



SUOMI—FINLAND
(FI)

Patentti- ja rekisterihallitus
Patent- och registerstyrelsen

[B] (11) **KUULUTUSJULKAISU** 71021
UTLÄGGNINGSSKRIFT

C Patenti myöntetty
(45) Patent meddelat 07 10 1980

(51) Kv.Ik./Int.Cl.⁴ G 01 P 3/36

(21) Patentihakemus — Patentansökning	814056
(22) Hakemispäivä — Ansökningsdag	17.12.81
(23) Alkupäivä — Giltighetsdag	17.04.81
(41) Tullut julkiseksi — Blivit offentlig	17.12.81
(44) Nähtäväsipanon ja kuul.julkaisun pvm. — Ansökan utlagd och utskriften publicerad	18.07.86
(86) Kv. hakemus — Int. ansökan	PCT/HU81/00014
(32)(33)(31) Pyydetty etuoikeus — Begärd prioritet	17.04.80
Unkari-Ungern(HU) 930/80	

- (71) Budapesti Műszaki Egyetem, Műegyetem Rakpart 3/9, 1111 Budapest, Unkari-Ungern(HU)
- (72) Ferenc Engard, Budapest, Imre Peczeli, Budapest, Peter Richter, Budapest, Unkari-Ungern(HU)
- (74) Oy Kolster Ab
- (54) Menetelmä liikkuvan kohteen fysikaalisten parametrien mittaamiseksi koherentin valon lähteen avulla heterodyne-ilmaisemalla liikkuvasta kohteesta heijastunut tai sironnut valo - Förfarande för mätning av fysikaliska parametrar för ett rörligt föremål med hjälp av en koherent ljuskälla genom heterodyne-detektering av ljus reflekterat eller spritt från det rörliga föremålet

(57) Tiivistelmä

Menetelmä ja laite liikkuvan kohteen fysikaalisten parametrien mittaamiseksi koherentin valon lähteen avulla heterodyne-ilmaisemalla liikkuvasta kohteesta sironnut tai heijastunut valo. Liikkuvasta kohteesta heijastunut tai sironnut valo projisoidaan identtistä reittiä koherentin valon lähteen valon kanssa valoilmaisimen pinnalle sillä tavoin, että sironnut tai heijastunut valo saavuttaa valoilmaisimen pinnan heijastuttuaan koherentin valon lähteen uloskytkevästä elementistä, joka toimii optimaalisissa toimintaolosuhteissa. Valoilmaisimen ulostuloon ilmestyvä sähkösignaali käsitellään signaalinkäsittely-yksiköllä ja tällä tavoin määritetään liikkuvan kohteen fysikaaliset parametrit.

Keksinnön mukaisessa laitteessa säteenjakaaja on sijoitettu liikkuvan kohteen ja koherentin valon lähteen väliin ja säteenjakaajan projisoiman valon reitille on sijoitettu valoilmaisin tai säteenjakaaja on sijoitettu koherentin valon lähteen ja valoilmaisimen väliin ja liikkuva kohde on säteenjakaajan projisoiman valon reitillä.

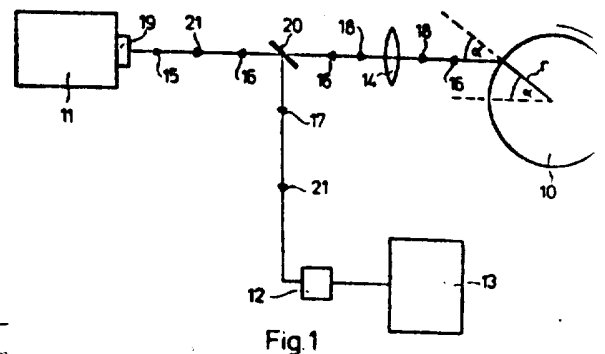


Fig. 1

(57) Sammandrag

Förfarande och apparat för mätande av fysikaliska parametrar hos ett föremål i rörelse medelst en källa för koherent ljus genom heterodyn detektion av ljus som sprids eller reflekteras av föremålet i rörelse. Ljuset som reflekteras eller sprids från det i rörelse stadda föremålet, projicieras utmed identiska banor tillsammans med ljuset från källan för koherent ljus på ytan av fotodetektorn på sådant sätt, att det spridda eller reflekterade ljuset når ytan av fotodetektorn efter att det reflekterats från utkopplingselementet i källan för koherent ljus, vilket element arbetar under optimala arbetsförhållanden. Den elektriska signalen, vilken uppträder i utgången från fotodetektorn behandlas i signalbehandlingsenheten och på detta sätt bestämd de fysikaliska parametrarna hos det i rörelse stadda föremålet.

I apparaten enligt uppfinningen har en stråldelare placerats mellan det i rörelse stadda föremålet och källan för koherent ljus och fotodetektorn har placerats i vägen för ljuset som projicieras av stråldelaren, eller stråldelaren har placerats mellan källan för koherent ljus och fotodetektorn och det i rörelse stadda föremålet ligger i vägen för ljuset som projicieras av stråldelaren.

Menetelmä liikkuvan kohteen fysikaalisten parametrien mittaamiseksi koherentin valon lähteen avulla heterodyne-ilmaisemalla liikkuvasta kohteesta heijastunut tai sironnut valo

5

Esillä oleva keksintö liittyy menetelmään liikkuvan kohteen fysikaalisten parametrien mittaamiseksi koherentin valon lähteen avulla heterodyne-ilmaisemalla liikkuvasta kohteesta heijastunut tai sironnut valo.

10 Edellä mainitut fysikaaliset parametrit ovat seuraavat: liikkuvan kohteen hetkellinen nopeus ja siitä johdetut suureet, esim. liikkeen pituus, kiihtyvyys, kehänopeus, kulmanopeus, kierrosluku minuutissa, taajuus jne., näiden suureiden keskiarvo ja hajonta. Liikkuvan kohteen tehon heijastus tai sironna, sen hajonta, pinta-alajakauma ja keskiarvo jne. Edellä mainittujen suureiden ja niistä johdettujen suureiden kulmariippuvuus, kuten suoruuksuus, kaarevuus jne. voidaan myös mitata.

20 Tekniikan tasosta tunnetaan eri menetelmiä liikkuvan kohteen kosketuksettomaan fysikaalisten parametrien mittaamiseen. Näiden menetelmien merkittävä ryhmä perustuu kohteesta heijastuneen tai sironneen valon ilmaisemiseen, ja koska koherentin valon lähteet (laserit) ovat tulleet käyttöön, ovat tämänkaltaiset erittäin tarkat mittaukset mahdollisia, nimittäin käyttäen koherentin valon interferenssikykyä voidaan pituusmittauksissa saada valon aallonpituuden luokkaa oleva tarkkuus. Interferometrillä mittaustekniikkaa käytetään mm. US-patenttijulkaisussa nro 3 796 493.

25 Tässä patenttijulkaisussa kuvattua laitetta käytetään tarkkuuskäyttöruuvien, kuten ohjausruuvin, kierteen nousun mittaamiseen. Tämä tehtävä suoritetaan sijoittamalla kulmakuutioheijastin, joka on tehty kolmesta osasta, tarkasti liikkuvalla mekanismilla - kelkalla. Tätä kelkkaa siirretään mitattavalla käyttöruuvilla. Optinen koodilevy 30 on jäykässä kosketuksessa käyttöruuvin kanssa, mikä antaa signaalin kullakin kierroksella tai tietyllä kulmakierrolla. Mittauslaite sisältää laserin, osittaisheijastimen, kaksi

muuta heijastinta ja ilmaisujärjestelmän, joka kykenee käsittelemään interferenssisignaalia. Viimeksi mainitut osat eivät ole liikkuvia. Mittauksen periaate on seuraava. Laserin lähettämä valo osuu osittaiselle heijastimelle, joka
5 projisoi osan siitä seisovaan peiliin, joka heijastaa sen takaisin osittaisen peilin läpi ilmaisimeen. Laservalon toinen osa projisoituu osittaisesta heijastimesta kulma-
kuutioheijastimeen, jota ohjausruuvi siirtää ja siitä se projisoidaan seisovaan peiliin, josta se heijastuu takai-
10 sin samaa reittiä osittaiseen heijastimeen, joka projisoi sen ilmaisimella, jossa interferenssi tapahtuu. Siinä tapauksessa, että lasketaan interferenssiliiestymät ruuvintäyden kierroksen aikana, minkä ilmaisee optinen koodilevy, ja lasertaajuuden tarkka arvo tunnetaan, kierteen nousu voidaan helposti laskea.

Tämän optisen rakennelman pääetuna on, että vaikka jos käyttöruuvin siirtämä kelkka suorittaa vähäisen kulmasiirtymän laserin optisen akselin suhteen liikkeensä aikana, tämä siirtymä ei aiheuta virheitä kulmakuutioheijastimen käytön johdosta. Toisaalta on haitaksi optisten osien suuri määrä ja vaatimus, että seisovien optisten osien, laserin ja ilmaisimen suhteellinen asema ei saa muuttua mittauksen kuluessa, koska tällainen muutos aikaansaa samankaltaisen muutoksen interferenssiin kuin ohjausruvintäyden aikaansaama liike. Myöskään kulmakuutioheijastimen osien suhteellinen asema ei saa muuttua. Suurin sallittu mekaaninen epästabiilisuus, joka ei aiheuta virheitä mittaukseen, ei saa ylittää lasersäteilyn puolta aallonpituutta. He-Ne -laserin tapauksessa tämä yläraja on noin 0,3 mikrometriä.

Toisenlainen mittaustekniikka liikkuvan kohteen fyysikaalisten parametrien mittaamiseksi on tästä kohteesta heijastuneen tai sironneen valon sekoitus- eli heterodyneilmaisuus. Sen sisältö on seuraava. Jos valo taajuudeltaan "f" osuu
35 kohteeseen, joka liikkuu nopeudella "v", niin heijastuneen tai sironneen valon taajuus muuttuu Doppler-ilmiön johdosta vertailukehyksessä suhteessa siihen, että kohde

liikkuu nopeudella "v" ja että valolähde ja valoilmaisin ovat levossa.

Jos projisoituneen ja heijastuneen tai sironneen valon optiset akselit ovat yhtenevät, niin

5

$$f' = f \left(1 + \frac{2v}{c} \cdot \cos \varphi \right)$$

missä "c" on valon nopeus ja " φ " on liikkuvan kohteen nopeuden suunnan ja kohteeseen projisoidun valon suunnan välinen kulma.

10

Siinä tapauksessa, että osan valonsäteestä, joka tulee suoraan koherentin valon lähteestä, ja kohteesta heijastuneen tai sironneen valon (joka on taajuudeltaan erilainen) annetaan interferoida ilmaisimen pinnalla sillä tavoin, että nämä kaksi valoa ovat koherentteja tilassa - ts. vaihe-ero ilmaisimen koko pinta-alan yli on vakio - silloin interferenssin seurauksena nämä kaksi valoa vahvistavat tai vaimentavat toisiaan taajuudella $\Delta f = (f' - f)$ ilmaisimen pinnalla. Tällä tavoin kehitetään sähköinen signaali ilmaisimen ulostuloon taajuudeltaan Δf , joka liittyy liikkuvan kohteen nopeuteen kaavalla

20

$$\Delta f = \left(f \cdot \frac{2v}{c} \cdot \cos \varphi \right)$$

Tämä on hyvin tunnettu optisen heterodyne-tekniikan kuvaus ja sen sovellutuksia voidaan löytää mm. esim. teoksista Chu: "Laser Light Scattering" ja Kallard: "Exploring Laser Light".

25

Optisen heterodyne-mittaustekniikan vaikeudet aiheutuvat vaatimuksesta kahden valon koherenttisuudesta tilassa ilmaisimen pinnalla, mikä on aikaansaatu seuraavilla menetelmillä.

30

1) Asettelu vastaa tavanomaista Michelsonin interferometriä, jossa yksi peileistä on korvattu liikkuvalla kohteella. Tässä järjestelyssä toinen peili täytyy asettaa ja pitää kiinteässä asennossa suhteessa lähteen optisiin

35

osiin ja ilmaisimeen valon aallonpituuden luokkaa olevalla tarkkuudella koko mittauksen suorituksen ajan.

2) Laser-Doppler -tuulimittarin toimintaperiaatteella: kahden koherentin valon eri suuntaisten säteiden poikkileikkauksen pisteessä liikkuvasta kohteesta kohteen eri suuntaan heijastuneen tai sironneen valon taajuus muuttuu eri lailla johtuen eri kulmista liikkuvan kohteen nopeuden suunnan suhteen. Kun säteet, jotka saavuttavat ilmaisimen pinnan, saapuvat kohden säteen poikkileikkausalueelta ja
5 ovat eri taajuisia, mutta täyttävät tilakoherenttisuuden vaatimuksen, ne sen johdosta interferoivat. Tilakoherenttisuus varmistetaan sillä, että nämä kaksi valonsädettä, joilla on eri taajuudet, saapuvat samasta pisteestä tilassa identtisiä reittejä pitkin ilmaisimen pinnalle. Tämän
10 menetelmän haitta on, että tilakoherenttisuuden tila täytyy vain pienessä tilan alueessa. Sen johdosta tätä menetelmää on käytetty pääasiassa liikkuvan väliaineen, esim. nesteiden, kaasujen jne. nopeuden mittaamiseen.

Erittäin mielenkiintoista optista heterodyne-tekniikkaa on käytetty US-patenttijulkaisussa nro 3 790 284. Tässä patentissa esitetty laite mahdollistaa suoruuden ja pyörimisen mittaamisen.

Tämän keksinnön yksinkertaisin esimerkki koostuu laserista, joka säteilee valoa kahdella taajuudella f_1 ja
25 f_2 , kahdesta polarisaattorista, kahdesta osittaisesta heijastimesta, Wollaston prismasta, joka on kiinnitetty laitteen liikkuvaan kelkkaan, kahdesta paikoillaan pysyvistä peilistä, jotka on sijoitettu tiettyihin kulmiin toistensa ja optisen akselin suhteen, ylimääräisestä peilistä, kahdesta valoilmaisimesta ja palautettavasta laskurista.
30

Laitteen toimintaperiaate on seuraava: Laserin säteilemä kahta taajuutta oleva valo kulkee polarisaattoreiden läpi ja tällä tavoin valokomponentin, jonka taajuus on f_1 , polarisaatiotasoa tulee olemaan kohtisuorassa f_2 :n
35 polarisaatiotasoon nähden. Sen jälkeen osittainen heijastin jakaa säteen ja osa siitä osuu vertailuilmaisimeen, jossa se interferenssin avulla voidaan ilmaista heterodyne-

menetelmällä. Tämän valoilmaisimen taajuusulostulo on $(f_2 - f_1)$, joka siirretään palautettavan laskurin yhteen sisääntuloon. Säteen toinen osa osittaiselta heijastimelta kulkee toisen osittaisen heijastimen läpi Wollaston prismalle, joka erottaa f_1 ja f_2 taajuiset säteet niiden ortogonaalisen polarisaation johdosta ja nämä kaksi sädettä etenevät eri teitä. Nämä kaksi sädettä projisoituvat peilipolarilla, jotka on sijoitettu tiettyihin kulmiin toisiinsa ja optiseen akseliin nähden ja joista ne heijastuvat takaisin Wollaston prismalle, missä ne yhdistyvät uudelleen. Osa tästä uudelleen yhdistyneestä säteestä osuu mittaavalle valoilmaisimelle heijastuttuaan osittain toisesta osittaisesta heijastimesta ja kokonaan ylimääräisestä peilistä, jonka ilmaisimen pinnalla valo interferoi ja heterodyne-signaali siirretään palautettavan laskurin toiseen sisääntuloon. Jos Wollaston prisma ei liiku, tämän valoilmaisimen ulostulo on myös $(f_2 - f_1)$. Toisaalta, jos kelkka liikkuu yhdensuuntaisesti optisen akselin kanssa, mittaussilmäykselle osuvan valon taajuus muuttuu Dopplersiirtymän johdosta, mutta näiden kahden taajuuden välinen ero ei muutu. Jos kelkka liikkuu suorakulmaisesti akselin suhteen liikkeensä aikana, niin Wollaston prisman nopeuskomponentit ovat erilaiset siitä lähteville f_1 ja f_2 taajuuksien valonsäteiden etenemissuunnille, minkä johdosta ne ovat erilaiset kummallekin heijastimelle. Siten Dopplersiirtymä on erilainen f_1 ja f_2 taajuiselle valolle niin, että mittaavan valoilmaisimen ulostulon taajuus tulee olemaan erilainen. Palautettava laskuri varastoi kahdesta ilmaisimesta tulevien impulssimäärien eron, joka luonnehtii mitatun reitin suoruutta.

Tämän laitteen pääetu optiselta kannalta katsoen on, että käyttämällä valoa, jolla on kaksi taajuuskomponenttia ja heterodyne-ilmaisua optisten elementtien (paitisi heijastavien peilien) pienten siirtymien aiheuttamat virheet kumoutuvat eikä mittaukseen synny virhettä tästä syystä. Toisaalta haittana on suuri optisten elementtien määrä mukaan lukien myös jotkin optiset erikoiselementit.

Myös tiukkaa asemastabiliteettia ajan suhteen vaaditaan edelleen heijastaville peilleille.

Edellä mainituista esimerkeistä on selvää, että sekä interferometrissä ja heterodyne-mittaustekniikkaa on käytetty liikkuvan kohteen parametrien mittaamiseen suurin 5 vaikeuksin. Siinä tapauksessa, että liikkuva kohde on ollut kiinteä kappale, niin silloin on täytynyt kiinnittää siihen joitakin ylimääräisiä välineitä ja jos se on liikkuva väliaine, niin on ollut mahdollista suorittaa mittaus 10 vain pienellä tilavuudella ja useimmissa tapauksissa tarvittiin monimutkaisia ja tarkkoja optisia järjestelmiä.

Osa näistä hankaluuksista on eliminoitu US-patenttijulkaisussa nro 3 958 881, mutta se tuo esiin myös uusia ongelmia. Tämä patentti esittää rakenteen, jossa liikku- 15 vasta kohteesta takaisin sironnut valo kulkee laserin uloskytkevän elementin läpi laseriin, jossa se vahvistetaan, heterodynoidaan alkuperäisen laservalon kanssa ja tällä tavoin laser säteilee valoa, joka on moduloitu taajuudella, joka vastaa erotajuutta. Tämä rakenne suorittaa mittauksia kaikkialla, missä mahdollista pitkin lasersädettä eikä 20 vaadi ylimääräisiä varusteita. Sen haitta perustuu siihen tosiseikkaan, että laser tyypillisesti toimii pienellä kaistanleveydellä (Δf_{laser}) ja tämän kaistanleveyden sisällä aktiivisen väliaineen vahvistus pyrkii nolnaan saturatation johdosta. Ottaen huomioon uloskytkevän elementin pienen transmittanssin - yleisesti muutamia prosentteja - ja laser resonaattorin laatukertoimen, joka on lähellä yhtä, mutta sen alla, myös taajuuserolla 0, esiintyy merkittävä valon häviö syötettäessä sironnut valo takaisin laseriin. 25 Johtuen laatukertoimen taajuusriippuvuudesta, häviöt kasaavat taajuuseroa Δf lisättäessä. Seurauksena kaistanleveys Δf_{laser} rajoittaa teoreettisesti mitattavissa olevaa nopeutta:

$$35 \quad v_{\text{max}} < \frac{\Delta f_{\text{laser}} \cdot c}{2f \cdot \cos \varphi}$$

koska, jos $\Delta f > \Delta f_{\text{laser}}$, laser ei siirrä taajuudeltaan siirtynyttä valoa lainkaan.

Intensiteettihäviö tekee tämän menetelmän käytön mahdottomaksi pienten takaisinsironneiden intensiteettien tapauksessa. Yksinkertaisin tapa intensiteetin kasvattamiseksi voitaisiin saada aikaan käyttämällä suurempitehoisia lasereita. Yllä mainitulla periaatteella toimiva laite sisältää miltei aina CO₂-lasereita. Häviöitä voitaisiin vähentää vain käyttämällä lasereita ei optimaalisella tavalla, esim. laskemalla uloskytkävän elementin heijastuskerrointa, mikä kohottaa valon takaisinsyötön tehokkuutta laseriin ja samaan aikaan aktiivinen väliaine ei ole saturoidunut; toisaalta tällä tavoin laserin intensiteetti on alhaisempi, jolloin signaalikohinasuhde ei parane. Tämän on kokeellisesti vahvistanut N.M. Doyle, W.D. Berber ja M.B. White julkaisussa: Use of an Oscillating Laser as a Heterodyne Receiver Preamplifier (IEEE Journal of Quantum Electronics QE-3, 479, 1976). Esillä olevan keksinnön tarkoitus on samanaikainen yllä mainittujen hankaluuksien eliminointi ja menetelmän kuvaaminen, joka menetelmä mahdollistaa liikkuvan kohteen fysikaalisten parametrien mittaamisen optisella heterodyne-tekniikalla.

Keksinnöllä ratkaistava ongelma voidaan tiivistää seuraavasti: tarvitaan menetelmä, jolla liikkuvan kohteen fysikaaliset parametrit voidaan mitata kosketuksettomasti käyttäen koherentin valon lähdettä sillä tavoin, että valon aallonpituuden luokkaa olevaa sovitusta ja stabiilisuutta ei tarvita ja mittaustila ei ole rajoitettu pieneen tilaan, lisäksi sen tulisi mahdollistaa mittaustaus vähäisen sironneen valon intensiteetin tapauksessa, suorimman mitattavan nopeuden ei tulisi olla laserin rajoittama, ja sen tulisi olla niin yksinkertainen kuin mahdollista.

Esillä olevan keksinnön perustana on tosiasia, että yllä luetellut ongelmat voidaan helposti ratkaista, jos tunnettujen menetelmien sijasta liikkuvasta kohteesta sironnut tai heijastunut valo projisoidaan valoilmaisimeen

reittiä, joka on identtinen koherentin valon lähteen reitin kanssa. Nimittäin tässä tapauksessa suora ja sironnut tai heijastunut valo näyttävät olevan peräisin identtistä valonlähteistä. Koherentin valon lähteellä, joka on
 5 edullisesti laser, on vähintään yksi uloskytkävä elementti, joka kykenee siirtämään ja heijastamaan valoa ja laserin säteilemä valonsäde - laserin toimintaperiaatteen mukaisesti - seuraa jokaista uloskytkevän elementin liikettä. Jos siis koherentin valon lähteen uloskytkevää
 10 elementtiä käytetään heijastamaan liikkuvasta kohteesta heijastunut tai sironnut valo, niin tilakoherenttisuuden ehdot ovat automaattisesti täytetyt. Koska takaisinsironnutta valoa ei syötetä takaisin laseriin, tätä voidaan käyttää optimaalisella tavalla - optimaalinen uloskytkentäelementti, saturoitunut aktiivinen väliaine - ja takaisinsironneen valon osa, joka on tilakoherentti, voidaan
 15 projisoida kokonaan ilman häviöitä reitillä, joka on identtinen lasersäteiden reitin kanssa, valoilmaisimen pinnalle. Samaan aikaan suurin mitattavissa oleva erottaajuus ei ole
 20 laserin kapean kaistanleveyden rajoittama, vaan valoilmaisimen kaistanleveyden (F) rajoittama, joka voi olla 10^9 Hz. Suurin mitattavissa oleva nopeus on

$$25 \quad v_{\max} < \frac{F \cdot c}{2f \cdot \cos \theta}$$

jolloin v_{\max} voi saavuttaa hyvin korkeita arvoja. Esillä oleva keksintö liittyy siten menetelmään liikkuvaan kohteen liikettä tai pintaa kuvaavien fysikaalisten parametrien mittaamiseksi koherentin valon lähteen ja liikkuvasta kohteesta sironneen tai heijastuneen valon sekoi-
 30 tusilmaisun avulla, jolloin koherentin valon lähteen valo jaetaan säteen jakavalla elementillä ainakin kahteen osaan, ja yksi osa valosta projisoidaan suoraan valoilmaisimelle, kun taas toinen osa valosta projisoidaan joko suoraan tai
 35 optisen kuvaus-elementin läpi liikkuvaan kohteeseen, jolloin liikkuvasta kohteesta sironnut tai heijastunut valo

projisoidaan sen jälkeen säteen jakavalla elementillä koherentin valon lähteen uloskytkevälle elementille ja edelleen koherentin valon lähteestä heijastunut valo johdetaan säteen jakavan elementin kautta valoilmaisimen pinnalle.

5 Menetelmälle on tunnusomaista se, että koherentin valon lähde on järjestetty jatkuvatoimiseksi He-Ne-kaasulaseriksi, että koherentin valon lähteeseen takaisin lähetetty valo heijastetaan uloskytkevästä elementistä ja johdetaan valoilmaisimen pinnalle reittiä, jonka optinen

10 pituus on yhtäsuuri kuin optinen pituus uloskytkevästä elementistä säteen jakavalle elementille yhdessä toisen osan optisen pituuden kanssa, ja että liikkuvan kohteen liikettä tai pintaa kuvaavat parametrit määrätään käsittelemällä valoilmaisimen ulostuloon syntyvää sähkösignaalia

15 signaalinkäsittely-yksiköllä.

Keksinnön yksityiskohtaisempi kuvaus annetaan piirustusten perusteella, mitkä esittävät joitakin keksinnön suoritusmuotoja käyttöesimerkkejä.

Piirustuksissa (kaaviollisia kuvia)

20 kuvio 1 on esillä olevan keksinnön suoritusmuodon esimerkki, joka esittää järjestelyä pyörivän sylinterin kulma- tai kehänopeuden määrittämiseksi,

kuvio 2 on muunnettu järjestely, jota käytetään liikkuvan karkean pinnan pintaominaisuuksien mittaamiseen,

25 ja

kuvio 3 esittää keksinnön suoritusmuodon, jossa useampia säteitä kuin yksi projisoidaan liikkuvaan kohteeseen, mikä mahdollistaa liikkuvan kohteen liikkeen mittauksen tilassa.

30 Kuviossa 1 valonsäde 15 koherentin valon lähteestä 11 - edullisesti laser - osuu uloskytkevän elementin 19 läpi säteenjakajalle 20 - esimerkissämme osittainen heijastin. Heijastuttuaan säteen jakajasta 20, valonsäteen osa 17 osuu valoilmaisimeen 12, joka on edullisesti PIN-siodi.

35 Säteenjakajan 20 ja optisen kuvauselementin 14 läpi - joka on esimerkissä linssi - toinen valonsäteen osa 18 osuu liikkuvaan kohteeseen 10 - joka on esimerkissä pyörivä sylinteri. Liikkuvasta kohteesta 10 heijastunut tai sironnut valo 16 osuu optisen kuvauselementin 14 ja säteenjakajan

20 läpi laserin 11 uloskytkevään osaan 19 ja heijastuu.

Tämä heijastunut valo 21 heijastuu jälleen säteen jakajasta 20 ja osuu valoilmaisimen 12 pinnalle, missä se interferoi säteen 17 osan kanssa, jolloin valoilmaisimen 12
5 ulostuloon ilmestyy sähköinen signaali, jonka taajuus on

$$\Delta f = (f \cdot \frac{2v}{c} \cdot \cos \varphi)$$

vastaten taajuuseroa. Tätä sähköistä signaalia käsitellään
10 signaalinkäsittely-yksiköllä 13.

Kuviossa 1 esitetyllä laitteella voidaan esim. määrätä pyörivän sylinterin kierrosluku sekunnissa "n". Sylinterin kehänopeus on "v". Koska kierrosluvulle sekunnissa "n" pätee

15

$$n = \frac{v}{2\pi r}$$

missä "r" on pyörivän sylinterin säde ja jos laserin 11 suoran valon taajuus "f" ja r ja φ tunnetaan niin, kierrosluku sekunnissa voidaan määrittellä
20

$$n = \frac{c \cdot \Delta f}{4f \cdot r \cdot \pi \cdot \cos \varphi}$$

φ :n arvo liittyy α :an kaavalla $\varphi = 90^\circ - \alpha$ ja kulma α
25 voidaan helposti mitata.

Tämän suoritusmuodon menetelmän ja laitteen tärkeä etu on, että Δf voidaan mitata sylinterin täyden kierroksen murto-osan aikana. Tällä tavoin voidaan määrittää sekuntikierrosluvun ja sen vaihtelun hetkellinen arvo.

30 Asettamalla $\varphi = 90^\circ$ pyörivän sylinterin huojunta valonsäteen 15 suunnassa voidaan myös määrittää. Jos $\alpha = 0$, niin $\cos \varphi = 1$ ja siten

$$v = \frac{\Delta f}{2cf}$$

35

Integroimalla nopeus "v" täyden kierroksen ajan "T" yli huojunnan arvo saadaan nimittäin:

$$\Delta s = \int_0^T \frac{f}{2cf} \alpha t$$

5 Huomaa, että mahdollisten sylinterin pinnan korkeuksien johdosta huojuntamittauksen aikana saattaa haitallisia aaltokimppuja ilmestyä valoilmaisimen 12 ulostuloon, jotka voivat vääristää mittausta. Nämä suurtaajuiset komponentit voidaan helposti suodattaa, jos signaalinkäsittely-

10 yksikkö 13 sisältää sopivan alipäästösuotimen.

Kuviossa 2 valonsäde 15 koherentin valon lähteestä 11 - edullisesti laser - osuu säteenjakajaan 20 - esimerkiksi osittainen heijastin. Säteenjakajasta valonsäteen osa 17 osuu suoraan valoilmaisimelle 12. Valonsäteen toinen osa 18 projisoidaan optisen kuvaus-elementin 14 läpi - esimerkiksi linssi - liikkuvaan kohteeseen 10 - esimerkiksi liikkuva korkea pinta. Liikkuvasta kohteesta sironnut tai heijastunut valo 16, joka kulkee optisen kuvaus-

15 elementin 14 läpi, heijastuu säteenjakajasta 20 ja laserin 11 uloskytkevästä elementistä 19 ja tämä heijastunut valo 21 projisoituu säteenjakajan 20 kautta valoilmaisimen pinnalle, missä se interferoi säteen osan 17 kanssa. Tällä tavoin syntyy valoilmaisimen 12 ulostuloon sähköinen signaali, jonka taajuus on

25

$$\Delta f = (f \cdot \frac{2v}{c} \cdot \cos \varphi)$$

vastaten taajuuseroa. Tätä sähköistä signaalia käsitellään signaalinkäsittely-yksiköllä 13. Kuvion 2 laitteella voidaan määrätä liikkuvan kohteen 10 valonsäteen 18 suhteen kohtisuorien pintaelementtien pinnan koko "s" ja myös näiden elementtien koon hajonta. Nimittäin yllä kuvatulla tavalla liikkuvan kohteen 10 pinnasta valo heijastuu valoilmaisimeen 12 siinä tapauksessa, että valonsäteen 18 leikkaava pintaelementti on kohtisuorassa mainitun valonsäteen suhteen. Tästä kohtisuorasta pintaelementistä ajan-

35 jaksossa

$$t = \frac{s}{v \cdot \sin \varphi}$$

5 saapuu heijastunut valonsäde taajuudella

$$f' = f \left(1 + \frac{2v}{c} \cdot \cos \varphi \right)$$

10 valoilmaisimeen 12, jonka ulostulon sähköinen signaali taajuudeltaan

$$f = \left(f \cdot \frac{2v}{c} \cdot \cos \varphi \right)$$

kestää myös ajanjakson "t".

15 Yllä käytetyissä yhtälöissä "v" on liikkuvan kohteen
10 nopeus, " φ " on valonsäteen 18 suunnan ja liikkuvan kohteen 10 liikkeen suunnan välinen kulma. Kun liikkuvan kohteen 10 valonsäteen 18 suhteen kohtisuora pintaelementti jättää valonsäteen 18 valaiseman pinnan, niin jatkuva sähköinen signaali taajuudeltaan "f" valoilmaisimen 12 ulostulosta lakkaa, ts. valoilmaisimesta 12 lopullisen pituiset aaltojonot on siirretty signaalinkäsittely-yksikköön 13.

20 Siinä tapauksessa, että signaalinkäsittely-yksikkö 13 mittaa taajuuden " Δf " arvon, aaltojonojen "t" pituudet ja kulma φ tunnetaan, yhden pintaelementin koko voidaan
25 määrätä

$$s = \frac{\Delta f \cdot c \cdot t}{2f} \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

30 Tällä tavoin laitteen suhteen mielivaltaisella nopeudella liikkuvan pinnan pintarakenne voidaan tutkia ja määrittää pintaelementtien koko hajonta. Pienin erotettavissa oleva elementin koko on valon aallonpituuden luokkaa.

Kuviossa 3 koherentin valon lähde 11 on laser, jonka suora valo 15 osuu säteenjakajaan 20. Säteenjakajan 20 läpi valonsäteen osa 17 projisoituu valoilmaisimelle 12. Säteenjakaja 20 esimerkissämme koostuu kahdesta säteenjakajasta elementistä 22, säteen jakavat elementit 22 ovat

edullisesti osittaisia heijastimia. Valonsäteen muut osat 18, jotka käyttävät säteen jakavia elementtejä 22 projisoidaan optisten kuvauselementtien 14 läpi - esimerkissämme linssejä - liikkuvaan kohteeseen 10. Tällä tavoin valonsäteet 23 ja 24 valaisevat liikkuvan kohteen 10 pinnan kahdesta eri suunnasta. Sironnut tai heijastunut valo 16 liikkuvasta kohteesta 10 kulkee optisten kuvauselementtien 14 läpi ja osuu säteenjakajaan 20. Säteenjakajaelementit 22 projisoivat sen koherentin valon lähteen 11 uloskytkevään elementtiin 19, uloskytkevästä elementistä se heijastuu takaisin ja tämä heijastunut valo 21 projisoituu säteenjakajan 20 läpi valoilmaisimen 12 valoherkälle pinnalle, missä se interferoi valonsäteen osan 17 kanssa. Tällä tavoin valoilmaisimen 12 ulostuloon ilmestyy sähköisten signaalien summa, joilla on taajuudet " Δf " ja " Δf_2 ".

$$\Delta f_1 = \left(f \cdot \frac{2v_1}{c} \cdot \cos \varphi_1 \right)$$

20

$$\Delta f_2 = \left(f \cdot \frac{2v_2}{c} \cdot \cos \varphi_2 \right)$$

missä v_1 on valonsäteen 23 valaiseman liikkuvan kohteen 10 pisteen nopeustaso,

25 v_2 on valonsäteen 24 valaiseman liikkuvan kohteen 10 pisteen nopeustaso,

φ_1 on valonsäteen 23 valaiseman pisteen nopeuden suunnan ja valonsäteen 23 suunnan välinen kulma,

30 φ_2 on valonsäteen 24 valaiseman pisteen nopeuden suunnan ja valonsäteen 24 suunnan välinen kulma.

Yllä esitetyistä kaavoista voidaan määrätä liikkuvan kohteen 10 nopeuskomponentit valonsäteiden 23 ja 24 suunnissa, koska signaalinkäsittely-yksikkö 13 voi erottaa sähköiset signaalit, joilla on eri taajuudet " Δf_1 " ja " Δf_2 ".
35 Tällä menetelmällä ei voi määrätä ainoastaan yhtä liikkuvan kohteen nopeuskomponenttia vastaten tiettyä suuntaa, vaan voidaan mitata molemmat liikkeen nopeuden suunta ja

taso. Siinä tapauksessa, että käytetään säteenjakajaa, joka valaisee vähintään kolmella, ei samassa tasossa olevalla säteellä liikkuvan kohteen, niin voidaan määrätä kolmiulotteisen liikkeen taso ja suunta, jos valonsäteet valaisevat liikkuvan kohteen saman pisteen. Jos liikkuvaa kohdetta voidaan pitää kiinteänä kappaleena ja valonsäteet valaisevat eri pisteet, voidaan tutkia etenevää liikettä tilassa. Heterodyne-signaalin analyysillä samanaikaisen etenevän liikkeen ja pyörimisen tapauksessa voidaan erottaa liikkeen yksittäiset komponentit. Jos liikkuvaa kohdetta ei voida pitää kiinteänä kappaleena, niin käyttämällä useita säteitä, voidaan tutkia kohteen tiettyjen pisteiden suhteellista liikettä. Pienin mitattava tilavuus, jonka sisällä liikkeen parametrejä ei voida selvittää, on valon aallonpituuden luokkaa. Tietyissä käyttötarkoituksissa, kun liikkuvan kohteen pinta on heijastava, ei kuvaelementtejä tarvita.

On tarpeen ottaa huomioon, mitä ei ole mainittu eikä myöskään patenttivaatimuksissa mainita, ainoastaan missä on ratkaisevan tärkeää, että valon intensiteetti voi merkittävästi muuttua sen kulkiessa tiettyjen optisten elementtien läpi tai heijastuessa niistä ja muita heijastuksia - joita ei mainita tässä selityksessä - voi myös tapahtua. Näiden vaikutusten merkitys on toissijainen, eivätkä ne vaikuta keksinnön sisältöön. Niitä voidaan pitää vakiohäviötekijöinä. Esimerkkinä on tutkittu kuvion 2 pohjalta virhettä tapauksessa, jossa säteenjakajana käytetään tasoyhdensuuntaista levyä, joka heijastaa 10 % osuusta valosta ja siirtää loput. Kaikkien muiden elementtien oletetaan olevan ideaalisia ja tarkastellaan vain heijastunutta tai sironnutta valoa 16. Vain 10 % liikkuvasta kohteesta 10 heijastuneesta tai sironneesta valosta 16 heijastuu säteenjakajasta 20 koherentin valon lähteen 11 uloskytkevää elementtiä 19 kohti, loppu kulkee säteenjakajan 20 läpi ja säteilee vapaaseen tilaan. Miltei täydellinen heijastus tapahtuu koherentin valon lähteen 11 uloskytkevässä elementissä 19 ja 90 % uloskytkevästä elementistä 19

heijastuneesta valosta 21 kulkee säteenjakajan 20 läpi ja osuu valoilmaisimen 12 pinnalle. Tämä merkitsee, että vain 9 % sironneesta tai heijastuneesta valosta saavuttaa valoilmaisimen 12. Säteenjakajasta 20 10 % uloskytkevästä elementistä heijastuneesta valosta 21 voi päästä kuvauselementin 14 läpi takaisin liikkuvaan kohteeseen 10. Tämä on vain 1 % alkuperäisestä heijastuneesta tai sironneesta valosta. Vaikka tämä valo voisi jonkin täydellisen heijastuksen kautta saavuttaa valoilmaisimen 12 ja interferoida sen pinnalla - eri heterodyne-taajuudella - tämä signaali olisi merkityksetön suhteessa alkuperäiseen signaaliin, koska sen on kuljettava saman reitin läpi, se voi tuottaa signaalin maksimiampplitudiltaan 1 % suhteessa käyttökelpoiseen valoon, mikä on merkityksetöntä.

15 Esillä olevassa keksinnössä kuvatun menetelmä ja laitteen edut voidaan esittää yhteenvetona seuraavasti.

Se mahdollistaa liikkuvan kohteen fysikaalisten parametrien mittaamisen käyttäen koherentin valon lähdetä heterodyne-ilmaisemalla liikkuvasta kohteesta sironnut tai 20 heijastunut valo sillä tavoin, että menetelmän luonteen johdosta se ei vaadi asetusta ja stabiilisuutta interferometrisellä tarkkuudella, valaisevan säteen täytyy vain osua liikkuvaan kohteeseen.

Siinä tapauksessa, että vain yksi säde projisoidaan 25 liikkuvaan kohteeseen, niin mittaussasento voi olla, missä tahansa tätä sädettä pitkin laitteen herkkyyden rajoissa.

Siinä tapauksessa, että on tarkoitus seurata liikkuvan kohteen liikettä sen liikkeen kuluessa tai sen liike on rajoitettu alueeseen, missä se jatkuvasti valaistaan 30 säteen tai säteiden avulla, niin mittaustilavuuden tilamittaja rajoittaa vain herkkyyserajat.

Liikkuvan kohteen parametrien mittaukset keksinnössä kuvatulla menetelmällä ovat luonteeltaan kosketuksettomia eivätkä yleensä vaadi minkään optisen elementin tai elementtien kiinnittämistä tutkittavaan liikkuvaan kohteeseen. 35

Koska koherentin valon lähteen optinen taajuus on korkea, niin mittaukset voivat muodostaa mitattavien para-

metrien hetkellisiä arvoja (esim. He-Ne -laserin tapauksessa, kun liikkuvan kohteen nopeus säteilyyn valonsäteiden suunnassa on 1 m/s, niin valoilmasisimen signaalin taajuus on noin 3 kHz).

5 Koska tässä keksinnössä kuvattu menetelmä voidaan toteuttaa myös matalatehoisilla lasereilla esim. He-Ne- tai puolijohde-lasereilla, jotka voivat maksaa murto-osan CO₂-laserin hinnasta, eikä toteutus vaadi tarkkoja mekaanisia elementtejä, sen toteuttaminen on halvempaa kuin yhdenkään aikaisemmin tunnetun menetelmän.

10 Johtopäätöksenä tässä kuvattu menetelmä tarjoaa aikaisempien interferometrinen ja heterodyne-mittausmenetelmien tarkkuuden ja samalla laajentaa mahdollisten käyttötarkoitusten aluetta ja tässä keksinnössä kuvatun menetelmän ja laitteen toteutus voidaan suorittaa hyvin helposti.

Patenttivaatimukset

1. Menetelmä liikkuvan kohteen (10) liikettä tai pintaa kuvaavien fysikaalisten parametrien mittaamiseksi koherentin valon lähteen (11) ja liikkuvasta kohteesta (10) sironneen tai heijastuneen valon sekoitusilmaisun avulla, jolloin koherentin valon lähteen (11) valo (15) jaetaan säteen jakavalla elementillä (20) ainakin kahteen osaan, ja yksi osa (17) valosta projisoidaan suoraan valoilmaisimelle (12), kun taas toinen osa (18) valosta projisoidaan joko suoraan tai optisen kuvauselementin (14) läpi liikkuvaan kohteeseen (10), jolloin liikkuvasta kohteesta (10) sironnut tai heijastunut valo (16) projisoidaan sen jälkeen säteen jakavalla elementillä (20) koherentin valon lähteen (11) uloskytkevälle elementille (19) ja edelleen koherentin valon lähteestä (11) heijastunut valo (21) johdetaan säteen jakavan elementin (20) kautta valoilmaisimen (12) pinnalle, t u n n e t t u siitä, että koherentin valon lähde (11) on järjestetty jatkuva-toimiseksi He-Ne-kaasulaseriksi, että koherentin valon lähteeseen (11) takaisin lähetetty valo (16) heijastetaan uloskytkevästä elementistä (19) ja johdetaan valoilmaisimen (12) pinnalle reittiä, jonka optinen pituus on yhtäsuuri kuin optinen pituus uloskytkevästä elementistä (19) säteen jakavalle elementille (20) yhdessä toisen osan (17) optisen pituuden kanssa, ja että liikkuvan kohteen (10) liikettä tai pintaa kuvaavat parametrit määrätään käsittelemällä valoilmaisimen (12) ulostuloon syntyvää sähkösignaalia signaalinkäsittely-yksiköllä (13).

2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä liikkuvan kohteen (10) fysikaalisten parametrien suuntaominaisuuksien mittaamiseksi, t u n n e t t u siitä, että koherentin valon lähteen (11) valo (15) jaetaan useampaan kuin kahteen osaan, ainakin kaksi muuta valon säteen osaa (18) projisoidaan joko suoraan tai optisten kuvauselementtien (14) läpi eri kulmissa joko liikkuvan kohteen (10) samaan pisteeseen tai eri pisteisiin, projisoidaan

5 liikkuvasta kohteesta (10) heijastunut tai sironnut valo (16) joko suoraan tai optisten kuvauselementtien (14) läpi säteen jakavalla elementillä (20) koherentin valon lähteen (11) uloskytkevälle elementille (19), ja projisoidaan sieltä heijastunut valo (12) säteen jakavalla elementillä (20) valoilmaisimen (12) pinnalle.

Patentkrav

1. Förfarande för att mäta fysikaliska parametrar karakteriserande rörelsen eller ytan av en rörlig kropp

5 (10) medelst en källa (11) för koherent ljus och en heterodyndetektering av det från den rörliga kroppen spridda eller reflekterade ljuset, varvid ljuset (15) från det koherenta ljusets källa (11) indelas i minst två delar medelst ett strålfördelningselement (20), och

10 en del (17) av ljuset projiceras direkt till en fotodetektor (12), medan en andra del (18) av ljuset projiceras antingen direkt eller genom ett optiskt avbildningselement (14) till den rörliga kroppen (10), varvid det från den rörliga kroppen spridda eller reflekterade ljuset (16) därefter

15 projiceras med hjälp av strålfördelningselementet (20) till ett utkopplande element (19) av det koherenta ljusets källa (11) och ljuset (21) som vidare reflekteras från det koherenta ljusets källa (11) förs genom strålfördelningselementet (20) på ytan av fotodetektorn (12), k ä n n e -

20 t e c k n a t därav, att det koherenta ljusets källa (11) är anordnad som en He-Ne-gaslaser med kontinuerlig drift, att det till det koherenta ljusets källa (11) återsända ljuset (16) reflekteras från det utkopplande elementet (19) och förs på ytan av fotodetektorn (12) utmed en

25 bana, vars optiska längd är lika stor som den optiska längden från det utkopplande elementet (19) till strålfördelningselementet (20) tillsammans med den andra delens (17) optiska längd, och att parametrarna representerande den rörliga kroppens (10) rörelse eller yta

30 bestäms genom att behandla en i fotodetektorns (12) utgång uppstående elektrisk signal med en signalbehandlingsenhet (13).

2. Förfarande enligt patentkravet 1 för att mäta riktningsberoende egenskaper av en rörlig kropp (10)

35 fysiska parametrar, k ä n n e t e c k n a t därav, att ljuset (15) av det koherenta ljusets källa (11) indelas i mera än två delar, minst två övriga delar (18) av

ljusstrålen projiceras antingen direkt eller genom optiska
avbildningselement (14) i olika vinklar antingen i samma
punkt av den rörliga kroppen (10) eller i olika punkter
därav, det från den rörliga kroppen (10) reflekterade
5 eller spridda ljuset (16) projiceras antingen direkt
eller genom de optiska avbildningselementen (14) medelst
strålfördelningselementet (20) till det utkopplande elementet
(19) av det koherenta ljusets källa (11), och det därifrån
reflekterade ljuset (21) projiceras medelst strålfördelnings-
10 elementet (20) på ytan av fotodetektorn (12).

Viitejulkaisuja-Anförda publikationer

Patenttijulkaisuja:-Patentskrifter: USA(US) 3 958 881, 3 604 804.

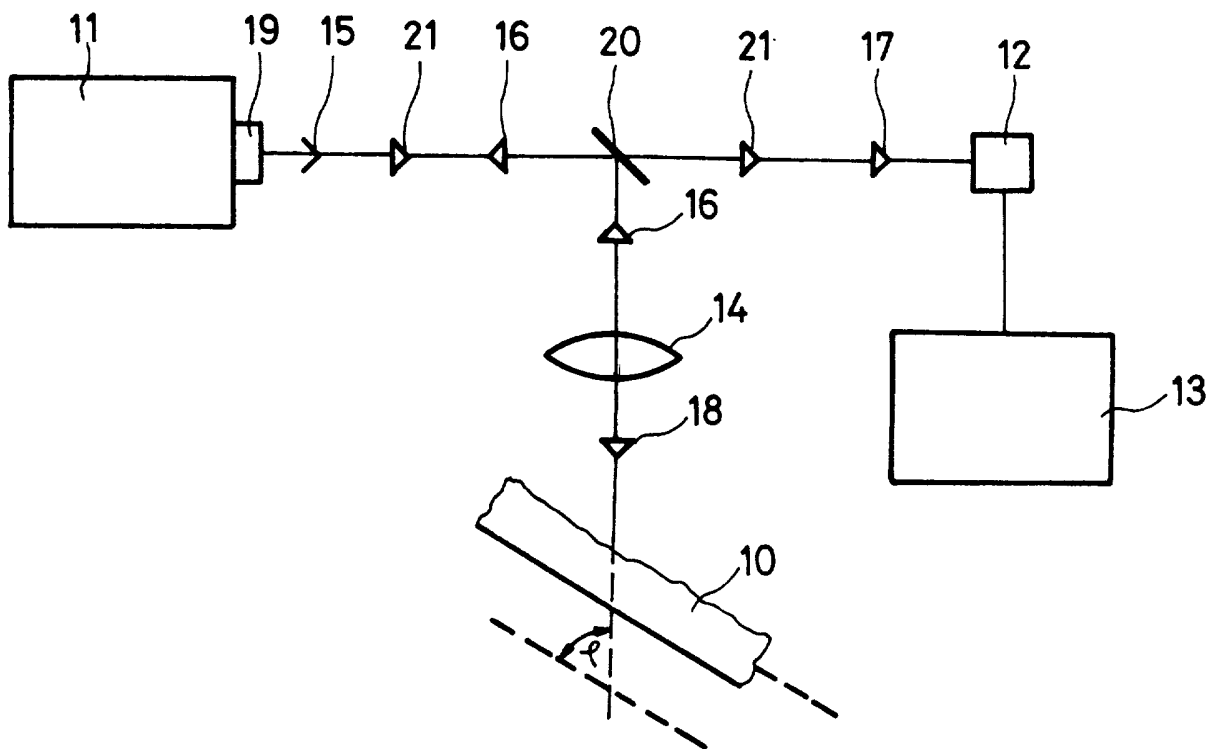


Fig. 2

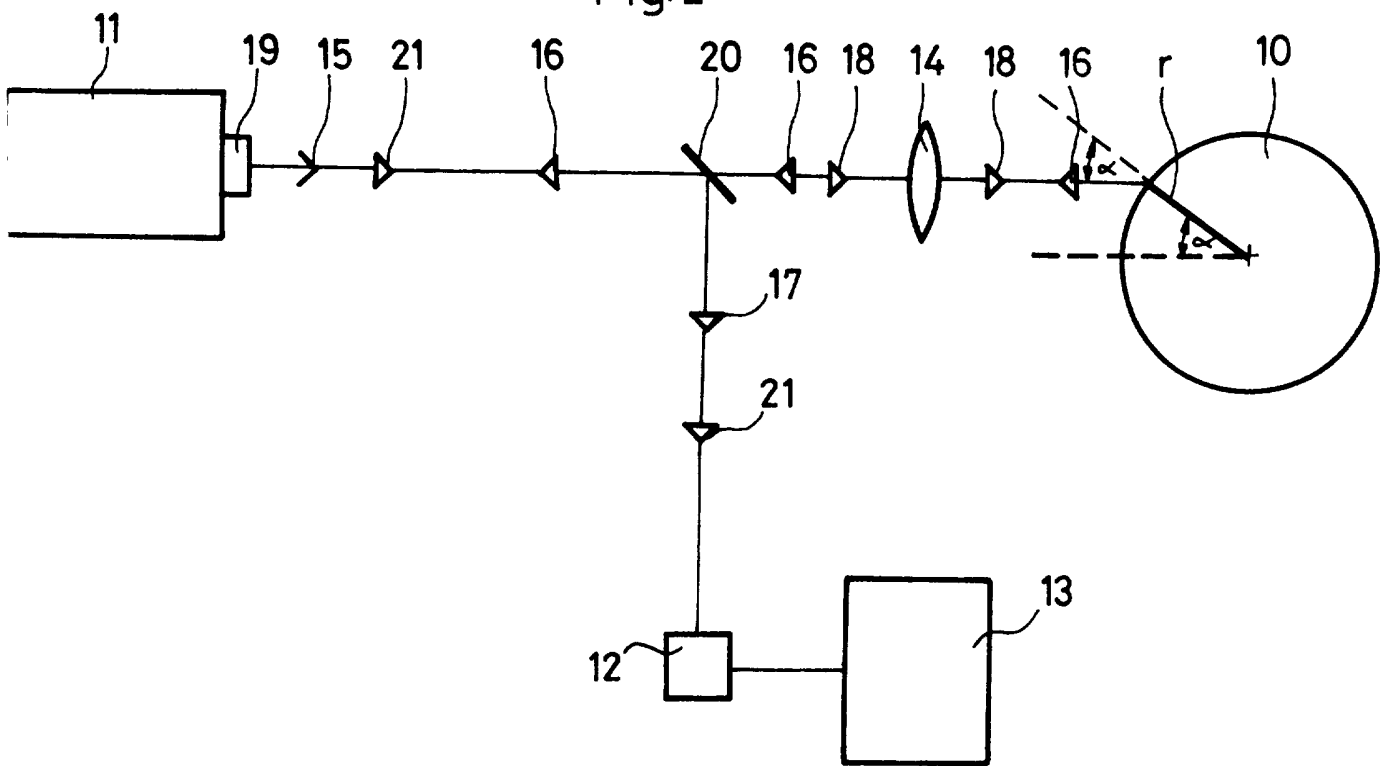


Fig. 1

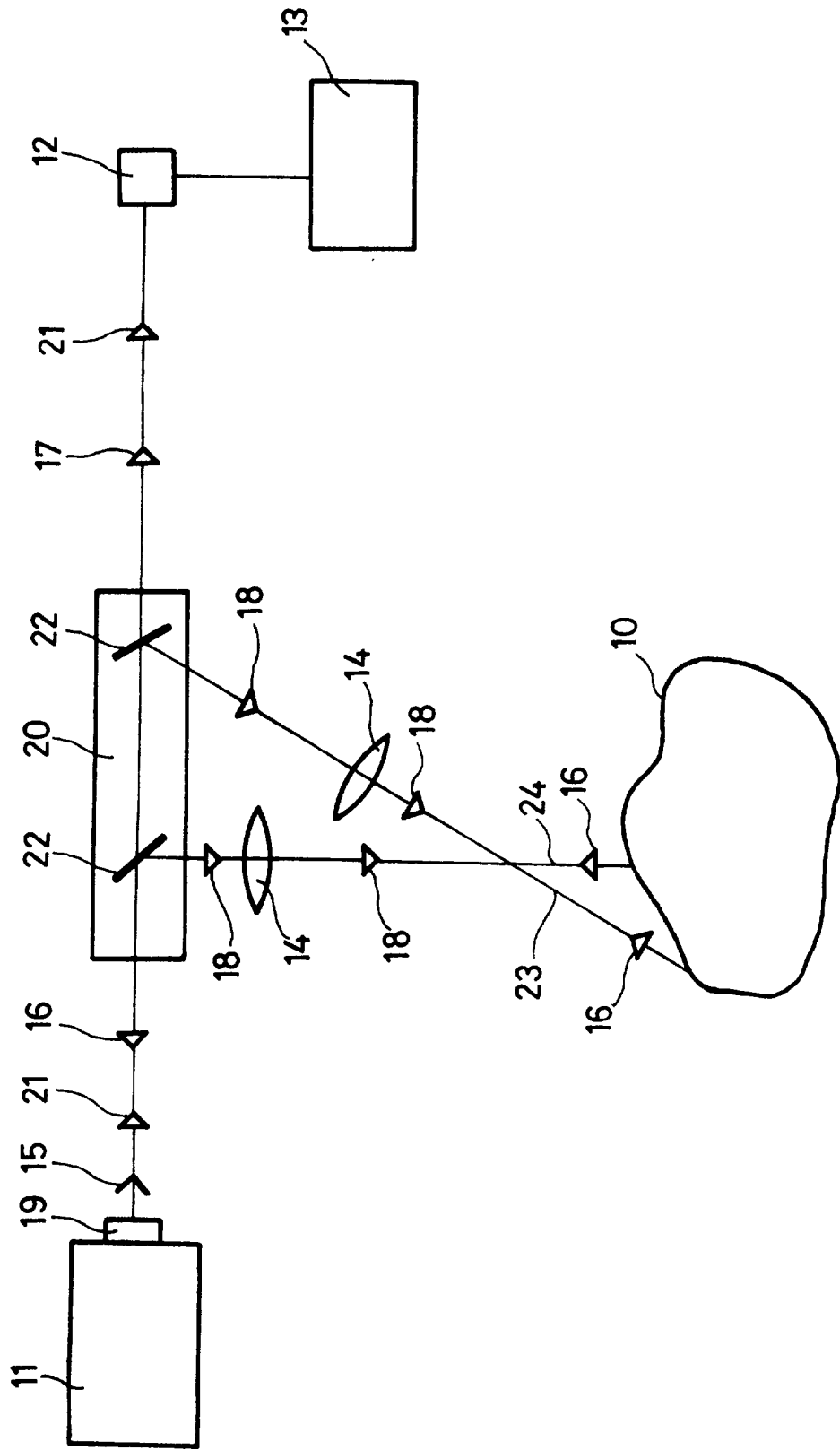


Fig. 3