet målinger, og bevegelse av diffusorene (14) ved translasjoner og/eller rotasjoner for å oppnå endringer i speckle-mønster for belyningsstrålene (11A-C).
- 35 7. Fremgangsmåte i samsvar med ett av patentkravene 2-6, **karakterisert ved** bruk av en optisk diffusor (14) i belyningsbanen for ut-av-planet målingen, og bevegelse av diffusoren (14) ved

translasjoner og/eller rotasjoner for å oppnå endringer i speckle-mønster i belysningsstrålene (30A-B).

5 8. Fremgangsmåte i samsvar med ett av patentkravene 2-7, **karakterisert ved** bruk av en polariserende stråledeler (17) og en retardasjonsplate eller kvartbølgeplate (18) i belysingsbanen for ut-av-planet målingene for å unngå at refleksjoner fra objektivlinsen (16) kommer på detektor-arrayet (15).

10 9. Fremgangsmåte i samsvar med ett av patentkravene 1-8, **karakterisert ved** bruk av et fullt felt detektor-array (15) for deteksjon av signaler i interferometeret.

10. Fremgangsmåte i samsvar med ett av patentkravene 1-9, **karakterisert ved** å utføre flere opptak, hvor hvert opptak er utført med ulikt intensitetsnivå på detektor-arrayet (15).

15 11. Fremgangsmåte i samsvar med ett av patentkravene 1-10, **karakterisert ved** å velge signaler brukt for ulike punkter eller områder på det avbildede området fra ulike opptak med ulikt nivå av intensitet, for å oppnå godt eller akseptabelt signal for alle punktene, eller de fleste punktene, på objektoverflaten.

20 12. Fremgangsmåte i samsvar med ett av patentkravene 1-11, **karakterisert ved** å utføre målinger av vibrasjoner i to eller tre separate retninger ved bruk av det samme modulator-signalet som tidsreferanse for de to- eller tredimensjonale målingene.

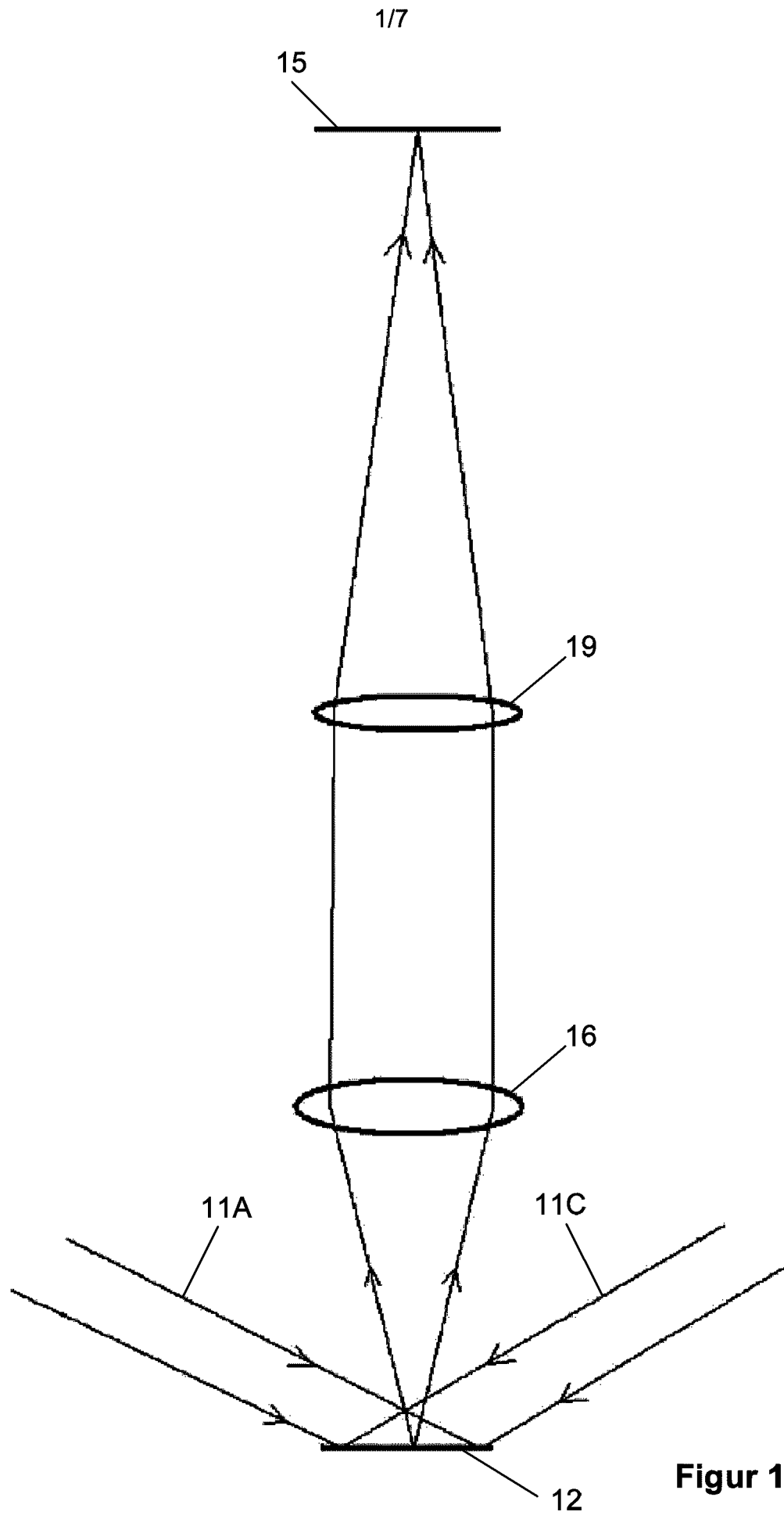
25 13. Fremgangsmåte i samsvar med ett av patentkravene 1-12, **karakterisert ved** bruk av en konstant objekteksitasjon med konstant amplitude og frekvens for objektet gjennom målingen i tre eller to retninger.

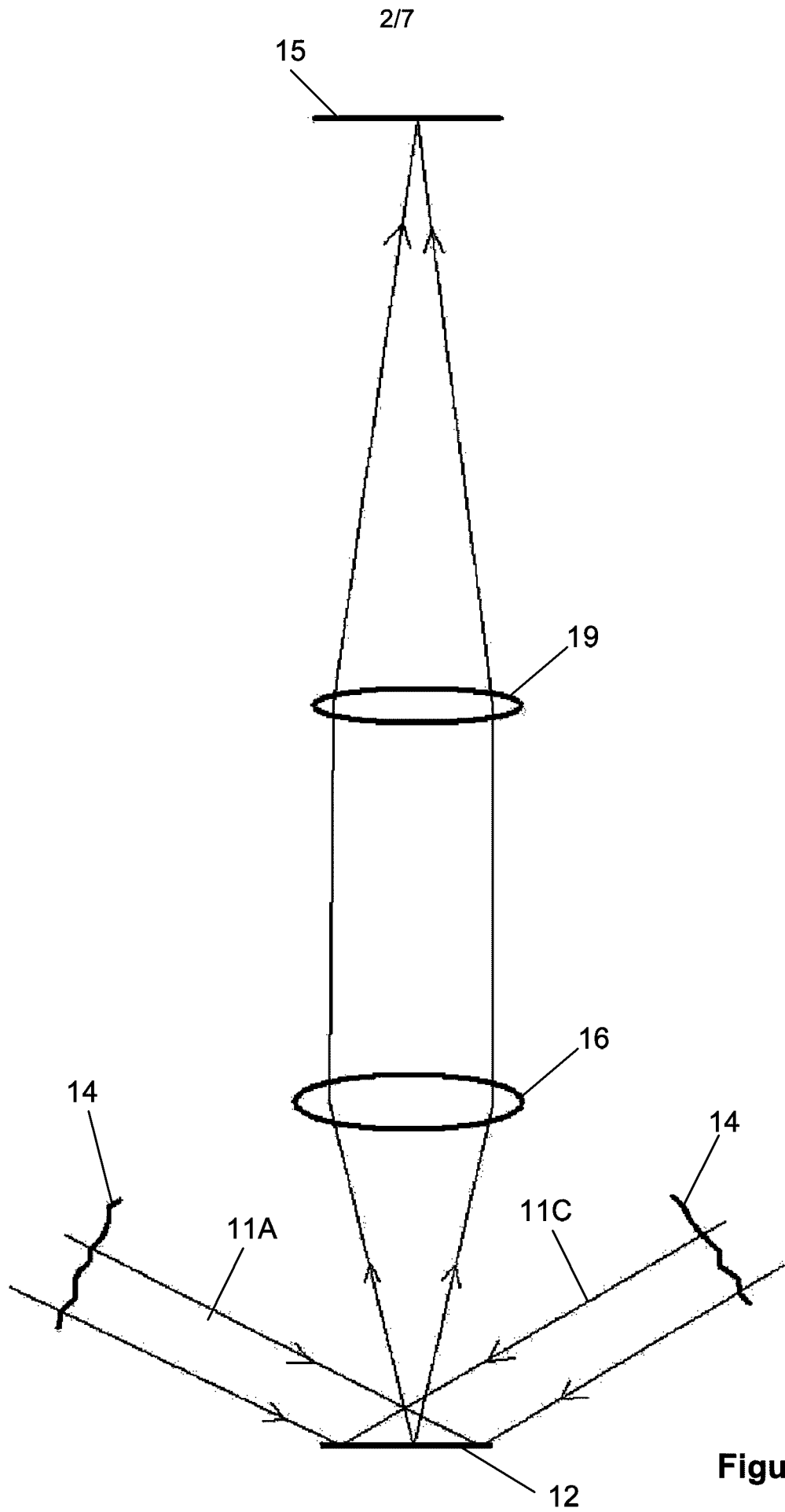
30 14. Fremgangsmåte i samsvar med ett av patentkravene 1-13, **karakterisert ved** kombinasjon av de tre- eller todimensjonale målingene for å oppnå en full tre- eller todimensjonal forskyvningsvektor for alle punkter i den avbildede overflaten for objektfrekvens og amplitude brukt i de tre- eller todimensjonale målingene.

35 15. Fremgangsmåte i samsvar med ett av patentkravene 1-14, **karakterisert ved** lagring av full felt datasett for amplitude- og faseverdier for alle objektpunkter på overflaten og for to eller tre retninger.

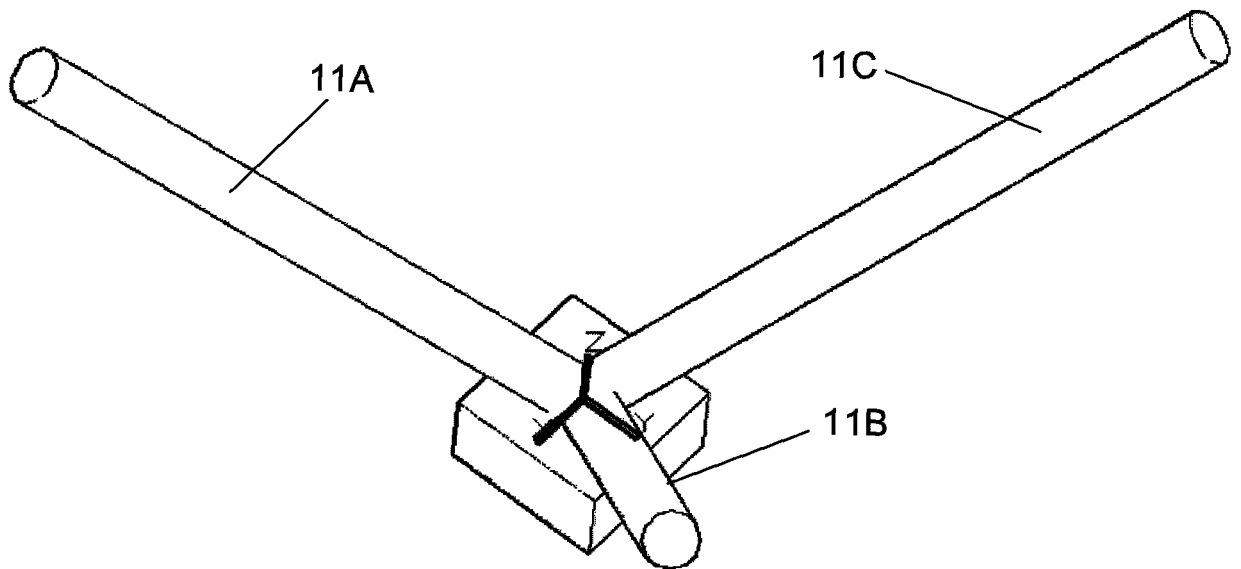
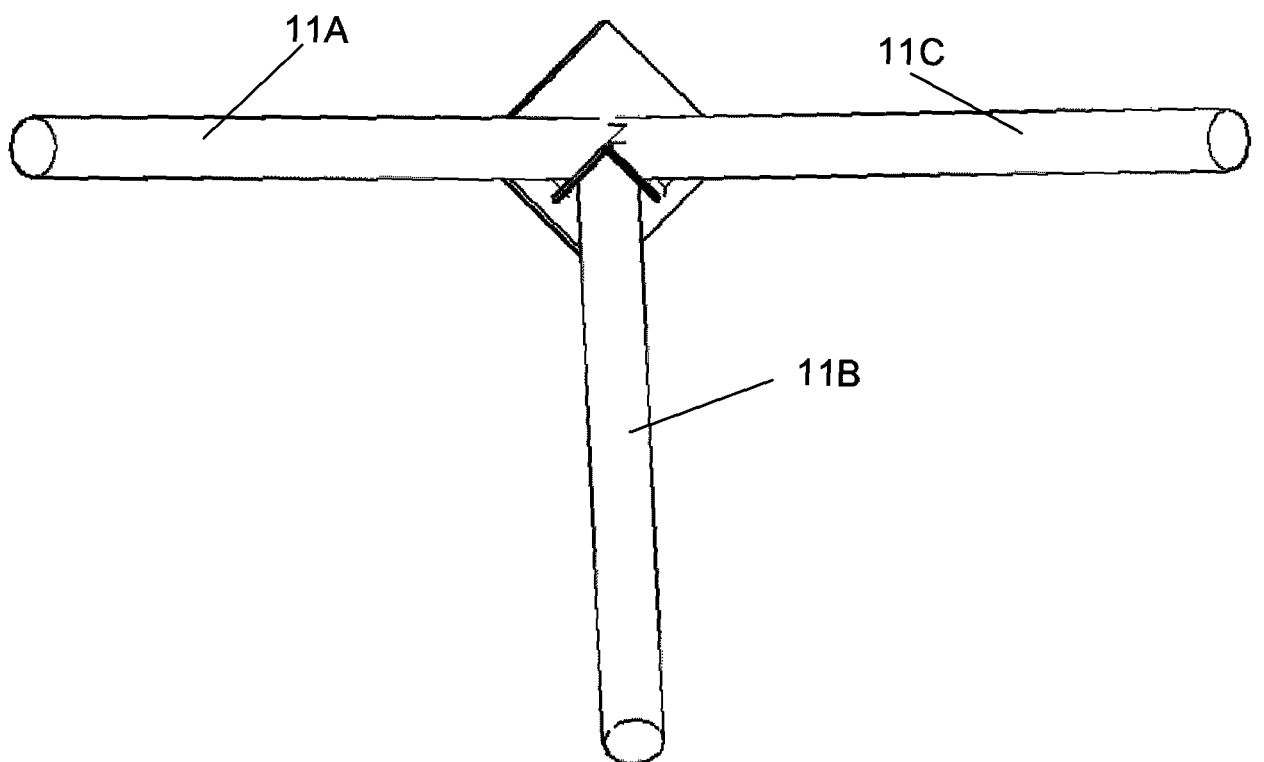
16. Fremgangsmåte i samsvar med ett av patentkravene 1-15, **karakterisert ved** plotting av en full tre- eller todimensjonal animasjon av bevegelsen av objektets overflate.
17. Interferometer for måling av vibrasjoner i to i-planet retninger, eller to i-planet retninger og en ut-av-planet retning i objekter (12), hvilket interferometer omfatter en styringsenhet, minst en belysningskilde, detektor-array (15), objektivlinse (16), **karakterisert ved** at minst en belysningskilde er innrettet for utstråling av tre belysningsstråler (11A-C) for måling av i-planet vibrasjoner i to retninger, hvor en av de tre belysningsstrålene (11A-C) er felles for de to i-planet målingene, samt at de tre belysningsstrålene (11A-C) er konfigurert for å tilveiebringe tilgjengelig rom på minst en side av objektet (12) for lettere tilgang til objektet.
18. Interferometer i samsvar med patentkrav 17, **karakterisert ved** at minst en belysningskilde er innrettet for utstråling av to belysningsstråler (30A-B) for måling av vibrasjoner i objektet (12) i en tredje retning, hvilken tredje retning er ut-av-planet retning, hvor en belysningsstråle (30A) belyser objektet (12) gjennom et avbildningsobjektiv (16) og en belysningsstråle (30B) er brukt som referansestråle.
19. Interferometer i samsvar med patentkravene 17-18, **karakterisert ved** at styringsenheten er forsynt med midler og/eller programvare for eksitasjon av objektet (12) med en frekvens av gangen.
20. Interferometer i samsvar med patentkravene 17-19, **karakterisert ved** at det omfatter en eller flere fasemodulatorer for å tilveiebringe dynamisk fasemodulasjon av en av de to belysningsstrålene (11A-C, 30A-B) brukt for hver av målingene i hver retning.
21. Interferometer i samsvar med patentkrav 17, **karakterisert ved** at det omfatter bevegelige optiske diffusorer (14) for endring av speckle-mønsteret i belysningsstrålene (11A-C) og/eller i objektbelysningsstrålene (30A-B) for ut-av-planet målinger.
22. Interferometer i samsvar med patentkrav 17, **karakterisert ved** at detektor-arrayet (15) er et full felts detektor-array.
23. Interferometer i samsvar med patentkravene 17-22, **karakterisert ved** at styringsenheten er forsynt med midler og/eller programvare for ett eller flere av følgende:

- valg av signaler brukt for ulike punkter eller områder av det avbildede området fra ulike opptak med ulikt intensitetsnivå for å oppnå godt eller akseptabelt signal fra alle punkter, eller de fleste punkter, på objektets overflate,
 - utføre målinger av vibrasjoner i to eller tre separate retninger ved bruk av samme modulatorsignal som tidsreferanse for de tre- eller todimensjonale målingene,
 - bruk av en konstant objekteksitasjon med konstant amplitude og frekvens for objektet gjennom målingene i tre eller to retninger,
 - kombinere de tre- eller todimensjonale målingene for å oppnå en full tre- eller todimensjonal forskyvningsvektor for alle punkter på den avbildede overflaten for objektfrekvens og amplitude brukt i de tre- eller todimensjonale målingene,
 - plotting av en full tre- eller todimensjonal animasjon av objektets overflatebevegelse,
 - lagring av datasett for amplitude og fase for alle to eller tre retninger.
24. Interferometer i samsvar med patentkrav 17, **karakterisert ved** at interferometeret omfatter en andre linse (19) for å fokusere reflektert lys til detektor-arrayet (15).

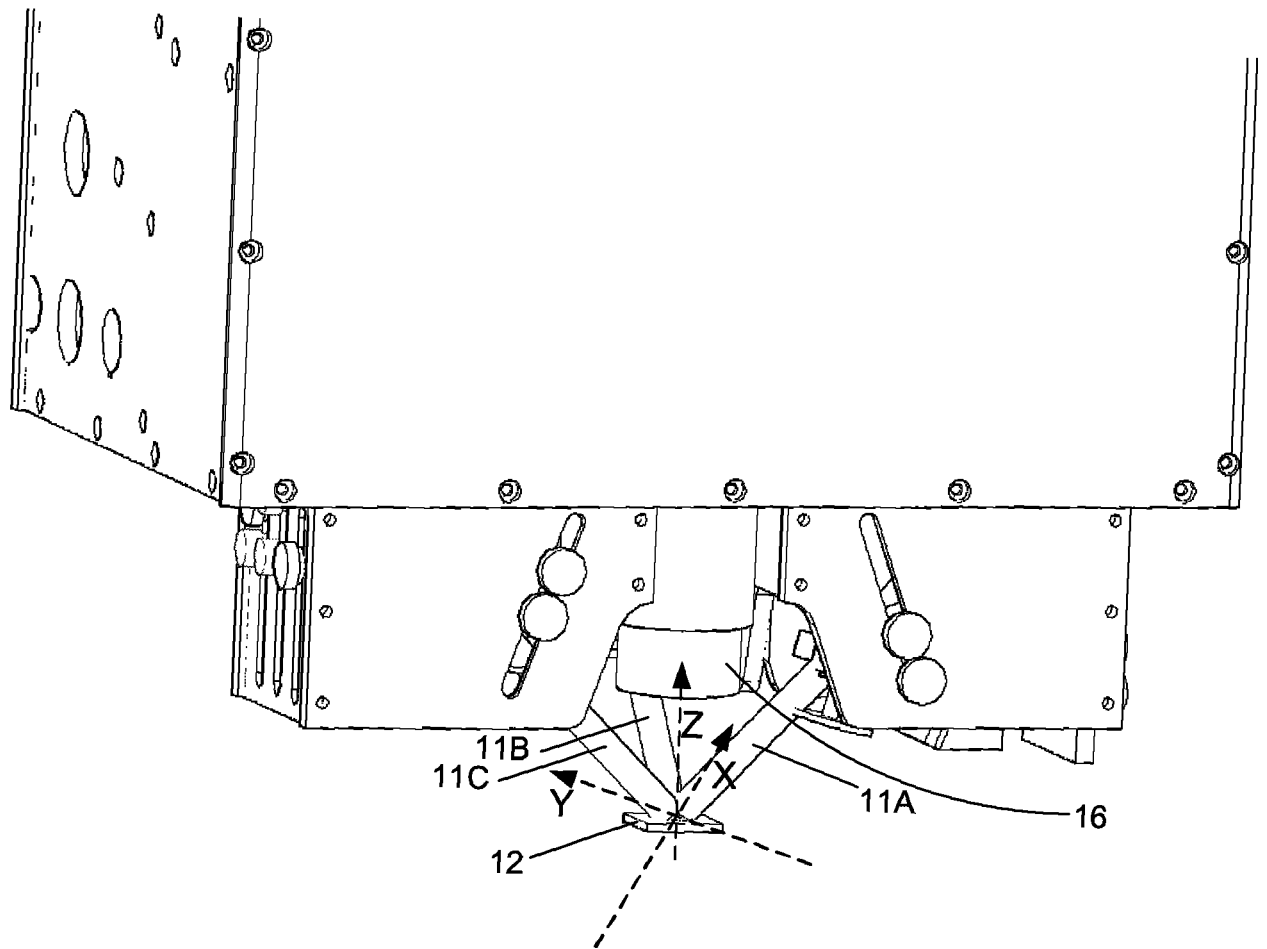
**Figur 1.**

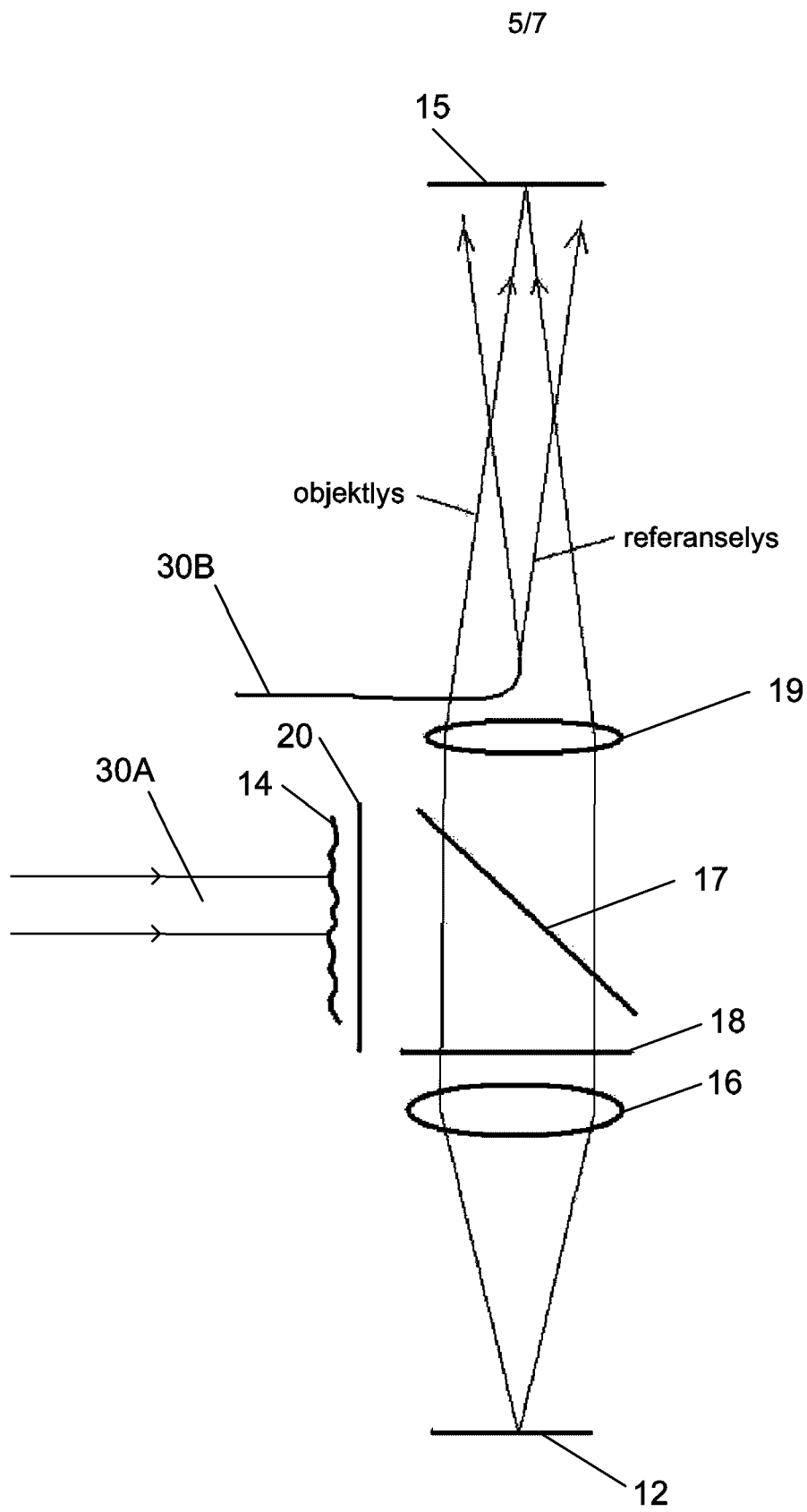
**Figur 2.**

3/7

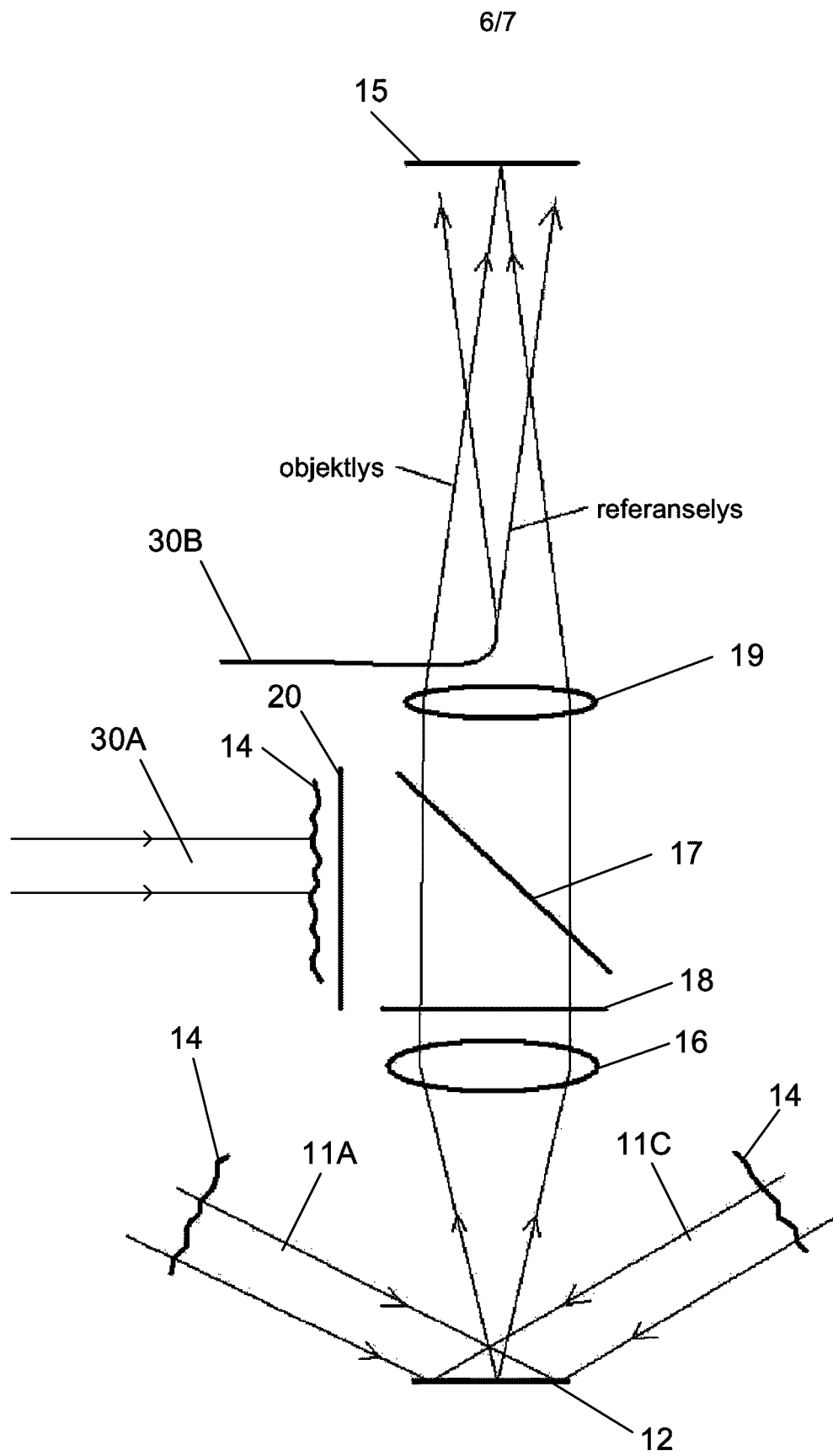
**Figur 3.****Figur 4.**

4/7

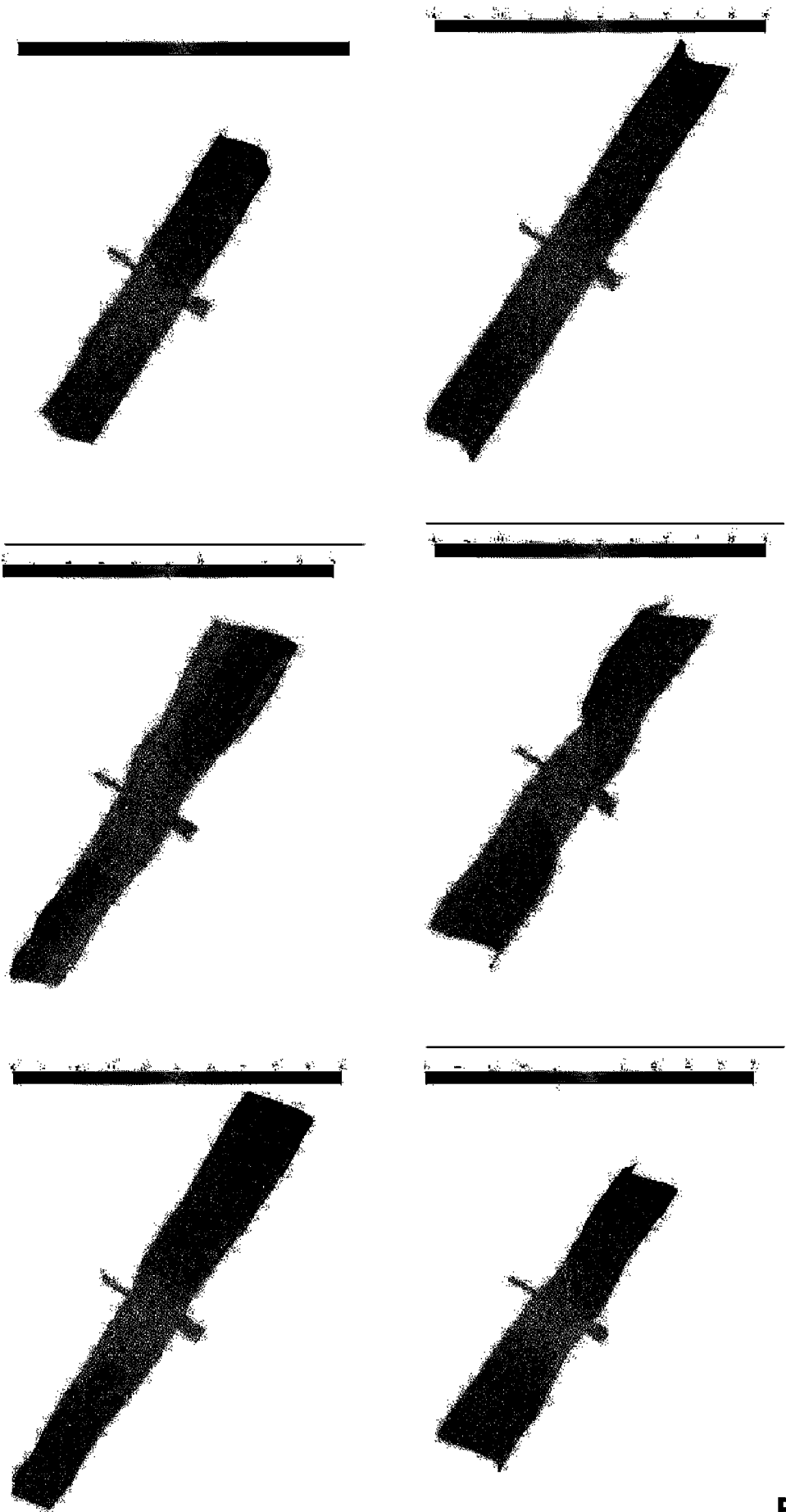
**Figur 5.**



Figur 6.

**Figur 7.**

7/7



Figur 8.