(19)

SUOMI - FINLAND
(FI)

PATENTTI- JA REKISTERIHALLITUS
PATENT- OCH REGISTERSTYRELSEN
FINNISH PATENT AND REGISTRATION OFFICE

(10) **FI 935426 A7**

(12) **JULKISEKSI TULLUT PATENTTIHAKEMUS**
PATENTANSÖKAN SOM BLIVIT OFFENTLIG
PATENT APPLICATION MADE AVAILABLE TO THE PUBLIC

(21) Patenttihakemus - Patentansökan - Patent application 935426

(51) Kansainvälinen patenttiluokitus - Internationell patentklassifikation - International patent classification
G01J 4/00
G01N 21/23

(22) Tekemispäivä - Ingivningsdag - Filing date **04.06.1992**

(23) Saapumispäivä - Ankomstdag - Reception date **03.12.1993**

(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig - Available to the public **12.01.1994**

(43) Julkaisupäivä - Publiceringsdag - Publication date **13.06.2019**

(86) Kansainvälinen hakemus - Internationell ansökan - International application **04.06.1992 PCT/DK1992/000177**

(32) (33) (31) Etuoikeus - Prioritet - Priority

07.06.1991 DK 1086/91

(71) Hakija - Sökande - Applicant

1 • Göttsche, Allan, Noerre Herlevvej 3 3540 Lynge, Danmark, TANSKA, (DK)

(72) Keksijä - Uppfinnare - Inventor

1 • Göttsche, Allan, Danmark, TANSKA, (DK)

(74) Asiamies - Ombud - Agent

Kolster Oy Ab, Salmisaarenaukio 1, 00180 Helsinki

(54) Keksinnön nimitys - Uppfinningens benämning - Title of the invention
Valon polarisaatiotilan muutoksen havaitseminen
Bestämning av förändring av ljusets polarisatiotillstånd

Valon polarisaatiotilan muutoksen havaitseminen

1. Keksinnön tausta

Tekniikan ala

Keksintö liittyy menetelmään valon polarisaatiotilan polarointielementissä indusoidun muutoksen määrittämiseksi, kuituoptisiin anturilaitteisiin tällaisen valon polarisaatiotilan indusoidun muutoksen, erityisesti sähköjännitteen, sähkökentän ja mekaanisen voiman indusoiman lineaarisen kahtaistaitteisuuden ja sähkövirran ja magneettikentän indusoiman kiertokahtaistaitteisuuden, määrittämiseksi.

Magneettikenttä, sähkökenttä tai mekaaninen voima tai näiden yhdistelmä voivat indusoida vastaavasti anisotropiaa optisesti läpäisevän sähköoptisen, magneettioptisen tai fotoelastisen materiaalin taitekertoimeen, mikä voidaan ilmaista valon polarisaatiotilan muutoksella.

Lineaarisen kahtaistaitteisuuden voi indusoida sähkökenttä sähköoptisessa materiaalissa niin sanotulla sähköoptisella Pockels-efektillä ja Kerr-efektillä, joita voidaan käyttää sähköjännitteen ja sähkökentän määrittämiseen;

kiertokahtaistaitteisuuden voi indusoida magneettikenttä magneettisoptisessa materiaalissa niin kutsutun magneettisoptisen Faraday-efektin avulla, jota voidaan käyttää sähkövirran ja magneettikentän määrityksessä; ja

lineaarisen kahtaistaitteisuuden voi indusoida mekaaninen voima fotoelastisessa materiaalissa niin kutsutun fotoelastisen efektin avulla, jota voidaan käyttää mekaanisen voiman, esim. kiihtyvyyden ja paineen määrityksessä.

Valon polarisaatiotilan polarointielementissä indusoitua muutosta käytetään yleensä kuituoptisissa polarimetrisissä optisissa antureissa, ja indusoitu muutos voidaan määrittää:

a) lähettämällä polaroimaton valo optisen lähetinkanavavälineen yhdessä päässä olevasta valolähteestä toisessa päässä olevalle polarointivälineelle,

b) polaroimalla polaroimaton valo polaroijavälineellä,

c) lähettämällä polaroitu valo polarointielementin läpi,

d) analysoimalla polarointielementistä saatu lähetetty polaroitu valo analysoijavälineellä sekä

e) lähettämällä analysoitu polaroitu valo optisen vastaanotinkanavavälineen yhdestä päästä sen toisessa päässä olevalle valoilmaisimelle,

jolloin polaroimattoman valon kollimoi optisen lähetinkanavavälineen ja polaroijavälineen välissä oleva tulokytkentäväline ja analysoidun polaroidun valon fokusoi lähtökytkentäväline optiseen lähetinkanavavälineeseen sanottujen kytkentävälineiden muodostuessa linsseistä tai asteittaiskertoimisista sauvalinsseistä.

Erityisesti optista kuitua käyttäville magneettis-optisille virta-antureille on ehdotettu, että polaroidun valon lähettäminen polarointielementin läpi saadaan aikaan käyttämällä ainakin yhtä tasoheijastavaa optista pintaa, joka heijastaa kollimoidun säteen.

Näillä optisilla järjestelyillä on lukuisia haittapuolia.

Ensinnäkin käytetään kollimoitua sädettä tai hiukan suppenevaa sädettä, mikä vaatii lisäkytkentälinssit, jotta saadaan optimaalinen valoenergian siirtyminen optisesta lähetinkanavavälineestä optiseen vastaanotinkanavavälineeseen.

Toiseksi tavanomaisten linssien käyttö kytkentävälineenä tekee järjestelystä kooltaan epämukavan suuren, koska ilman täytyy ympäröidä linssejä, jotta saadaan sopivan suuri taitekertoimen muutos optisiin pintoihin.

Linsseille vaaditaan myös mekaanisia pitimiä, mikä mutkistaa mekaanista rakennetta.

Lisäksi tavanomaisia linssejä käyttävän jännite- tai sähkökenttäanturin tapauksessa linssien ympärillä oleva ilma rajoittaa kenttää, joka voidaan kohdistaa anturiin, ennen kuin tapahtuu sähköinen läpilyöntipurkaus.

Asteittaiskertoimisilla sauvalinsseillä voidaan välttää ilmaongelma, jos ne kytketään suoraan optiseen kanavaan, kuten esimerkiksi optiseen kuituun. Tällaisesta järjestelystä voidaan tehdä kompakti, ja optiset rajapinnat voidaan täyttää sähköisesti eristävällä optiikkaliimalla. Jotta asteittaiskertoimiset sauvalinssit kollimoisivat lähettimeltä tulevan sädekimpun, vaaditaan kuitenkin suhteellisen pienen ydinhalkaisijan, maks. 200 µm, omaava optinen kuitu, mikä rajoittaa valon määrää, joka voidaan lähettää valolähteellä optiseen kuituun ja rajoittaa tällä tavoin signaali-kohinasuhdetta ja tällaisen laitteen herkkyyttä, ellei sitä kompensoida tehokkaammalla valolähteellä.

Siten ei voida käyttää halpoja näkyvää valoa emittoivia diodeja, esim. LED:ejä, jotka emittoivat valoa alueella 500 - 700 nm, koska ne eivät voi syöttää riittävästi valoa sellaisten optisten kuitujen läpi, joilla on näin pieni ytimen halkaisija. Sen sijaan täytyy käyttää tehokkaampia ja kalliimpia LED:ejä, jotka emittoivat valoa alueella 800 - 950 nm. Näillä aallonpituuksilla toimivat LED:it ja polaroijat samoin kuin asteittaiskertoimiset sauvalinssitkin ovat kuitenkin kalliita.

Siksi tarvitaan valon polarisaatiotilan polarointielementissä indusoidun muutoksen määrittämiseksi menetelmä, joka voidaan toteuttaa kompaktissa, pienikokoisessa ja suhteellisen halvassa anturilaitteessa.

Tekniikan tason kuvaus

US-patenttijulkaisu 3 980 949 selittää magneettis-optisen mittausmuuttimen sekä nimellisten että erittäin

suurten virtojen mittaamiseksi, ja sanotussa muuttimessa on ensimmäinen magneettisesti kyllästyvä osa ja toinen paramagneettinen osa ensimmäisen ja toisen osan ulkopintojen ollessa varustettu heijastavilla materiaaleilla, jotta saadaan aikaan polaroidun valon moninkertainen kulkeminen muuttimen läpi. Heijastuksen aikaansaamisesta heijastavan kuvaavan optisen elementin ja kollimoimattoman valon avulla ei osoiteta tai esitetä mitään.

W.B. Spillman ja D.H. McMahon, "Multimode Fiber Optic Sensors Based on the Photoelastic Effect", Proceedings of Fiber Optics and Laser Sensors, Arlington, Virginia, April 5 - 7, 1983, SPIE, Vol. 412, Paper No. 412 - 17, p. 110 - 114, selittää monimuotokuituoptisen anturin, joka perustuu fotoelastiseen efektiin ja jossa tulokuidusta tuleva valo kollimoidaan asteittaiskertoimisilla sauvalinsseillä ja analysoitu valo erotetaan kahdeksi komponentiksi ja injektoidaan kahteen optiseen lähtökuituun asteittaiskertoimisten sauvalinssien kautta.

GB-hakemusjulkaisu 2 159 944 selittää optisen anturin, erityisesti optisen paineanturin, joka sisältää sähköisesti kytkettävän optisen 90°-rotaattorin. Anturi käyttää kollimoitua valoa eikä sisällä heijastavaa kuvaavaa optista elementtiä.

US-patenttijulkaisu 4 613 811 selittää kuituoptisen magneettisoptisen virta-anturin johtimen läpi kulkevan virran mittaamiseksi anturin sisältäessä kaksi komponenttia, joista toisessa on tasoheijastava pinta polaroidun valonsäteen heijastamiseksi kahden komponentin välillä. Polaroidun valon heijastamisesta heijastavan kuvaavan optisen elementin ja kollimoimattoman valon avulla ei ole osoitettu tai esitetty mitään.

Hulshof et al., "Optical Voltage Sensor: Applications in Electric Power Systems", SPIE Vol. 798, Fiber Optic Sensors II, 1987, selittää transmissiotyyppisen optista kuitua käyttävän jänniteanturin, joka sisältää vis-

mutti-germaniumoksidityyppisen Pockels-kennon ja tavanomaisia linssejä tai asteittaiskertoimisia sauvalinssejä kollimoivina tai fokusoivina kytkentävälineinä.

EP-hakemusjulkaisu 0 284 346 selittää optisen rajapinnan kytkettynä Faraday-rotaattorilaitteeseen, joka on sijoitettu ympäröivästi lähelle energiansiirtolinjaa magneettisoptisessa virtamuuttimessa, rajapinnan sisältäessä kollimaattorisegmentin kytkettynä välilinssiin, joka fokusoi kuituoptisesta kaapelista tulevan valon hajautuvan sädekimpun kollimoiduksi sädekimpuksi, joka suunnataan Faraday-rotaattorilaitteeseen polarointielementin läpi parabolisella pinnalla.

US-patenttijulkaisu 4 841 234 selittää kuituoptisen jänniteilmaisimen, joka sisältää optisen tuntoelimen, jossa on sähköoptista materiaalia työstettynä katkaistun kartion muotoon, jonka kärki on peitetty heijastavalla peilillä. Optinen tuntoelin sisältää kollimaattorin, joka antaa kollimoitua valoa, joka heijastetaan heijastavalla peilillä. Heijastuksen aikaansaamisesta heijastavan kuvaavan optisen elementin ja kollimoimattoman valon avulla ei ole osoitettu tai esitetty mitään.

US-patenttijulkaisu 4 948 255 selittää kuituoptisen anturilaitteen, joka sisältää elementin, joka on varustettu kahdella kokonaisheijastavalla pinnalla, jotka saavat sädekimpun kulkutien kääntämään suuntaansa 180°. Laite käyttää valoa, joka on kollimoitu esim. sauvalinsseillä, eikä sisällä heijastavaa kuvaavaa optista elementtiä.

2. KEKSINNÖN SELITYS

Keksinnön tarkoituksena on ensisijaisesti saada aikaan menetelmä ja kuituoptinen anturilaite valon polarisaatiotilan polarointielementissä indusoidun muutoksen määrittämiseksi, joka menetelmä voidaan suorittaa ja toteuttaa kompaktina, pienikokoisena ja suhteellisen halpana laitteena, jolle syöttää tehon pienen antotehon omaava valolähde, ja joka on helppo asentaa.

Keksinnön eräänä toisena tarkoituksena on saada aikaan sellainen menetelmä ja laite, jotka voivat sietää voimakkaita sähkökenttiä, ilman että ne altistuvat sähköisille läpilyöntipurkauksille.

Keksinnön vielä eräänä tarkoituksena on saada aikaan sellainen menetelmä ja laite, joilla on hyvä lämpötilastabiilius.

Menetelmä valon polarisaatiotilan indusoidun muutoksen määrittämiseksi

Keksinnön eräänä kohteena on menetelmä valon polarisaatiotilan polarointielementissä indusoidun muutoksen määrittämiseksi menetelmän käsittäessä:

a) polaroimattoman valon lähettämisen optisen lähetinkanavavälineen yhdessä päässä olevasta valolähteestä sen toisessa päässä olevalle polaroijavälineelle,

b) polaroimattoman valon polaroimisen polaroijavälineellä,

c) polaroidun valon lähettämisen polarointielementin läpi käyttäen ainakin yhtä heijastavaa optista elementtiä,

d) polarointielementiltä lähetetyn polaroidun valon analysoimisen analysoijavälineellä sekä

e) analysoidun polaroidun valon lähettämisen optisen vastaanotinkanavavälineen yhdestä päästä sen toisessa päässä olevalle valoilmaisimelle,

sanotun analysoidun valon lähtiessä analysoijavälineestä samasta puolesta kuin polaroimaton valo tulee polaroijavälineelle, jolloin

f) polaroimaton valo, kun se polaroidaan polaroijavälineellä, polaroitu valo, kun se analysoidaan analysoijavälineellä tai nämä molemmat ovat kollimoimattomia ja

g) optisen lähetinkanavavälineen sanotusta toisesta päästä tuleva valo valon kulkutiellä polaroijavälineen ja analysoijavälineen välillä heijastetaan ainakin yhdellä

heijastavalla optisella elementillä, joka fokusoi heijastetun polaroidun valon optisen vastaanotinkanavavälineen sanottuun yhteen päähän.

Keksinnön mukaan polaroimaton valo, kun se polaroidaan polaroijavälineellä, polaroitu valo, kun se analysoidaan analysoijavälineellä, tai näistä molemmat ovat kollimoimattomia, jolla tavoin vältetään lisäksi tarvittavat kanavien kytkentävälineet, erityisesti kollimoivat ja fokusoivat kytkentälinssit tai asteittaiskertoimiset sauvalinssit.

Keksinnön mukaan kollimoimattomaan valoon yhdistettynä optisen lähetinkanavavälineen sanotusta toisesta päästä tuleva valo polaroijavälineen ja analysoijavälineen välisellä valon kulkutiellä heijastetaan ainakin yhdellä heijastavalla optisella elementillä, joka fokusoi ja heijastaa polaroidun valon optisen vastaanotinkanavavälineen sanottuun yhteen päähän, jolla tavoin optiset lähetin- ja vastaanotinkanavavälineet voidaan kytkeä laitteen samalle puolelle.

Yhdistettyinä nämä kaksi piirrettä saavat aikaan vaikutuksen, että samanaikaisesti voidaan säästää komponentteja ja heijastetun polaroidun valon fokusointi optisen vastaanotinkanavavälineen sanottuun yhteen päähän voidaan suorittaa suhteellisen lyhyellä pituus-leveyssuhteella, jolla tavoin voidaan saada kompakti laite, jossa on suhteellisen suuri aktiivisen materiaalin suhde verrattuna kokonaistilavuuteen.

Myös koska heijastava pinta vaatii vähän tilavuutta verrattuna linsseihin, voidaan saada aikaan suhteellisen pienikokoinen laite verrattuna tavanomaisiin linssilaitteisiin, koska valon kulkutietä käytetään tehokkaammin soveltamalla aktiivista materiaalia tilaan, jonka muuten varaavat asteittaiskertoimset sauvalinssit tai tavanomaiset linssit ja ilma.

Lisäksi, koska optiset lähetin- ja vastaanotinkanavavälineet voidaan kytkeä polarointielementin samalle puolelle, laitteesta voidaan tehdä helposti asennettava erityisesti sovellutuksissa, joissa mitattavaa suuretta voidaan lähestyä ainoastan yhdeltä puolelta.

Myös soveltamalla aktiivista materiaalia tilaan, jonka muutoin varaavat linssit ja erityisesti ilma, se voi sietää korkeita sähkökenttiä joutumatta sähköisen läpilyöntipurkauksen kohteeksi.

Lisäksi, koska esimerkiksi asteittaiskertoimiset sauvalinssit voidaan välttää, voidaan käyttää suhteellisen halpoja, suuren ydinhalkaisijan omaavia optisia kanavavälineitä, joiden halkaisijat ovat alueella 200 - 1 000 µm. Siten saavutetaan parempi optisen tien siirtotehokkuus laitteen läpi valolähteeltä ilmaisimeen verrattuna antureihin, joissa käytetään tavanomaisia 50 - 100 µm optisia kuituja. Lisäksi saavutetaan parempi signaali-kohinasuhde ja herkkyys verrattuna tavanomaisiin antureihin, samoin kuin saavutetaan myös vertailukelpoinen tarkkuus alhaisemmalla optisella tehotasolla. Herkkyyden paraneminen voidaan saavuttaa myös soveltamalla useampia heijastavia kuvaavia elementtejä, jotka saavat aikaan moninkertaisen siirtämisen polarointielementin läpi ja kasvattavat optista kulkutietä kokonaisuudessaan polarointielementissä.

Heijastavat kuvaavat optiset elementit

Keksinnön mukaan polaroitu valo valon kulkutiellä polarisoijavälineen ja analysoijavälineen välillä heijastetaan ainakin yhdellä heijastavalla optisella elementillä, niin että polaroitu valo siirretään kerran tai useampia kertoja polarointielementin läpi, ennen kuin se analysoidaan.

Yksinkertainen sovellutusmuoto käsittää ainoastaan yhden fokusoivan heijastavan optisen elementin.

Siksi eräässä suositussa sovellutusmuodossa polaroitu valo lähetetään herkän polarointielementin läpi ker-

ran tai useampia kertoja, suositeltavimmin kerran tai kahdesti, yhdellä heijastavalla kuvaavalla optisella elementillä.

Suuremman herkkyyden saavuttamiseksi polaroitu valo voidaan yleisesti ottaen lähettää polarointielementin läpi useita kertoja useilla heijastavilla optisilla elementeillä, joista ainakin yksi on kuvaava.

Erityisesti polarointielementillä, jossa on heijastava tasopinta, jossa on aukot valon tuloa ja lähtöä varten, sekä heijastava kupera pinta tasopintaa vastapäätä, voidaan saada aikaan kaiken kaikkiaan neljä polaroidun valon siirtymistä polarointielementin läpi.

Siksi eräässä toisessa suositussa sovellutusmuodossa polaroitu valo lähetetään herkän polarointielementin läpi kerran tai useampia kertoja, suositeltavimmin kerran, kahdesti tai neljä kertaa, kahdella heijastavalla elementillä, joista ainakin yksi on kuvaava.

Keksinnön mukaan heijastavat kuvaavat optiset elementit voidaan saada aikaan alalla tunnetuin menetelmin.

Eräässä suositussa sovellutusmuodossa heijastava kuvaava optinen elementti muodostuu polarointielementin heijastavalla pinnoitteella päällystetystä kuperasta pinnasta, jonka kaarevuus voidaan saada aikaan linssinvalmistuksen alalla tunnetuin menetelmin, esim. käyttämällä geometrista valo-oppia ja edellyttäen, että optisen lähetinkanavavälineen ja polaroijavälineen apertuuri, polaroijavälineen paksuus ja taitekerroin, polarointielementin pituus ja teitekerroin, analysoijavälineen paksuus ja taitekerroin sekä analysoijavälineen ja optisen vastaanotinkanavavälineen apertuuri tunnetaan.

Lisäksi heijastava pinnoite voidaan valita alalla tunnetuista heijastavista pinnoitteista mukaan lukien metalliset pinnoitteet, kuten Al, Ag ja Au, sekä eristepinnoitteet, kuten kvartsi, ZnS, TiO_2 ja Sb_2O_3.

Joissakin tapauksissa, erityisesti silloin kun käytetään kalliita ja hauraita polarointielementtejä, voi olla suositeltavaa, että kuperaa pintaa ei laiteta suoraan polarointielementille vaan esimerkiksi tasokuperalle linssille.

Siksi vielä eräässä suositussa sovellutusmuodossa heijastava kuvaava optinen elementti muodostuu tasokuperasta linssistä, jonka kupera pinta on päällystetty heijastavalla pinnoitteella. Nämä linssit voidaan saada aikaan linssinvalmistuksen alalla tunnetuin menetelmin mukaan lukien optinen suunnittelu geometrisen valo-opin avulla.

Eräissä muissa tapauksissa voi olla suositeltavaa soveltaa heijastavaa taivuttavaa optista elementtiä, erityisesti, jotta vältetään kuperan pinnan suhteellisen kallis valmistusmenetelmä, ja nämä elementit voidaan saada aikaan alalla tunnetuin menetelmin mukaan lukien holografisten tai tietokoneella kehitettyjen taivuttavien optisten elementtien valmistusmenetelmät (P. Hariharan, "Optical Holography", Cambridge University Press, 1984; L. Solymar and D.J. Cooke, "Volume Holography and Volume Grating", Academic Press 1981; sekä R.R.A. Syms, "Practical Volume Holography", Claradon Press, Oxford 1990).

Siksi vielä eräässä suositussa sovellutusmuodossa heijastava kuvaava optinen elementti muodostuu taivuttavasta optisesta elementistä.

Polarointielementti

Keksinnön mukaan polarointielementti muodostuu

i) herkästä polarointielementistä, joka sisältää sopivan aktiivisen polarointimateriaalin, jossa magneettikenttä, sähkökenttä tai mekaaninen voima voi indusoida taitekertoimen anisotropiaa, sekä

ii) valinnaisesti lisäpolarointielementin, joka saa aikaan polaroidun valon vaiheviipymän tai polarisaation kierron.

Alalla tunnetaan aktiivisia polarointimateriaaleja, joista joillakin on luontainen kahtaistaitteisuus ja joihin sisältyvät:

a) sähköoptiset materiaalit mukaan lukien kiteet, kuten CdF, GaAs, GaP, ß-ZnS, ZnSe, ZnTe, $Bi_4Ge_3O_{12}$, $Bi_{12}GeO_{20}$, $Bi_{12}SiO_{20}$, KH_2PO_4, $NH_4H_2PO_4$, $NH_4D_2PO_4$, $LiNbO_3$, $LiTaO_3$, KIO_3 ja kvartsi (SiO_2), ja sähköoptinen polymeeri, joka on valmistettu napaistamalla sellaiset polymeerit kuten epoksi tai polymetyylimetakrylaatti, joka sisältää sähköoptista väriainetta, kuten yhtä tai useampaa atsoväriainetta kuten Disperse Red 1 (4-(4-nitrofenyyliatso)-N-etyyli-N-2-hydroksietyylianiliini). (Napaistamisella tarkoitetaan menetelmää, jossa polymeerissä saadaan aikaan faasisiirtymä liikkuvasta tilasta liikkumattomaan tilaan sähkökentän, ts. napaistavan kentän, vaikutuksen alaisuudessa siten, että napaistavan kentän molekyyleistä johtuva suuntautuminen sähköoptiseen väriaineeseen säilyy kentän poistumisen jälkeen. Napaistamismenetelmä on kuvattu julkaisussa Allan Göttsche: "Electrooptic and Magnetooptic Sensors for Advanced Applications in Electric Powersystems", Electric Power Engineering Department, Technical University of Denmark, Publication no. 9005 (1990));

b) magneettisoptiset materiaalit mukaan lukien lasit, kuten kvartsilasi, ja diamagneettiset lasit, kuten BK7, SF6, SF57, SF58, SF59 (Schott), FR-4, FR-5, FR-7 (Hoya) ja M-16 (Kigre), sekä kiteet, kuten kvartsi (SiO_2), EuF_2, $Tb_3Al_5O_{12}$, $LiTbF_4$, ZnSe, GeF_3, LaF_3, $Bi_4Ge_3O_{12}$, $Bi_{12}GeO_{20}$, CdMnTe, $Y_3Fe_5O_{12}$ (YIG) ja Tb_xY_{x-1} (IG); sekä

c) fotoelastiset materiaalit mukaan lukien lasit, kuten ZKN7, FK5, SK14, SK16, F2, LaFN2, SF2, SF4 ja SF5 (Schott).

Kaikissa optisissa materiaaleissa esiintyy magneettisoptinen Faraday-efekti. Efektin voimakkuus kuitenkin vaihtelee. Joissakin magneettisoptisissa materiaaleissa esiintyy samanaikaisesti sähköoptinen efekti, esim. sel-

laisissa materiaaleissa kuten $Bi_4Ge_3O_{12}$, $Bi_{12}GeO_{20}$ ja $Bi_{12}SiO_{20}$.

Herkkä polarointielementti voi muodostua materiaaleista, jotka on valittu materiaaleista, joilla on luontainen kahtaistaitteisuus, ja fyysiset mitat voidaan valita siten, että luontainen kahtaistaitteisuus tuottaa lambda/4-vaiheviipymän, jolla tavoin lisäpolarointielementti voidaan välttää.

Lisäpolarointielementti voi muodostua vaiheenviivästysvälineestä, joka antaa suositeltavimmin vaiheviipymän lambda/4, ja joka sisältää alalla tunnettuja vaiheenviivästysmateriaaleja mukaan lukien dikroiset viivästyslevyt, kiilleviivästyslevyt ja kvartsiviivästyslevyt, kaikki tällaiset levyt esimerkiksi lasilevyjen väliin kerrostettuina. Lisäpolarointielementtiä käytetään suositeltavimmin yhdessä sähköoptisten tai fotoelastisten materiaalien kanssa, joilla on vähän tai ei lainkaan luontaista kahtaistaitteisuutta.

Kuten alla todetaan, vaiheenviivästysväline voidaan saada aikaan heijastavilla optisilla elementeillä, jotka suuntaavat polaroidun valon polarointielementin läpi, jolla tavoin lisäpolarointielementti myös vältetään.

Lämpötila- ja aallonpituusstabiiliuden paraneminen

Vaiheenviivästysväline voi olla mukana erityisesti siten, että saavutetaan suuri toleranssi aallonpituus- ja lämpötilaepästabiiliutta vastaan.

Heijastukseen perustuva vaiheenviivästys on suhteellisen epäherkkä lämpötilanvaihteluille, koska muutos heijastavan elementin fyysisissä mitoissa, toisin kuin kahtaistaitteisissa vaiheenviivästyselementeissä, ei vaikuta vaiheenviivästyksen määrään (H. Fabricius, "Achromatic Prism Retarder for Use in Polarimetric Sensors", Applied Optics, Vol. 30, No. 4, 1991, pp. 426 - 429).

Siksi vaiheenviivästysväline sisältää keksinnön mukaan heijastukseen perustuvan vaiheenviivästysvälineen.

Eräässä suositussa sovellutusmuodossa heijastava kuvaava optinen elementti muodostuu polarointielementin valinnaisesti päällystetystä kuperasta pinnasta, joka heijastaa sisäisellä kokonaisheijastuksella.

Joissakin tapauksissa, erityisesti silloin kun käytetään kalliita tai hauraita polarointielementtejä, voi olla suositeltavaa, että kuperaa pintaa ei laiteta suoraan polarointielementille vaan sen sijaan optiselle lisäelementille.

Siksi eräässä toisessa sovellutusmuodossa heijastava kuvaava optinen elementti muodostuu optisen lisäelementin valinnaisesti päällystetystä kuperasta pinnasta, joka heijastaa sisäisellä kokonaisheijastuksella.

Koska vaiheenviivästys riippuu ainoastaan sisäisestä kokonaisheijastuksesta, joka riippuu elementin itsensä ja ympäröivän ilman taitekertoimista, se on käytännössä epäherkkä lämpötilanvaihteluille. Elementti muodostuu optisesta materiaalista, jossa on kupera sisäisesti kokonaisheijastava pinta, joka, jos se on valittu olemaan parabolinen, pystyy kollimoimaan parabolisen pinnan polttopisteestä lähtevän hajautuvan sädekimpun tai päinvastoin pystyy fokusoimaan kollimoidun sädekimpun polttopisteeseen. Jos kupera pinta ei ole parabolinen, se pystyy silti saamaan aikaan vaiheenviivästyksen, kuitenkin niin, että kollimoitua sädekimppua ei saada.

Heijastuneina sisäisen kokonaisheijastuksen kulmavaatimuksen täyttävät optiset säteet saavat vaiheviipymän, joka on elementin taitekertoimen ja tulevan säteen ja heijastuneen säteen välisen kulman funktio. Vaikka sädekimpun jokainen säde saa jonkin verran erilaisen vaiheviipymän, on mahdollista valita elementin taitekerroin, edellyttäen että optisen sädekimpun intensiteettijakauma tunnetaan, siten, että koko sädekimpun yksi heijastuminen pinnasta indusoi efektin, joka analysoijassa analysoituna ja ilmai-

simen integroimana voi korvata lambda/8-viivästyselementin vaikutuksen.

Kun optinen sädekimppu heijastetaan kahdesti yhdestä pinnasta tai heijastetaan kahdesta eri pinnasta, koko nettovaikutus ilmaisimessa analysoituun ja integroituun optiseen tehoon voi korvata lambda/4-vaiheenviivästyselementin.

Polaroijaväline

Polaroijaväline sisältää lineaarisia polaroijia mukaan lukien dikroiset kalvopolaroijat, lasipolaroijat (esim. 8612 Polarcor™ Corningilta), polaroivat säteenjakajat ja kalsiittipolaroijat.

Analysoijaväline

Analysoijaväline sisältää välineen eron tekemiseksi polaroijavälineen ja, jos sellainen on, vaiheenviivästysvälineen polarisaatiotilan ja polarointielementistä lähtevän valon polarisaatiotilan välillä.

Analysointiväline sisältää samantyyppisiä lineaarisia polaroijia kuin polaroijavälinettä koskien todettiin.

Optiset lähetin- ja vastaanotinkanavavälineet

Optiset lähetin- ja vastaanotinkanavavälineet sisältävät alalla tunnettuja optisia kuituja, kuten esimerkiksi optisia yksimuoto- ja monimuotokuituja, jolloin parhaina pidetään erityisesti monimuotokuituja, joilla on laajat ytimet.

Valolähteet ja ilmaisimet

Valolähteet sisältävät sopivia valolähteitä optisiin kuituihin kytkemistä varten mukaan lukien esimerkiksi valoa emittoivat diodit (LED). Suuren ydinhalkaisijan omaavien optisten kuitujen yhteydessä voidaan erityisesti käyttää halpoja LED:ejä.

Valoilmaisin sisältää sopivia valoilmaisimia optisiin kuituihin kytkeytymistä varten mukaan lukien PIN- ja vyöryfotodiodit ja fototransistorit, jotka pystyvät ilmaisemaan käytetystä valolähteestä saadun valon.

Analysoijan läpi siirretty optinen teho on verrannollinen valolähteen lähettämään optiseen tehoon, mutta mitattavan suureen moduloimana.

Moduloidun optisen signaalin ilmaisee valoilmaisin, ja se muutetaan sillä tavoin sähkövirraksi, joka muutetaan elektronisella vahvistusvälineellä sähköjännitteeksi, jonka suuruus on verrannollinen analysoijan läpi siirrettyyn optiseen tehoon. Mitattavaan suureeseen verrannollinen signaalikomponentti voidaan erottaa kohinasignaaleista ja häviöistä optisessa järjestelmässä johtuva vaimennus voidaan kompensoida elektronisen signaalinmuokkausvälineen avulla, ts. signaalinkäsittelyelektroniikalla, joka tunnetaan kuituoptisen anturitekniikan ja polarimetristen optisten mittausmenetelmien alalla. Ks. esimerkiksi Hulshof et al. ibid; Spillman and McMahon ibid; ja EP-hakemusjulkaisut 0 247 842 ja 0 254 396.

Kuituoptiset anturilaitteet

Keksintö liittyy anturilaitteisiin, erityisesti kuituoptisiin anturilaitteisiin valon polarisaatiotilan polarointielementissä indusoidun muutoksen määrittämiseksi.

Keksinnön eräänä toisena kohteena on kuituoptinen anturilaite valon polarisaatiotilan polarointielementissä indusoidun muutoksen määrittämiseksi sisältäen:

a) polaroijavälineen optisen lähetinkanavavälineen yhdestä päästä lähtevän polaroimattoman valon polaroimiseksi, joka lähetinkanavaväline lähettää polaroimatonta valoa valolähteestä polaroijavälineeseen,

b) polarointielementin, joka käsittää sopivan polarointiaktiivisen materiaalin, jonka refraktioindeksissä aikaansaatu anisotropia muuttaa polaroijavälineellä polaroidun valon polarointitilaa,

c) ainakin yhden heijastavan optisen elementin polarointielementin läpi lähetetyn mainitun polaroidun valon heijastamiseksi, ja

d) analysoijavälineen ainakin yhden heijastavan optisen elementin avulla heijastetun mainitun polaroidun valon analysoimiseksi, joka analysoijaväline on sijoitettu analysoitua valoa analysoijavälineestä ilmaisuvälineeseen lähettävän optisen vastaanotinkanavavälineen yhteen päähän,

sanotun analysoidun valon lähtiessä analysoijavälineestä samasta puolesta kuin polaroimaton valo tulee polaroijavälineeseen, jolloin

e) sanottu ainakin yksi heijastava optinen elementti on järjestetty fokusoimaan polaroijavälineen läpi optisen lähetinkanavavälineen sanotusta yhdestä päästä analysoijavälineen kautta lähetetty valo optisen vastaanotinkanavavälineen sanottuun yhteen päähän.

Yksinkertainen sovellutusmuoto sisältää ainoastaan yhden heijastavan optisen elementin.

Siksi eräässä suositussa sovellutusmuodossa sanottu ainakin yksi heijastava optinen elementti muodostuu yhdestä fokusoivasta heijastavasta optisesta elementistä, joka on järjestetty lähettämään valo herkän polarointielementin läpi.

Suurempi herkkyys saavutetaan lähettämällä polaroitu valo polarointielementin läpi useita kertoja useammilla heijastavilla optisilla elementeillä, joista ainakin yksi on fokusoiva.

Siksi eräässä toisessa suositussa sovellutusmuodossa sanottu ainakin yksi heijastava optinen elementti muodostuu kahdesta heijastavasta optisesta elementistä, joista ainakin yksi on fokusoiva, järjestettyinä lähettämään valo herkän polarointielementin läpi.

Sanottu ainakin yksi heijastava optinen elementti on valittu ryhmästä, jonka muodostavat:

i) heijastavalla pinnoitteella päällystetyn polarointielementin kupera pinta,

ii) tasokupera linssi, jossa on heijastavalla pinnoitteella päällystetty kupera pinta,

iii) heijastava taivuttava optinen elementti,

iv) herkän polarointielementin valinnaisesti päällystetty kupera pinta, joka heijastaa sisäisellä kokonaisheijastuksella, sekä

v) optisen lisäelementin valinnaisesti päällystetty kupera pinta, joka heijastaa sisäisellä kokonaisheijastuksella.

Eräässä suositussa sovellutusmuodossa optiset lähetin- ja vastaanotinkanavavälineet muodostuvat yhdestä tai useammasta optisesta monimuotokuidusta kytkettyinä vastaavasti yhteen tai useampaan polaroijavälineeseen ja analysoijavälineeseen.

Eräässä suositussa sovellutusmuodossa polarointielementti muodostuu magneettisoptisesta materiaalista, ja polarointielementissä indusoidaan kiertokahtaistaitteisuus magneettikentällä tai sähkövirrasta indusoituneella magneettikentällä.

Vielä eräässä suositussa sovellutusmuodossa polarointielementti muodostuu sähköoptisesta materiaalista ja sisältää lisäksi vaiheenviivästysvälineen, ja polarointielementissä indusoidaan lineaarinen kahtaistaitteisuus sähkökentällä tai sähköjännitteestä indusoituneella sähkökentällä.

Vielä eräässä sovellutusmuodossa polarointielementti muodostuu fotoelastisesta materiaalista ja sisältää lisäksi vaiheenviivästysvälineen, ja polarointielementissä indusoidaan lineaarinen kahtaistaitteisuus mekaanisella voimalla tai kiihtyvyydestä tai paineesta indusoituneella mekaanisella voimalla.

Erityisesti on huomattava, että yksinkertaisia anturilaitteita, jotka sisältävät ainoastaan yhden optisen kuidun tai yhden sarjan optisia lähetin/vastaanotinkuituja, kun niitä käytetään standardin polarimetrikäytännön

mukaisesti, voidaan käyttää suorittamaan ainoastaan dynaamisten signaalien, toisin sanoen pulssi- tai AC-signaalien mittauksia, koska anturin ohjauspiiri käyttää lähetetyn optisen signaalin DC-komponenttia sen jälkeen saatuna, kun valo on ohittanut analysoijan, optisessa kuidussa tapahtuvan dynaamisen häviön kompensoimiseen.

Siksi, ellei nimenomaisesti toisin mainita, kuvattuja optisia anturilaitteita käytetään mittaamaan dynaamisia signaaleja, kuten AC- tai pulssimuotoista magneettikenttää, sähkökenttää, sähkövirtaa, sähköjännitettä tai dynaamisia mekaanisia signaaleja, kuten tärinää, kiihtyvyyttä tai dynaamisia paineenvaihteluita. Staattisten signaalien (DC-signaalien) mittaus voidaan suorittaa, kun käytetään useampaa kuin yhtä sarjaa lähetin/vastaanotinkuituja sekä polaroijia ja analysoijia.

Ilmaisujen määrittely

Tässä yhteydessä ilmaisu "kuituoptinen anturi" on tarkoitettu merkitsemään optista anturilaitetta, jota syötetään kuituoptisin kanavin valon siirtämiseksi optiseen anturilaitteeseen ja siitä pois.

Siksi ilmaisu "kuituoptinen anturi" ei pidä sisällään sitä, että kuituoptiset kanavat itse ovat herkkiä polarointielementtejä, joissa valon polarisaatiotilan muutos tapahtuu.

Tässä yhteydessä ilmaisu "lineaarinen kahtaistaitteisuus" merkitsee optisen materiaalin kykyä jakaa tulevan polaroidun valon aalto kahdeksi lineaarisesti polaroiduksi aaltokomponentiksi polarisaatiotasojen yhtyessä materiaalin tunnusomaisiin suuntiin ja näiden aaltokomponenttien siirtyessä erilaisin etenemisnopeuksin, mistä on tuloksena lineaarisesti polaroitujen aaltokomponenttien jälleenyhdistämisen, sen jälkeen kun ne ovat kulkeneet materiaalin läpi, kehittämä siirretyn aallon vaiheviipymä ja mikä tuottaa siirretyn optisen aallon polarisaatiotilan muutoksen suhteessa tulevaan aaltoon.

Vaiheviipymä voi esiintyä myös siten, että annetaan polaroidun valon käydä läpi heijastuminen muussa kuin nollakulmassa, suositeltavasti sisäisenä kokonaisheijastumisena, tai heijastavan pinnoitteen aiheuttamana heijastuksena.

Vaiheenviivästysväline muodostuu joko yhdestä tai useammasta taitekertoimen anisotropian omaavasta aineesta, ts. lineaarisesti kahtaistaitteisesta aineesta, tai heijastavista pinnoista tai näiden kahden yhdistelmästä. $\pi/2$ radiaanin tai lambda/4-aallonpituuden vaiheviipymä, ts. lambda/4-aaltolevy, voi muuttaa lineaarisesti polaroidun valon kiertopolaroiduksi valoksi, mikä antaa optimaalisen siirtymän toimintapisteelle indusoidun lineaarisen kahtaistaitteisuuden ilmaisemiseksi, esim. sähköoptisissa ja fotoelastisissa antureissa.

Lisäksi tässä yhteydessä ilmaisu "kiertokahtaistaitteisuus" merkitsee ilmiötä, että taitekertoimen anisotropian omaavaan aineeseen tuleva polaroidun valon aalto erottuu kiertopolaroidun valon kiertosuunnan suhteen kahdeksi vastakkaisesti kiertäväksi kiertopolaroiduksi polarisaatiokomponentiksi, joilla on eri etenemisnopeudet, minkä tuloksena on materiaalin läpäisemisen jälkeen tapahtuvan kiertopolaroitujen polarisaatioiden jälleenyhdistymisen kehittämä siirretyn aallon polarisaatiokierto.

Kiertokahtaistaitteisuus saa aikaan lineaarisesti polaroidun valon polarisaatiotason kiertämisen.

Lambda/4:n tai $\pi/2$ radiaanin vaiheviipymä saa aikaan muutoksen lineaarisesta polarisaatiotilasta kiertopolarisaatiotilaan.

Myös kun tässä yhteydessä todetaan, että polaroijavälineen polaroima polaroimaton valo ja analysoijavälineen analysoima polaroitu valo tai molemmat ovat kollimoimattomia, ilmaisu "kollimoimaton" merkitsee, että optisen lähetinkanavavälineen lähettämä valo etenee hajautuvana sädekimppuna polaroijavälineen ja polarointielementin läpi

edeten optisen aallon etenemisen fysikaalisten lakien mukaisesti, kuten optisen lähetinkanavavälineen numeerinen aukko ja ytimen halkasija sekä polaroijavälineen ja polarointielementin taitekertoimet määräävät, ja että sanotun ainakin yhden heijastavan kuvaavan optisen elementin kokoama ja heijastama valo heijastuu takaisin polarointielementin ja analysoijavälineen läpi suppenevana sädekimppuna edeten optisen aallon etenemisen fysikaalisten lakien mukaisesti, kuten polarointielementin ja analysoijavälineen taitekertoimet ja heijastavan kuvaavan optisen elementin aukko ja polttoväli määräävät.

Lisäksi tässä yhteydessä tulee implisiittisenä seikkana ymmärtää, että joka kerta, kun mainitaan ilmaisut "polarointielementti", "lisäpolarointielementti", vaiheenviivästysväline", "polaroijaväline" ja "analysoijaväline", mainittujen laitteiden karakteristiset optiset akselit on kohdistettu toisiinsa polarimetrisen mittaustekniikan mukaisesti, kuten on kuvattu optiikkaa koskevassa kirjallisuudessa.

Toisin sanoen indusoidun lineaarisen kahtaistaitteisuuden, kuten esimerkiksi lineaarisen sähköoptisen efektin tai fotoelastisen efektin, mittaamiseksi polaroijavälineen ja analysoijavälineen polarisaatioakseleiden ja vaiheenviivästysvälineen ja polarointielementin niin kutsuttujen "nopeiden" ja "hitaiden" optisten akseleiden tulee kaikkien olla polarimetrisen mittauskäytännön mukaisesti kohdistettuja. Sen mukaisesti indusoidun kiertokahtaistaitteisuuden, kuten magneettisoptisen Faraday-efektin, mittaamiseksi polaroijavälineen ja analysoijavälineen polarisaatioakseleiden sekä lisäpolarointielementin, jos sellainen on, "nopean" ja "hitaan" akselin ja polarointielementin luontaisen kahtaistaitteisuuden, jos tällainen luontainen kahtaistaitteisuus esiintyy, "nopean" ja "hitaan" akselin tulee kaikkien olla polarimetrisen mittauskäytännön mukaisesti kohdistettuja.

Palarimetristä mittauskäytäntöä on kuvattu optiikkaa koskevassa kirjallisuudessa, erityisesti julkaisuissa:

1) Eugene Hehcht: "Optics", 2nd Edition, Addison-Wesley Publishing Company Inc., World Student Series (1987),

2) A. Yariv and P. Yeh: "Optical waves in crystals", Wiley-Interscience Publication, (1984),

3) Allan Göttsche: "Electrooptic and Magnetooptic Sensors for Advanced Applications in Electric Powersystems", Electric Power Engineering Department, Technical University of Denmark Publication no. 9005 (1990).

3. Piirustusten lyhyt kuvaus

Keksinnön muut tarkoitukset ja piirteet selviävät yksityiskohtaisesta kuvauksesta ja erityisistä esimerkeistä, jotka ainoastaan havainnollistavat suosittuja sovellutusmuotoja, sekä liittyvistä piirustuksista, joista:

kuvio 1A esittää kuituoptisen magneettisoptisen anturilaitteen parhaana pidettyä sovellutusmuotoa,

kuvio 1B esittää poikkileikkauskuvaa pitkin linjaa Ib-Ib kuviossa 1A,

kuvio 1C esittää kuviossa 1A esitetyn laitteen erästä toista sovellutusmuotoa, jossa polaroitu valo kulkee polarointielementin läpi neljä kertaa,

kuvio 2 esittää kuvion 1 laitteen vielä erästä sovellutusmuotoa,

kuvio 3 esittää kuituoptisen magneettisoptisen anturilaitteen suosittua sovellutusmuotoa, joka sisältää taivuttavan optisen elementin heijastavana kuvaavana optisena elementtinä,

kuvio 4 esittää kuvion 3 laitteen erästä toista sovellutusmuotoa, joka sisältää optisen kuitulähettimen ja kaksi optista kuituvastaanotinta,

kuviot 5A, 5B, 5C ja 5D esittävät sähköoptisen/fotoelastisen optisen kuituanturilaitteen suosittuja sovellutusmuotoja,

kuvio 6A esittää magneettisoptisen optisen kuituanturilaitteen erästä suosittua sovellutusmuotoa, joka sisältää yhden optisen kuidun, joka toimii samanaikaisesti lähettimenä ja vastaanottimena,

kuvio 6B esittää sähköoptisen/fotoelastisen anturilaitteen erästä suosittua sovellutusmuotoa, joka sisältää yhden optisen kuidun, joka toimii samanaikaisesti lähettimenä ja vastaanottimena,

kuvio 7A esittää sähköoptisen/fotoelastisen anturilaitteen erästä suosittua sovellutusmuotoa, joka sisältää optisen lisäelementin, joka sisältää heijastavan kuvaavan optisen pinnan, ja tasopeilin, joka korvaa optisen lambda/4-elementin, yhdistelmää,

kuvio 7B esittää kuvion 7A laitteen erästä toista sovellutusmuotoa, jossa herkkä polarointielementti on sijoitettu heijastavan kuvaavan optisen elementin ja tasopeilin väliin,

kuvio 7C esittää kuvion 7A vielä erästä sovellutusmuotoa, jossa heijastava kuvaava optinen pinta on herkän polarointielementin kupera pinta,

kuvio 7D esittää edelleen kuvion 7A laitteen erästä sovellutusmuotoa, jossa optinen lisäelementti, joka sisältää heijastavan kuvaavan optisen pinnan, on korvattu tasokuperalla linssillä, joka on asennettu herkän polarointielementin tasopinnalle,

kuvio 7E esittää poikkileikkauskuvaa pitkin linjoja VIIe-VIIe kuvioissa 7A ja 7D suosituille sovellutusmuodoille, joissa käytetään vastaavasti yhtä tai kahta optista kuitua,

kuvio 7F esittää poikkileikkauskuvaa pitkin linjoja VIIf-VIIf kuviossa 7B ja 7C suosituille sovellutusmuodoille, joissa käytetään vastaavasti yhtä tai kahta optista kuitua,

kuvio 7G esittää sähköoptisen/fotoelastisen anturilaitteen erästä toista sovellutusmuotoa, joka sisältää

polarointielementin, jossa on heijastava kuvaava optinen pinta, ja optisen lisäelementin, joka sisältää sisäisesti kokonaisheijastavan tasopinnan, jolla on vaiheenviivästysominaisuudet optisen lambda/4-elementin korvaamiseksi, yhdistelmän,

kuvio 7H esittää poikkileikkauskuvaa pitkin linjoja VIIh-VIIh kuviossa 7G suosituille sovellutusmuodoille, joissa käytetään vastaavasti yhtä tai kahta optista kuitua,

kuvio 8A esittää kuvion 7A laitteen vielä erästä sovellutusmuotoa, joka sisältää kaksi vaiheenviivästyselementtiä,

kuvio 8B esittää kuvion 7B laitteen erästä toista sovellutusmuotoa, joka sisältää kaksi vaiheenviivästyselementtiä,

kuvio 9 esittää keksinnön mukaisen magneettisoptisen kuituoptisen anturilaitteen erästä sovellutusta sijoitettuna magneettikentän yhdistävään sydämeen,

kuvio 10A esittää keksinnön mukaisen sähköoptisen anturilaitteen erästä sovellutusta sijoitettuna jänniteanturin elektrodien väliin,

kuvio 10B esittää keksinnön mukaisen, kuviossa 7C esitetyn lämpötila- ja aallonpituusstabiiliudeltaan parannetun sähköoptisen anturilaitteen erästä sovellutusta sijoitettuna jänniteanturin elektrodien väliin,

kuvio 10C esittää keksinnön mukaisen, kuviossa 7D esitetyn lämpötila- ja aallonpituusstabiiliudeltaan parannetun sähköoptisen anturilaitteen erästä sovellutusta sijoitettuna jänniteanturin elektrodien väliin,

kuvio 11 esittää sähköoptisen anturilaitteen erästä sovellutusta yhdessä magneettisoptisen anturilaitteen kanssa, joka sisältää magneettikentän yhdistävän sydämen, näiden molempien keksinnön mukaisten laitteiden ollessa sijoitettuna sähköisesti maadotetun hylsyn sisälle, joka ympäröi sähkökaapelin yhtä johdinta,

kuvio 12 esittää keksinnön mukaisen fotoelastisen anturilaitteen erästä sovellutusta sijoitettuna irrallisen massan ja tuen väliin kiihtyvyyden mittaamiseksi, ja

kuvio 13 esittää keksinnön mukaisen fotoelastisen anturilaitteen sovellutusta, joka on kytketty sauvan avulla kalvoon paineen mittaamiseksi.

4. Yksityiskohtainen kuvaus

Keksinnön mukaan menetelmää ja laitetta valon polarisaatiotilan polarointielementissä indusoidun muutoksen määrittämiseksi voidaan käyttää polarointielementissä indusoiduille sekä lineaariselle että kiertokahtaistaitteisuudelle riippuen siitä, onko aktiivinen polarointimateriaali magneettisoptinen, sähköoptinen vai fotoelastinen. Ainoa ero on, että vaaditaan vaiheenviivästysväline indusoidun lineaarisen kahtaistaitteisuuden tapauksessa sähköoptisissa ja fotoelastisissa materiaaleissa.

Siksi suosittujen sovellutusmuotojen yksityiskohtaisen kuvauksen tulee katsoa havainnollistavan kahtaistaitteisuuden molempia tyyppejä myös silloin, kun sitä ei ole nimenomaisesti todettu.

Ellei nimenomaisesti toisin mainita, kaikkien optisten elementtien optiset akselit on kohdistettu polarimetrisen mittauskäytännön mukaisesti, kuten aikaisemmin todettiin.

Magneettisoptiset kuituoptiset anturilaitteet

Kuvio 1 esittää magneettisoptisen kuituoptisen anturilaitteen 10 erästä suosittua sovellutusmuotoa.

Polaroimaton valo lähetetään optisen kuitulähettimen 21, esim. 600 µm ytimen omaavan muovipäällysteistä kvartsia olevan monimuotokuidun TECS™, Technology-Enhanced Clad Silica, FT-600-LMT (3M), yhdessä päässä olevasta valolähteestä (ei ole esitetty) polaroijavälineelle 31, joka muodostuu lineaarisesta polaroijasta, esim. Corningilta saatavilla olevasta 8612 Polarcor™-lasipolaroijasta, toisessa päässä.

Optisesta kuidusta 21 saatu polaroimaton hajoava valo polaroidaan lineaarisesti polaroijalla 31 ja lähetetään polarointielementin 41 läpi, joka muodostuu kiertokahtaistaitteisesta magneettisoptisesta materiaalista, joka saa aikaan polarisaatiokierron, kun se altistetaan magneettikentille, esim. Schottilta saatavilla olevasta lasista SF6.

Lineaarisesti polaroidun, mutta polarisaatioltaan kiertyneen valon kerää ja heijastaa takaisin polarointielementin 41 läpi heijastava optinen pinta 51 saaden aikaan lisäpolarisaatiokierron. Heijastava kuvaava optinen pinta 51 on polarointielementin 41 kupera pinta, joka on päällystetty heijastavalla alumiinipinnoitteella.

Heijastunut valo fokusoidaan analysoijavälineen 2 kautta, joka muodostuu lineaarisesta polaroijasta, esim. Corningilta saatavilla olevasta 8612 Polarcor™-lasipolaroijasta, joka lähettää polarisaatioltaan valitunlaisen lineaarisesti polaroidun valon optisen kuituvastaanottimen 22, esim. 600 µm ytimen omaavan muovipäällysteistä kvartsia olevan monimuotokuidun TECS™, Technology-Enhanced Clad Silica, FT-600-LMT (3M), yhteen päähän, joka kuitu siirtää analysoidun valon valoilmaisimelle (ei ole esitetty) kuidun toisessa päässä.

Soveltamalla magneettikenttää, valon polarisaatiotilan muutos polarointielementissä 41 voidaan siten määrittää valoilmaisimen ilmaisemasta valon intensiteetin muutoksesta.

Johtuen polarointielementin 41, kuperan pinnan 51 ja tasokuperan linssin 52, jos sellainen on, ks. kuvio 1B, kierron symmetriasta useampia sarjoja polaroijia ja analysoijia sekä lähetin- ja vastaanotinkuituja voidaan sijoittaa symmetria-akselin ympärille esimerkiksi perusteellisempaa polarisaation analyysia varten staattisen magneettikentän tai tasavirran mittaamiseksi.

Kuvio 1B esittää poikkileikkauskuvan pitkin linjaa Ib-Ib kuviossa 1A ja esittää vastaavasti sarjat polaroijia ja analysoijia 31 ja 32 sekä 31A ja 32A sekä optisia kuitulähettimiä/vastaanottimia 21 ja 22 sekä 21A ja 22A.

Kuvio 1C esittää kuvion 1A laitteen erästä toista sovellutusmuotoa, joka sisältää toisen heijastavan optisen elementin, joka voi valinnaisesti olla kuvaava, mutta on tässä esitetty tasopintana 54, joka on päällystetty heijastavalla pinnoitteella lukuunottamatta kahta aukkoa, joista optisesta lähetinkuidusta 21 tuleva valo voidaan lähettää polaroijasta 3 polarointielementtiin 41 ja heijastettu valo lähettää polarointielementistä 41 analysoijan 32 kautta vastaanotinkuituun 22. Lähetinkuidusta 21 tuleva valo kerätään heijastavalla kuvaavalla optisella pinnalla 51 ja heijastetaan takaisin polarointielementin 41 läpi tässä erityisesti kollimoidussa muodossa esitettynä, heijastetaan taas edelleen kollimoidussa muodossa eteenpäin heijastavalla optisella pinnalla 54 ja lopuksi kerätään vielä kerran heijastavalla optisella kuvaavalla pinnalla 51 ja heijastetaan taas takaisin polarointielementin 41 läpi, samalla kun se fokusoidaan optiseen vastaanotinkuituun 22. Tällä tavoin polaroitu valo lähetetään polarointielementin 41 läpi kaikkiaan neljä kertaa, ja saavutetaan siten anturilaitteen suurempi herkkyys.

On huomattava, että heijastukset polarointielementissä eivät rajoitu kollimoidussa muodossa olevaan valoon. Lisäksi tulee huomata, että polaroidun valon siirtäminen neljä kertaa polarointielementin läpi voidaan toteuttaa joko niin, että yksi heijastavista optisista elementeistä on kuvaava ja muut eivät ole kuvaavia, tai niin, että kummatkin heijastavat optiset elementit ovat kuvaavia. Niin muodoin on myös mahdollista, että annetaan kummankin heijastavista optisista pinnoista 51 ja 54 olla kuperia kuvaavia pintoja tai että annetaan heijastavan optisen pinnan 51 olla heijastava tasopinta ja heijastavan optisen

pinnan 54 olla kuvaava kupera pinta. Suunnittelemalla kaksi heijastavaa optista elementtiä oikein on teoreettisesti mahdollista valita polaroidun valon kaksinkertaisten läpikulkujen määräksi polarointielementin läpi mikä tahansa positiivinen kokonaisluku.

Kuvio 2 esittää kuvion 1 laitteen vielä erästä sovellutusmuotoa, joka sisältää tasokuperan linssin 52, jossa on heijastavalla alumiinipinnoitteella päällystetty ja polarointielementtiin 41 kytketty kupera pinta. Linssin ja polarointielementin välissä voidaan valinnaisesti käyttää optiikkaliimaa, optiikkaepoksia tai muita materiaaleja.

Kuvio 3 esittää magneettisoptisen kuituoptisen anturilaitteen vielä erästä suosittua sovellutusmuotoa, joka sisältää taivuttavan optisen elementin 61 heijastavana kuvaavana optisena elementtinä.

Kuvio 4 esittää kuvion 3 laitteen erästä toista sovellutusmuotoa, joka sisältää optisen kuitulähettimen ja kaksi optista kuituvastaanotinta 22A ja 22B. Optisten kuitulähettimien ja -vastaanottimien määrää voidaan kasvattaa. Siten staattisten signaalien, esim. tasavirran, mittaamiseen voidaan käyttää yhtä lähetintä ja neljää vastaanotinta.

Sähköoptiset/fotoelastiset kuituoptiset anturilaitteet

Kuvio 5A esittää sähköoptisen/fotoelastisen kuituoptisen anturilaitteen 11 suosittuja sovellutusmuotoja.

Polaroimaton valo lähetetään optisen kuitulähettimen 21, esim. 600 µm ytimen omaavan muovipäällysteistä kvartsia olevan monimuotokuidun TECS™, Technology-Enhanced Clad Silica, FT-600-LMT (3M), yhdessä päässä olevasta valolähteestä (ei ole esitetty) polaroijavälineelle 31, joka muodostuu lineaarisesta polaroijasta, esim. Corningilta saatavilla olevasta 8612 Polarcor™-lasipolaroijasta, sen toisessa päässä.

Polaroija 31 polaroi lineaarisesta optisesta kuidusta 21 saadun polaroimattoman hajoavan valon, ja sitä viivästää lisäpolarointielementti 41B, joka muodostuu ohuesta, lineaarisesti kahtaistaitteista materiaalia olevasta levystä, esim. lambda/4-kvartsiviivästyslevystä. Viivästetty polaroitu valo lähetetään sitten herkän polarointielementin 41 läpi ja altistetaan indusoidulle vaiheenviivästykelle elementissä. Elementti muodostuu lineaarisesti kahtaistaitteisesta sähköoptisesta polymeerista, joka on valittu napaistamalla riittävän konsentraation sähköoptista atsoväriainetta Disperse Red 1, jolla on systematiikan mukainen nimi (4-(4-nitrofenyyliatso)-N-etyyli-N-2-hydroksietyylianiliini), sisältävä epoksi. Fotoelastisen anturilaitteen tapauksessa polarointielementti 41A muodostuu lineaarisesti kahtaistaitteisesta fotoelastisesta materiaalista, esim. Schottilta saatavissa olevasta ZKN7-lasista.

Kiertopolaroitu valo kerätään ja heijastetaan takaisin herkän polarointielementin 41A läpi heijastavalla optisella pinnalla 51 ja altistetaan sillä tavoin uudelleen vaiheenviivästykselle. Heijastava kuvaava optinen pinta 51 on herkän polarointielementin 41A kupera pinta, joka on päällystetty heijastavalla alumiinipinnoitteella.

Heijastunut valo fokusoidaan analysointivälineelle 32, joka muodostuu lineaarisesta polaroijasta, esim. Corningilta saatavilla olevasta 8612 Polarcor™-lasipolaroijasta, joka lähettää polarisaatioltaan valitunlaisen lineaarisesti polaroidun komponentin optisen kuituvastaanottimen 22, esim. 600 µm ytimen omaavan muovipäällysteistä kvartsia olevan monimuotokuidun TECS™, Technology-Enhanced Clad Silica, FT-600-LMT (3M), yhteen päähän, joka lähettää analysoidun valon kuidun toisessa päässä olevalle valoilmaisimelle (ei ole esitetty).

Soveltamalla sähkökenttää tai mekaanista voimaa valon polarisaatiotilan muutoksen herkässä polarointiele-

mentissä 41A voidaan sitten määrittää valoilmaisimessa ilmaistu valon intensiteetin muutos.

Kuviossa 5B on sijoitettu lisäpolarointielementti 41B ennen analysoijavälinettä 32 sen lähelle, ts. valon kulkutiellä heijastavan kuvaavan optisen pinnan 51 jälkeen, mutta ennen analysoijavälinettä 32.

Kuviossa 5C lisäpolarointielementti 41B on yhdistettynä herkkään polarointielementtiin 41A.

Kuviossa 5D lisäpolarointielementti 41B sisältää heijastavan kuvaavan optisen pinnan 51.

On huomattava, että heijastavan kuvaavan optisen elementin kuvioissa 2, 3 ja 4 esitetyt sovellutusmuodot, jotka muodostuvat tasokuperasta linssistä 52 ja taivuttavasta optisesta elementistä 61, voidaan toteuttaa myös tälle sähköoptiselle/fotoelastiselle anturilaitteelle. Samalla tavoin rinnan niiden kanssa, jotka on esitetty kuvioissa 1B ja 4, voidaan käyttää useampia sarjoja polaroijia ja analysoijia sekä lisäpolarointielementtejä ja lähetin/vastaanotinkuituja.

Magneettisoptiset/sähkoptiset/fotoelastiset kuituoptiset anturilaitteet, joissa käytetään yhtä optista kuitua

Kuvio 6A esittää magneettisoptisen kuituoptisen anturilaitteen erästä suosittua sovellutusmuotoa, joka sisältää yhden optisen kuidun, joka toimii samanaikaisesti lähettimenä ja vastaanottimena.

Polaroimaton valo lähetetään valolähteestä (ei ole esitetty) sädekimpun jakajalle tai kuitujakajalle (ei ole esitetty) ja kollimaattorilinssiltä (ei ole esitetty) optisen kuitulähetin/vastaanottimen 23, esim. 600 µm ytimen omaavan muovipäällysteistä kvartsia olevan monimuotokuidun TECS™, Technology-Enhanced Clad Silica, FT-600-LMT (3M), yhdessä päässä polaroijavälineelle 31, joka muodostuu lineaarisesta polaroijasta, esim. Corningilta saatavilla

olevasta 8612 Polarcor™-lasipolaroijasta, sen toisessa päässä.

Optisesta kuidusta 23 saatu polaroimaton hajautuva valo polaroidaan lineaarisesti polaroija/analysoijavälineellä 31 ja vaiheviivästetään lisäpolarointielementillä 41B, joka muodostuu ohuesta, lineaarisesti kahtaistaitteista materiaalia olevasta lambda/4-levystä, esim. lambda/4-kvartsiviivästyslevystä, sekä lähetetään herkän polarointielementin 41A läpi. Polarisaatioltaan kierretty valo kerätään ja heijastetaan takaisin herkän polarointielementin 41A heijastavalla optisella pinnalla 51 ja saadaan tällä tavoin aikaan lisää kiertopolarisaatiota. Heijastava kuvaava optinen elementti muodostuu herkän polarointielementin 41A kuperasta pinnasta, joka on päällystetty heijastavalla alumiinipinnoitteella.

Heijastettu valo fokusoidaan ja lähetetään lambda/4-viivästysvälineen läpi, jolloin saadaan kokonaisvaiheviipymä, joka tuottaa π/4 radiaanin polarisaatiotason kierron, sekä lineaarisesta polaroijasta, esim. Corningilta saatavilla olevasta 8612 Polarcor™-lasipolaroijasta, muodostuvan polaroija/analysoijavälineen 31 läpi, joka lähettää polarisaatioltaan valitunlaisen lineaarisesti polaroidun valon optiselle kuitulähettimelle/vastaanottimelle 23, joka lähettää analysoidun valon kollimaattorilinssin (ei ole esitetty) ja jakajan tai kuitujakajan (ei ole esitetty) kautta valoilmaisimelle (ei ole esitetty) kuidun toisessa päässä.

Soveltamalla magneettikenttää valon polarisaatiotilan muutoksen herkässä polarointielementissä 41A voi siten määrittää valoilmaisimen ilmaisema valon intensiteetin muutos.

Kuvio 6B esittää sähköoptisen/fotoelastisen anturilaitteen erästä suosittua sovellutusmuotoa, joka sisältää yhden optisen kuidun, joka toimii samanaikaisesti lähettimenä ja vastaanottimena.

Laite on kuviossa 6A esitetyn laitteen kanssa rakenteeltaan samanlainen, paitsi että herkkä polarointielementti 41A on sähköoptista/fotoelastista materiaalia, ja että lisäpolarointielementti 41B on lambda/8-levy, joka muodostuu lineaarisesti kahtaistaitteista materiaalia olevasta ohuesta levystä, joka antaa välttämättömän lambda/4-vaiheviipymän, kun optinen sädekimppu kulkee kahdesti sen läpi.

Lämpötila- ja aallonpituusstabiiliudeltaan parannetut polarisaatioanturilaitteet

Kuvio 7A esittää sähköoptisen/fotoelastisen anturilaitteen erästä suosittua sovellutusmuotoa, joka sisältää optisen lisäelementin 53, jossa on sisäisesti kokonaisheijastava kuvaava optinen pinta 51A, joka antaa lämpötila- ja aallonpituusstabiilin vaiheviipymän ja sisältää valinnaisesti kuvaavan heijastavan optisen elementin, joka on tässä esitetty heijastavana tasopintana 54.

Kuviossa 7A optinen kulkutie on samanlainen kuin kuvioissa 5A ja 5B ja 5C sekä kuvioissa 6A ja 6B lukuunottamatta sitä, että yksi heijastava kuvaava optinen pinta 51 on kuvattu parabolisella, sisäisellä kokonaisheijastuksella kuvaavalla optisella pinnalla 51A optisella elementillä 53 antaen vaiheviipymän, joka tuottaa heijastuneeseen optiseen sädekimppuun nettovaikutuksen, joka korvaa lambda/8-vaiheviipymän. Niinpä optisen sädekimpun kaksi heijastusta pinnasta 51A korvaavat lambda/4-vaiheviivästyksen, jolla tavoin kahtaistaitteinen lisäpolarointielementti 41B voidaan välttää.

Sovellutusmuodot, joissa käytetään kahta optista kuitua, on kuvattu kuvioissa 7E (b) ja 7F (b).

Kuviossa 7E (b) on esitetty poikkileikkauskuva pitkin linjoja VIIe-VIIe kuviossa 7A ja 7D.

Kuviossa 7F (b) on esitetty poikkileikkauskuva pitkin linjoja VIIf-VIIf kuvioissa 7B ja 7C.

Sovellutusmuodot, joissa käytetään yhtä optista kuitua, on kuvattu kuvioissa 7E (a) ja 7D (a).

Kuvioissa 7A - 7F esitetyissä sovellutusmuodoissa optisesta lähetinkuidusta tuleva polaroimaton hajautuva valo polaroidaan lineaarisesti polaroijalla ja lähetetään herkän polarointielementin 41 läpi, ja se tulee optiseen lisäelementtiin 53, jossa se heijastetaan ja kollimoidaan sisäisesti kokonaisheijastavalla optisella pinnalla 51A ja suunnataan heijastavalle tasopinnalle 54, joka heijastaa valon takaisin sen alkuperäisen kulkutien kautta. Pinta 51A voi olla valinnaisesti päällystetty valitun taitekertoimen omaavalla pinnoitteella, joka antaa optimaalisen vaiheviipymän määrän. Kun polaroitua valoa vaiheviivästetään kahdesti sisäisellä heijastuksella, saadaan lähetettyyn optiseen sädekimppuun kokonaisvaikutus, joka korvaa lambda/4-vaiheviivästyksen vaikutuksen, kun sädekimppu analysoidaan analysoijalla ja optinen teho integroidaan ilmaisimessa. Jotta vaikutus saadaan niin lähelle kuin mahdollista lambda/4-vaiheenviivästystä, voidaan sisäisesti kokonaisheijastavan kuvaavan optisen pinnan 51A sisältävän optisen elementin valmistukseen käyttää sellaisia laseja kuten BaK4 tai PSK3 (Shott). (H. Fabricius, "Achromatic Prism Retarder for Use in Polarimetric Sensors", Applied Optics, Vol. 30, No. 4, 1991, pp. 426 - 429).

Tulisi huomata, että vaihetta viivästävä paraboli-nen pinta, joka antaa lambda/4-vaiheenviivästäjän korvaavan vaikutuksen, ei ole todellinen lambda/4-levy, koska se antaa erilaiset viivästyskulmat erilaisissa avaruuskulmissa lähetetyille sädekimpun osille. Nettovaikutus näkyy vasta analysoijan jälkeen, kun valo yhdistetään ilmaisimella.

Kuvio 7C esittää kuvion 7A laitteen erään sovellutusmuodon, jossa optinen lisäelementti 53 on vältetty muodostamalla sisäisesti kokonaisheijastava kuvaava optinen pinta 51A herkkään polarointielementtiin 41A itseensä.

Kuvio 7D esittää kuvion 7A laitteen erästä sovellutusmuotoa, jossa optinen lisäelementti 53 on korvattu tasokuperalla linssillä 53, joka on asennettu herkän polarointielementin 41A tasopinnalle linssin kuperan pinnan muodostaessa sisäisesti kokonaisheijastavan kuvaavan optisen pinnan 51A. Optiikkaliimaa, optiikkaepoksia tai muita materiaaleja voidaan valinnaisesti käyttää linssin ja polarointielementin välissä.

Kuvio 7G esittää sähköoptisen/fotoelastisen anturilaitteen erästä toista sovellutusmuotoa, joka sisältää polarointielementin 41, jossa on heijastava kuvaava optinen pinta 51, ja optisen lisäelementin 53, joka sisältää sisäisesti kokonaisheijastavan tasopinnan 51A, yhdistelmän, jolla on vaiheenviivästysominaisuudet optisen lambda/4-elementin korvaamiseksi.

On huomattava, että tällä sovellutusmuodolla erilaisissa avaruuskulmissa optisesta kuidusta lähetetyille yksittäisille optisille säteille saatu vaiheenviivästymän vaihtelu on suurempi kuin sovellutusmuodoilla, joissa käytetään kuvaavaan, sisäisesti kokonaisheijastavaan pintaan perustuvaa vaiheenviivästysvälinettä.

Siksi esillä oleva sovellutusmuoto korvaa huonommin lambda/4- tai lambda/8-vaiheenviivästäjän. Yksinkertainen geometria, jossa käytetään sisäisesti kokonaisheijastavaa tasopintaa, yksinkertaistaa kuitenkin laitteen valmistusta.

Optiset kulkutiet, joita voidaan käyttää kuviossa 7G, on esitetty kuviossa 7H. Sovellutusmuodot, joissa käytetään kahta kuitua, on kuvattu kuviossa 7H (b), joka esittää poikkileikkauskuvaa pitkin linjaa VIIh-VIIh. Sovellutusmuodot, joissa käytetään yhtä optista kuitua, on kuvattu kuviossa 7H (a).

Kuvio 8A esittää kuvion 7A laitteen vielä erään sovellutusmuodon, joka sisältää kaksi vaiheenviivästyselementtiä.

Optisen kuitulähettimen 21, esim. 600 µm ytimen omaavan muovipäällysteistä kvartsia olevan monimuotokuidun TECS™, Technology-Enhanced Clad Silica, FT-600-LMT (3M), antama polaroimaton valo polaroidaan polaroijalla 31, esim. Corningilta saatavilla olevalla 8612 Polarcor™-lasipolaroijalla, ja lähetetään herkän polarointielementin 41A läpi optisen lisäelementin 53 paraboliselle vaiheenviivästyspinnalle 51A, joka kollimoi ja vaiheviivästää polaroidun valon toiselle paraboliselle vaiheenviivästyspinnalle 51B, joka fokusoi polaroidun valon herkän polarointielementin 41A läpi analysoijalle 32, esim. Corningilta saatavilla olevalle 8612 Polarcor™-lasipolaroijalle, ja optiseen kuituvastaanottimeen 22.

Kuvio 8B esittää kuvion 7B laitteen erästä toista sovellutusmuotoa, jossa herkkä polarointielementti 41A on sijoitettu kahden optisen lisäelementin 53A ja 53B väliin.

5. Esimerkkejä

Sovellutuksia

Esimerkki 1: "Magneettisoptinen kuituoptinen mittaus"

Kuvio 9 esittää keksinnön mukaisen magneettisoptisen kuituoptisen anturilaitteen erään sovellutuksen sijoitettuna vaihtovirtaa kuljettavan johtimen 92 ympärillä olevaan magneettikentän keskitinsydämeen 91.

Keskitinsydän palvelee tarkoitusta keskittää johtimessa kulkevan virran magneettikenttä sydämessä olevaan väliin, jolla tavoin magneettikentän mittaus keskitinsydämen välin koko tilavuudessa on osoittautunut hyväksi approksimaatioksi magneettikentän integroinnille ilmassa pitkin mielivaltaista tietä, joka ympäröi johdinta, mikä Ampeeren lain mukaan antaa johtimessa kulkevan virran. Siksi, kun keksinnön mukaan keskitinsydämessä olevan välin varaa melkein kokonaan magneettisoptinen materiaali, magneettikenttää välissä mittaavalta magneettisoptiselta anturilta saatu anto antaa, kun se kalibroidaan oikein

elektronisilla välineillä, hyvin luotettavan virranmittauksen, joka on ainoastaan hyvin vähän herkkä ympäröiville magneettikentille ja kentän hairiöille sekä ainoastaan vähän herkkä johtimen sijainnille keskitinsydämen aukon sisällä.

Ellei esiinny lainkaan ympäröiviä magneettikenttiä ja magneettikenttää häiritseviä kohteita, magneettikentän voimakkuus johtimen ympärillä on suoraan verrannollinen johtimesta kulkevaan virtaan ja kääntäen verrannollinen johtimesta mitatun etäisyyden neliöön. Siksi, olettaen magneettikenttä häiriöttömäksi, mittaamalla pieni osa kentästä magneettisoptisella anturilla saadaan tulos, joka, kun se kalibroidaan oikein johtimesta mitatulle etäisyydelle ja anturin ominaisuuksille elektronisilla välineillä, on virran oikea mittaustulos. Siksi joillekin sovellutuksille voidaan välttää magneettikenttää yhdistävä sydän ja käyttää suoraan magneettikenttäanturia.

Magneettisoptisen anturin kompaktisuudesta johtuen sitä voidaan käyttää virran mittaamiseen myös siellä, missä on käytettävissä ainoastaan hyvin vähän tilaa. Esimerkiksi eräs magneettisoptisen anturin sovellutus on mitata virtaa 10 - 20 kV sähkönjakelukaapelissa, kun anturi integraattorisydämellä varustettuna tai ilman sitä sijoitetaan kaapelin yhden johtimen päättävän hylsyn sisään (kuvio 11).

Jos sovellutus ei ole kriittinen ja tarvitaan vain vähäinen tarkkuus, integraattorisydän voidaan välttää.

Esimerkki 2: "Sähköoptinen kuituoptinen mittaus"

Kuvio 10A esittää keksinnön mukaisen sähköoptisen anturilaitteen erään sovellutuksen, joka on kiinnitetty eristävään materiaaliin valetun jänniteanturin elektrodien 94 ja 95 väliin.

Kun anturin ominaisuudet on kalibroitu oikein elektronisilla välineillä, homogeeniseen vaihtosähkökenttään sijoitetulta sähköoptiselta anturilta saatu anto voi

antaa kentän voimakkuuden. Kun sähköoptinen anturi sijoitettiin geometrisesti kiinteästi kahden elektrodin väliin, antosignaali voitiin kalibroida esittämään suoraan elektrodien yli oleva jännite.

Kun käytetty sähköoptinen materiaali oli materiaali, jolla on suuri eristelujuus, kuten Allan Göttschen tohtorinväitöskirjassa: "Electrooptic and Magnetooptic Sensors for Advanced Applications in Electric Powersystems", Publication no. 9005, (1990) Electric Power Engineering Department, Technical University of Denmark, kuvatulla sähköoptisella polymeerilla, oli mahdollista pitää korkea jännite suoraan sähköoptiselle materiaalille asennettujen elektrodien yli. Koska jänniteanturi valettiin sähköisesti eristävään materiaaliin, sitä voitiin käyttää turvallisesti jännitteillä, joilla tavanomaisilla linsseillä varustettu jänniteanturi kärsisi sähköisistä purkauksista linssejä ympäröivissä ilmataskuissa.

Kun sähköoptisena materiaalina käytettiin sähköoptisia kiteitä, voitiin käyttää ainoastaan suhteellisen alhaista jännitettä suoraan kiteen yli. Koska kide on herkkä sähkökentille, sähköoptinen anturi voidaan kuitenkin valaa eristävää materiaalia olevaan kappaleeseen, jonka mitat ovat huomattavasti suuremmat kuin sähköoptisen kiteen mitat. Kun eristävää materiaalia oleva kappale varustetaan elektrodeilla ja kytketään jännite, kiteen yli oleva jännite on ainoastaan murto-osa elektrodien yli olevasta jännitteestä, kuten määrittävät kiteen paksuuden suhde elektrodien väliseen etäisyyteen sekä kiteen ja eristävän materiaalin eristevakiot.

Edellä kuvatulla tavalla toteutettuna jänniteanturia käytettiin mittaamaan jännitettä myös siellä, missä ainoastaan hyvin vähän tilaa oli käytettävissä. Eräs sovellutus jänniteanturista oli esimerkiksi mitata jännite 10 - 20 kV sähkönjakelukaapelissa, kun anturi sijoitettiin

johtimen ja kaapelin yhden johtimen päättävän hylsyn sähköisesti maadotetun ulkovaipan väliin.

Kuvio 10B esittää keksinnön mukaisen sähköoptisen anturilaitteen erästä sovellutusta, joka on kiinnitetty sähköisesti eristävään materiaaliin valetun jänniteanturin elektrodien 94 ja 95 väliin.

Laite oli samanlainen kuin kuviossa 10A esitetty laite, paitsi että se oli varustettu polarointielementin sisäisesti kokonaisheijastavan kuvaavan optisen pinnan antamalla vaiheenviivästyksellä, kuten on esitetty yksityiskohtaisemmin kuviossa 7C.

Ilmaväli 111 yläelektrodin 94 ja polarointielementin 41 välissä antoi tarpeellisen siirtymän vaihekertoimessa sisäisen kokonaisheijastuksen aikaansaamiseksi.

Laitteella osoittautui olevan samat ominaisuudet kuin kuviossa 10A esitetylle kuvattiin, paitsi että se oli vähemmän lämpötilaherkkä.

Kuvio 10C esittää keksinnön mukaisen sähköoptisen anturilaitteen sovellutusta, joka on kiinnitetty sähköisesti eristävään materiaaliin valetun jänniteanturin elektrodien 94 ja 95 väliin. Laite oli samanlainen kuin kuviossa 10B esitetty, paitsi että siinä oli sisäisesti kokonaisheijastavana pintana polarointielementin tasopinnalle asennetun, BaK4-lasista (Schott) valmistetun tasokuperan linssin 53 tasopinta. Laitteella osoittautui olevan samat ominaisuudet, kuin kuvattiin kuviolle 10B, mukaan lukien hyvä toleranssi lämpötilamuutoksia vastaan.

Kuvio 11 esittää sovellutusta, jossa on sähköoptinen anturilaite yhdistettynä magneettisoptiseen anturilaitteeseen, joka sisältää magneettikentän yhdistävän sydämen, kummankin keksinnön mukaisen laitteen ollessa sijoitettu sisälle kaapelihylsyyn 93, joka muodostuu 10 kV sähkönjakelukaapelin yhtä vaihejohdinta 92 ympäröivästä sähköisesti maadotetusta metalliputkesta. Magneettisoptinen anturilaite 10 oli asennettu magneettikentän yhdistä-

vään sydämeen 91, joka ympäröi yhtä vaihejohdinta 92 ja sen ensimmäistä sähköistä eristystä 110. Sähköoptinen anturilaite 11 oli asennettu eristetyn vaihejohtimen ja ympäröivän sähköisesti maadotetun hylsyn väliin. Sähköoptista anturilaitetta ei ollut varustettu elektrodeilla vaan se oli yksinkertaisesti alttiina sähkökentälle vaihejohtimen ja ympäröivän hylsyn välissä. Anturilaitteiden optiset kuidut oli johdettu hylsyyn tätä tarkoitusta varten työstettyjen reikien (ei ole esitetty) läpi. Testi havainnollisti, että oli mahdollista asentaa sähköoptinen ja magneettisoptinen anturilaite 10 kV jakelukaapelin vaihejohtimen ja kaapelihylsyn ulkovaipan väliseen rajoitettuun tilaan ja käyttää niitä siinä.

Esimerkki 3: "Fotoelastinen kuituoptinen mittaus"

Kuvio 12 esittää keksinnön mukaisen fotoelastisen anturilaitteen soveltamista kiihtyvyysanturiksi, joka on sijoitettu irrallisen massan 97 ja tuen 98 väliin.

Kun tukea kiihdytettiin, mekaaninen jännitys aiheutti indusoidun lineaarisen kahtaistaitteisuuden muodostumisen materiaaliin fotoelastisen efektin kautta johtuen massan hitaudesta, jonka Newtonin lait toteavat. Yllä kuvatulla tavalla sovellettuna fotoelastista anturia voitiin käyttää kiihtyvyysanturina.

Tyypillinen esimerkki sovellutuksesta on tärinän tarkkailu koneen osilla, jolla tavoin määritetään koneen osien vallitseva kunto ja ekstrapoloitu elinikä.

Kuvio 13 esittää keksinnön mukaisen fotoelastisen anturilaitteen sovellutusta, joka on kytketty sauvan 99 avulla kalvoon 100 dynaamisten paineenvaihteluiden mittaamiseksi.

Kalvon yli kohdistuva paine-ero tuotti mekaanisia voimia, jotka sauvan avulla tuottivat mekaanisen jännityksen fotoelastiseen materiaaliin aiheuttaen indusoidun lineaarisen kahtaistaitteisuuden muodostumisen fotoelastisen efektin kautta. Tällä tavoin sovellettuna fotoelastista

anturia käytettiin dynaamisten paineenvaihteluiden mittaamiseen.

Eräs sovellutus voisi olla mitata pumpun iskuista johtuvia paineenvaihteluita kiertävässä nesteessä. Tyypillinen esimerkki tästä sovellutuksesta voisi olla paineeron mittaaminen systolisen ja diastolisen verenpaineen välillä ihmiskehossa.

Patenttivaatimukset:

1. Menetelmä valon polarisaatiotilan polarointielementissä indusoidun muutoksen määrittämiseksi menetelmän käsittäessä:

a) polaroimattoman valon lähettämisen optisen lähetinkanavavälineen (21) yhdessä päässä olevasta valolähteestä sen toisessa päässä olevalle polaroijavälineelle (31),

b) polaroimattoman valon polaroimisen polaroijavälineellä (31),

c) polaroidun valon lähettämisen polarointielementin (41, 41A, 41B) läpi käyttäen ainakin yhtä heijastavaa optista elementtiä (51, 51A, 51B, 61),

d) polarointielementiltä lähetetyn polaroidun valon analysoimisen analysoijavälineellä (32) sekä

e) analysoidun polaroidun valon lähettämisen optisen vastaanotinkanavavälineen (22) yhdestä päästä sen toisessa päässä olevalle valoilmaisimelle,

sanotun analysoidun valon lähtiessä analysoijavälineestä (32) samasta puolesta kuin polaroimaton valo tulee polaroijavälineelle (31), t u n n e t t u siitä, että

f) polaroimaton valo, kun se polaroidaan polaroijavälineellä (31), polaroitu valo, kun se analysoidaan analysoijavälineellä (32), tai nämä molemmat ovat kollimoimattomia ja

g) optisen lähetinkanavavälineen (21) sanotusta toisesta päästä tuleva valo valon kulkutiellä polaroijavälineen (31) ja analysoijavälineen (32) välillä heijastetaan ainakin yhdellä heijastavalla optisella elementillä, joka fokusoi heijastetun polaroidun valon optisen vastaanotinkanavavälineen (22) sanottuun yhteen päähän.

2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että ainakin yksi heijastava optinen

elementti (51, 51A, 51B, 61) valitaan ryhmästä, jonka muodostavat:

i) heijastavalla pinnoitteella päällystetyn polarointielementin (41, 41A, 41B) kupera pinta(51),

ii) tasokupera linssi (52), jossa on heijastavalla pinnoitteella päällystetty kupera pinta (51),

iii) heijastava taivuttava optinen elementti (61),

iv) herkän polarointielementin (41A) valinnaisesti päällystetty kupera pinta (51A), joka heijastaa sisäisellä kokonaisheijastuksella, sekä

v) optisen lisäelementin (53) valinnaisesti päällystetty kupera pinta (51A, 51B), joka heijastaa sisäisellä kokonaisheijastuksella.

3. Kuituoptinen anturilaite valon polarisaatiotilan polarointielementissä indusoidun muutoksen määrittämiseksi sisältäen:

a) polaroijavälineen (31) optisen lähetinkanavavälineen yhdestä päästä lähtevän polaroimattoman valon polaroimiseksi, joka lähetinkanavaväline lähettää polaroimatonta valoa valolähteestä (21) polaroijavälineeseen (31),

b) polarointielementin (41), joka käsittää sopivan polarointiaktiivisen materiaalin, jonka refraktioindeksissä aikaansaatu anisotropia muuttaa polaroijavälineellä (31) polaroidun valon polarointitilaa,

c) ainakin yhden heijastavan optisen elementin (51, 51A, 51B, 61) polarointielementin (41) läpi lähetetyn mainitun polaroidun valon heijastamiseksi, ja

d) analysoijavälineen (32), ainakin yhden heijastavan optisen elementin (51, 51A, 51B, 61) avulla heijastetun mainitun polaroidun valon analysoimiseksi, joka analysoijaväline on sijoitettu analysoitua valoa analysoijavälineestä (32) ilmaisuvälineeseen lähettävän optisen vastaanotinkanavavälineen (22) yhteen päähän,

sanotun analysoidun valon lähtiessä analysoijavälineestä (32) samasta puolesta kuin polaroimaton valo tulee polaroijavälineeseen (31), t u n n e t t u siitä, että

e) sanottu ainakin yksi heijastava optinen elementti (51, 51A, 51B, 61) on järjestetty fokusoimaan polaroijavälineen (31) läpi optisen lähetinkanavavälineen (21) sanotusta yhdestä päästä analysoijavälineen (32) kautta lähetetty valo optisen vastaanotinkanavavälineen (22) sanottuun yhteen päähän.

4. Patenttivaatimuksen 3 mukainen laite, t u n n e t t u siitä, että sanottu ainakin yksi heijastava optinen elementti (51, 51A, 51B, 61) muodostuu yhdestä fokusoivasta heijastavasta optisesta elementistä järjestettynä lähettämään valo herkän polarointielementin (41, 41A) läpi.

5. Patenttivaatimuksen 3 mukainen laite, t u n n e t t u siitä, että sanottu ainakin yksi heijastava optinen elementti (51, 51A, 51B, 61) muodostuu kahdesta heijastavasta optisesta elementistä, joista ainakin yksi on fokusoiva, järjestettyinä lähettämään valo herkän polarointielementin (41, 41A) läpi.

6. Jonkin edellisen patenttivaatimuksen 3 - 5 mukainen laite, t u n n e t t u siitä, että ainakin yksi heijastava optinen elementti (51, 51A, 51B, 61) on valittu ryhmästä, jonka muodostavat:

i) heijastavalla pinnoitteella päällystetyn polarointielementin (41, 41A, 41B) kupera pinta(51),

ii) tasokupera linssi (52), jossa on heijastavalla pinnoitteella päällystetty kupera pinta (51),

iii) heijastava taivuttava optinen elementti (61),

iv) herkän polarointielementin (41A) valinnaisesti päällystetty kupera pinta (51A), joka heijastaa sisäisellä kokonaisheijastuksella, sekä

v) optisen lisäelementin (53) valinnaisesti päällystetty kupera pinta (51A, 51B), joka heijastaa sisäisellä kokonaisheijastuksella.

7. Jonkin edellisen patenttivaatimuksen 3 - 6 mukainen laite, t u n n e t t u siitä, että optinen lähetinkanaväline (21) ja vastaanotinkanavaväline (22) muodostuvat yhdestä tai useammasta optisesta monimuotokuidusta kytkettyinä vastaavasti yhteen tai useampaan polaroijavälineeseen (31) ja analysoijavälineeseen (32).

8. Jonkin edellisen patenttivaatimuksen 3 - 7 mukainen laite, t u n n e t t u siitä, että polarointielementti (41) muodostuu magneettisoptisesta materiaalista, ja

että kiertokahtaistaitteisuuden indusoi polarointielementissä magneettikenttä tai sähkövirrasta indusoitunut magneettikenttä.

9. Jonkin edellisen patenttivaatimuksen 3 - 7 mukainen laite, t u n n e t t u siitä, että

polarointielementti (41A) muodostuu sähköoptisesta materiaalista ja sisältää lisäksi vaiheenviivästysvälineen (41B) ja

lineaarisen kahtaistaitteisuuden indusoi polarointielementissä sähkökenttä tai sähköjännitteestä indusoitunut sähkökenttä.

10. Jonkin edellisen patenttivaatimuksen 3 - 7 mukainen laite, t u n n e t t u siitä, että

polarointielementti (41A) muodostuu fotoelastisesta materiaalista ja sisältää lisäksi vaiheenviivästysvälineen (41B) ja

lineaarisen kahtaistaitteisuuden indusoi polarointielementissä mekaaninen voima tai kiihtyvyydestä tai paineesta indusoitunut mekaaninen voima.

Patentkrav:

1. En metod för bestämning av en inducerad ändring i polariseringstillståndet hos ljus i ett polariseringselement bestående av:

a) sändning av opolariserat ljus från en ljuskälla i ena änden av ett optiskt sändarkanaldon (21) till ett polariseringsdon (31) i andra änden,

b) polarisering av det opolariserade ljuset med polariseringsdonet (31),

c) sändning av det polariserade ljuset genom polariseringselementet (41, 41A, 41B) med användande av minst ett reflekterande optiskt element (51, 51A, 51B, 61),

d) analysering av det från polariseringselementet sända polariserade ljuset med ett analyseringsdon (32), samt

e) sändning av det analyserade polariserade ljuset från ena änden av ett optiskt mottagarkanaldon (22) till en ljusdetektor i andra änden,

där sagda analyserade ljus lämnar analyseringsdonet (32) på samma sida som det opolariserade ljuset kommer in i polariseringsdonet (31), k ä n n e t e c k n a d därav, att

f) det opolariserade ljuset, då det polariseras i polariseringsdonet (31), det polariserade ljuset, då det analyseras av analyseringsdonet (32), eller båda är okollimerade och

g) ljuset som kommer från det optiska sändarkanaldonets (21) sagda andra ände i ljusvägen mellan polariseringsdonet (31) och analyseringsdonet (32) reflekteras av minst ett reflekterande optiskt element (51, 51A, 51B, 61), som fokuserar det reflekterade polariserade ljuset på sagda ena ände av det optiska mottagarkanaldonet (22).

2. En metod enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a d därav, att minst ett reflekterande optiskt

element (51, 51A, 51B, 61) väljes från en grupp bestående av

i) en konvex yta (51) av polariseringselementet (41, 41A, 41B) belagd med en reflekterande beläggning,

ii) en plankonvex lins (52) med en konvex yta (51) belagd med en reflekterande beläggning,

iii) ett reflekterande diffraktivt optiskt element (61),

iv) en optionalt belagd konvex yta (51A) av det känsliga polariseringselementet (41A) som reflekterar med total intern reflektion, samt

v) en optionalt belagd konvex yta (51A, 51B) av ett extra optiskt element (53) som reflekterar med total intern reflektion.

3. En fiberoptisk sensorapparat för bestämning av en inducerad ändring i polariseringstillståndet hos ljus i ett polariseringselement bestående av:

a) ett polariseringsdon (31) för polarisering av opaliserat ljus som lämnar ett optiskt sändarkanaldon (21) som emitterar opolariserat ljus från en ljuskälla,

b) ett polariseringselement (41) som omfattar ett lämpligt polarisationsaktivt material i vilket en anisotropi åstadkommen;

c) minst ett reflekterande optiskt element (51, 51A, 51B, 61) för reflektering av nämnda polariserade ljus som sändts genom polariseringselementet (41), och

d) ett analyseringsdon (32) för analysering av nämnda ljus som reflekterats medelst minst ett reflekterande optiskt element (51, 51A, 51B, 61), vilket analyseringsdon placerats i ena änden av ett optiskt mottagarkanaldon (22) som sänder det analyserade ljuset från analyseringsdonet (32) till detektordonet,

där sagda analyserade ljus lämnar analyseringsdonet (32) på samma sida som det opolariserade ljuset kommer in

i polariseringsdonet (31), k ä n n e t e c k n a t därav, att

e) minst ett reflekterande optiskt element (51, 51A, 51B, 61) är arrangerat att fokusera ljus som sänts genom polariseringsdonet (31) från sagda ena ände av det optiska sändarkanaldonet (21) genom analyseringsdonet (32) till sagda ena ände av det optiska mottagarkanaldonet (22).

4. En apparat enligt patentkrav 3, k ä n n e t e c k n a d därav, att minst ett reflekterande optiskt element (51, 51A, 51B, 61) består av ett fokuserande reflekterande optiskt element arrangerat att sända ljuset genom det känsliga polariseringselementet (41, 41A).

5. En apparat enligt patentkrav 3, k ä n n e t e c k n a d därav,att det minst ena reflekterande optiska elementet (51, 51A, 51B, 61) består av två reflekterande optiska element, av vilka minst ett är fokuserande, arrangerat att sända ljuset genom det känsliga polariseringselementet (41, 41A).

6. En apparat enligt något föregående patentkrav 3 - 5, k ä n n e t e c k n a d därav, att minst ett reflekterande optiskt element (51, 51A, 51B, 61) är valt från en grupp bestående av:

i) en konvex yta (51) av polariseringselementet (41, 41A, 41B) belagd med en reflekterande beläggning,

ii) en plankonvex lins (52) med en konvex yta (51) belagd med en reflekterande beläggning,

iii) ett reflekterande diffraktivt optiskt element (61),

iv) en optionalt belagd konvex yta (51A) av det känsliga polariseringselementet (41A) som reflekterar med total intern reflektion, samt

v) en optionalt belagd konvex yta (51A, 51B) av ett extra optiskt element (53) som reflekterar med total intern reflektion.

7. En apparat enligt något patentkrav 3 - 6, k ä n n e t e c k n a d därav, att det optiska sändarkanaldonet (21) och mottagarkanaldonet (22) består av en eller flere flerformsfibrer kopplade till en eller flere polariseringsdon (31) respektive analyseringsdon (32).

8. En apparat enligt något föregående patentkrav 3 - 7, k ä n n e t e c k n a d därav, att polariseringselementet (41) består av magnetiskt-optiskt material, och av att cirkulär dubbelbrytning induceras i polariseringselementet av ett magnetiskt fält eller av ett inducerat magnetiskt fält från en elektrisk ström.

9. En apparat enligt något föregående patentkrav 3 - 7, k ä n n e t e c k n a d därav, att

polariseringselementet (41A) består av ett elektrooptiskt material och dessutom innehåller fasretardationsdon (41B), och

av att lineär dubbelbrytning induceras i polariseringselementet av ett elektriskt fält eller av ett inducerat elektriskt fält från en elektrisk spänning.

10. En apparat enligt något föregående patentkrav 3 - 7, k ä n n et e c k n a d därav, att polariseringselementet (41A) består av ett fotoelastiskt material och dessutom innehåller fasretardationsdon (41B), och av att lineär dubbelbrytning induceras i polariseringselementet av en mekanisk kraft eller av en inducerad mekanisk kraft från acceleration eller tryck.

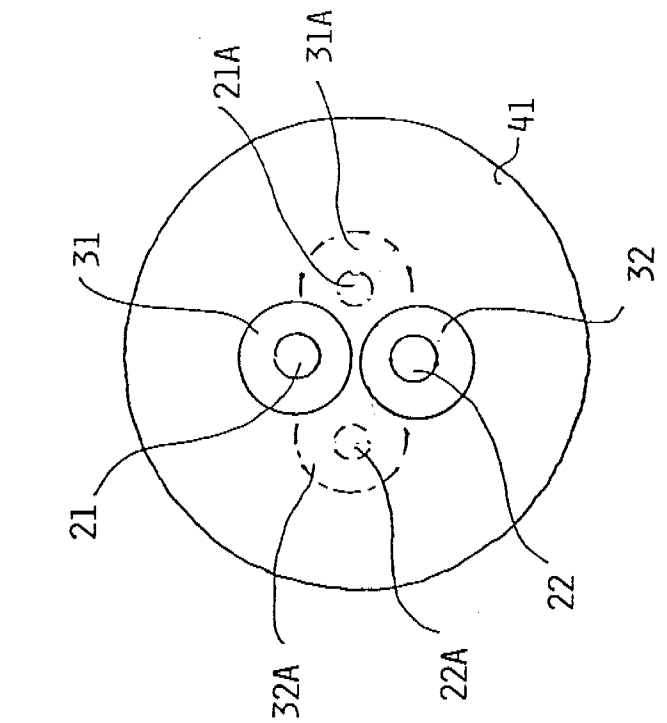


FIG. 1B

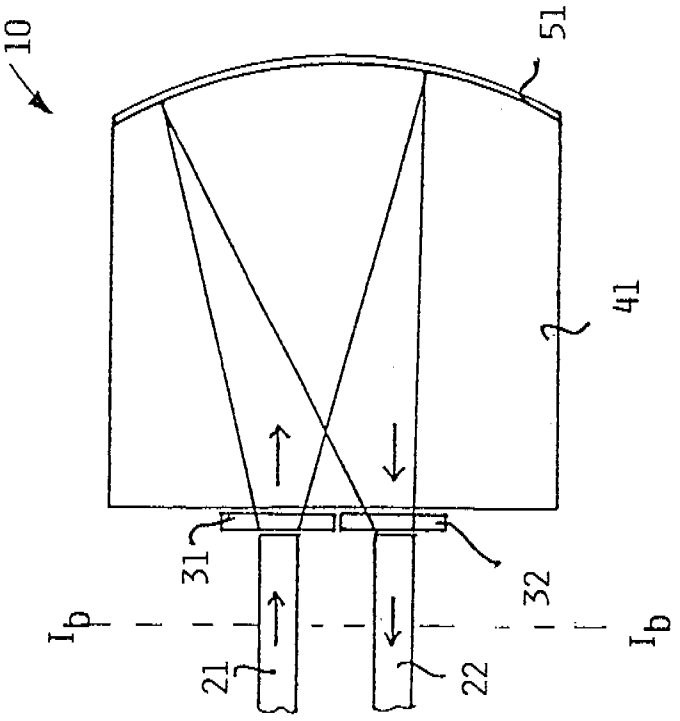


FIG. 1A

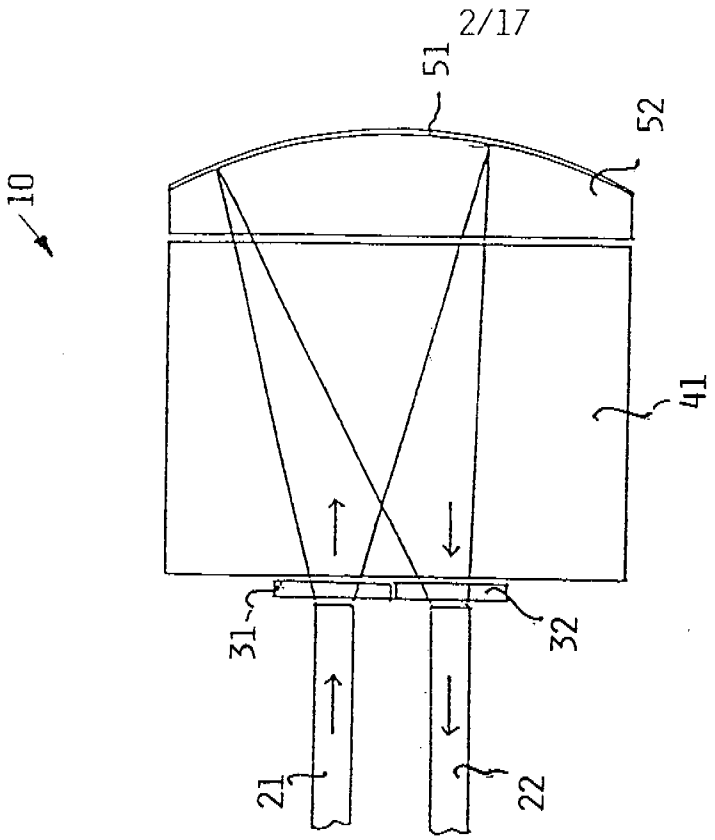


FIG. 2

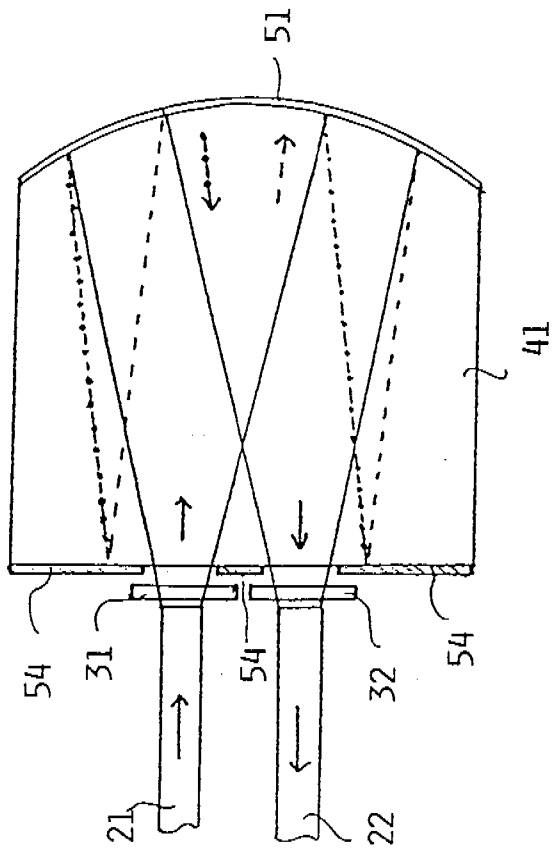


FIG. 1C

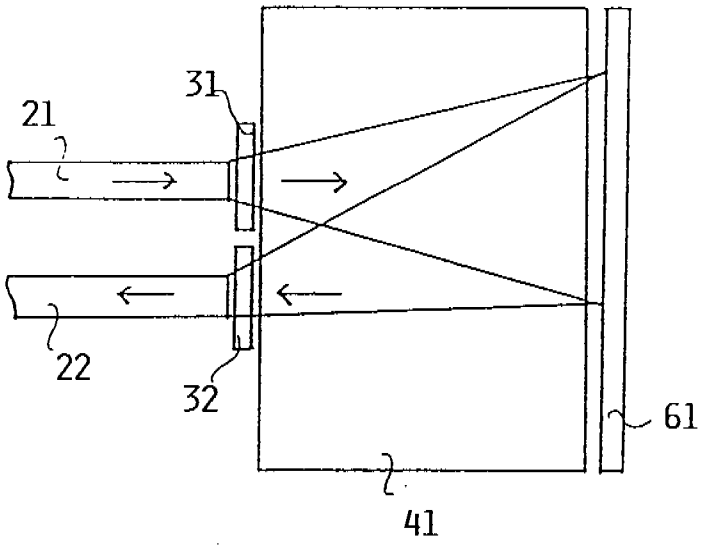


FIG. 3

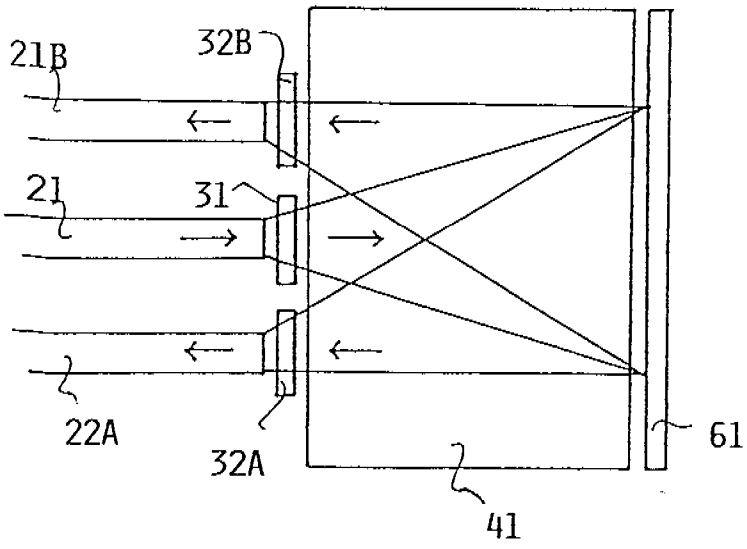


FIG. 4

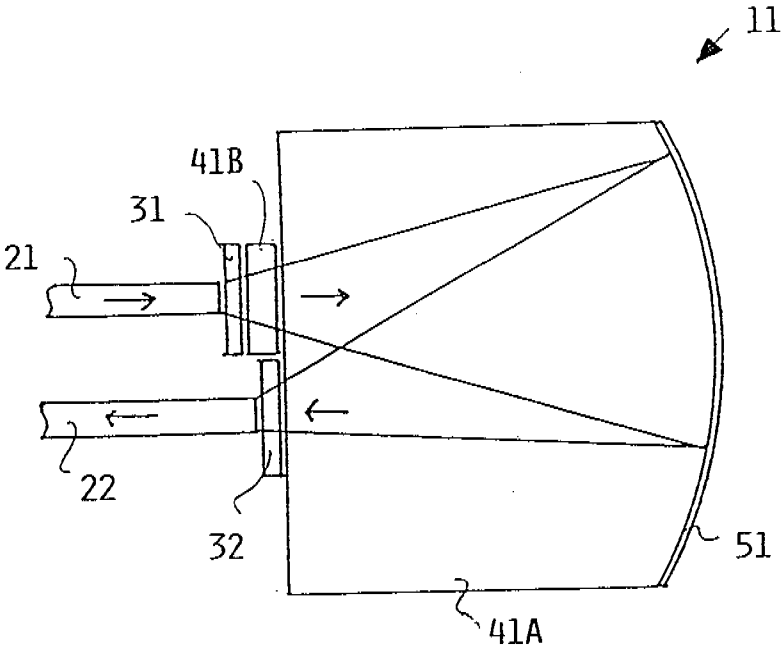


FIG. 5A

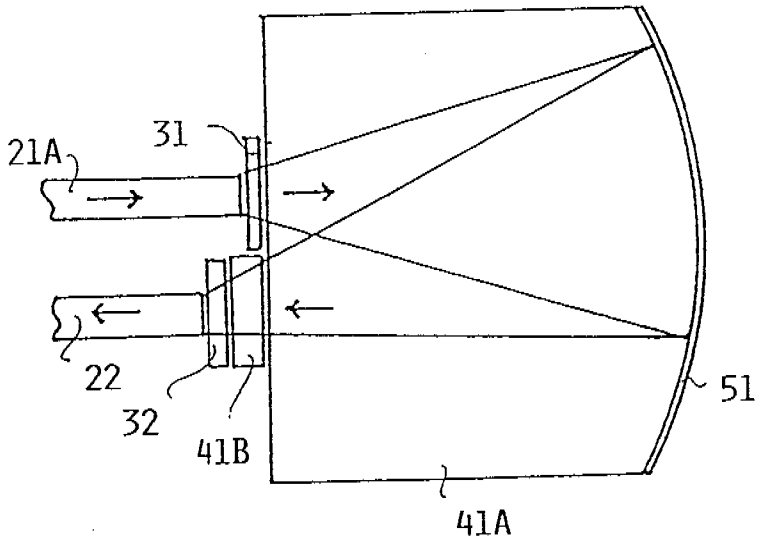


FIG. 5B

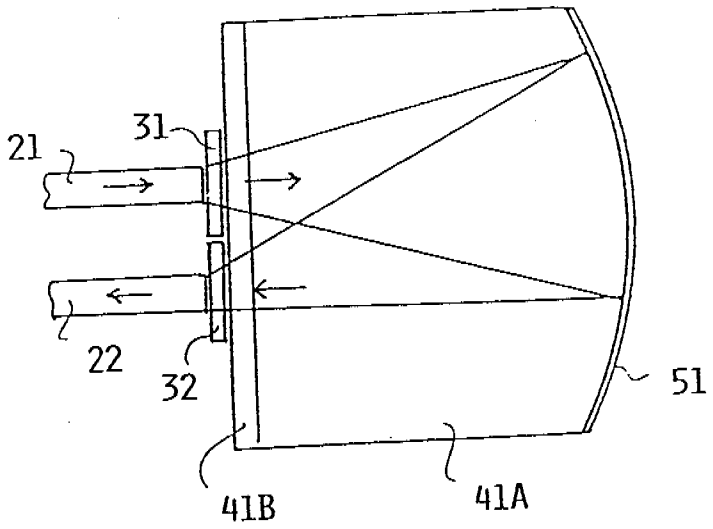


FIG. 5C

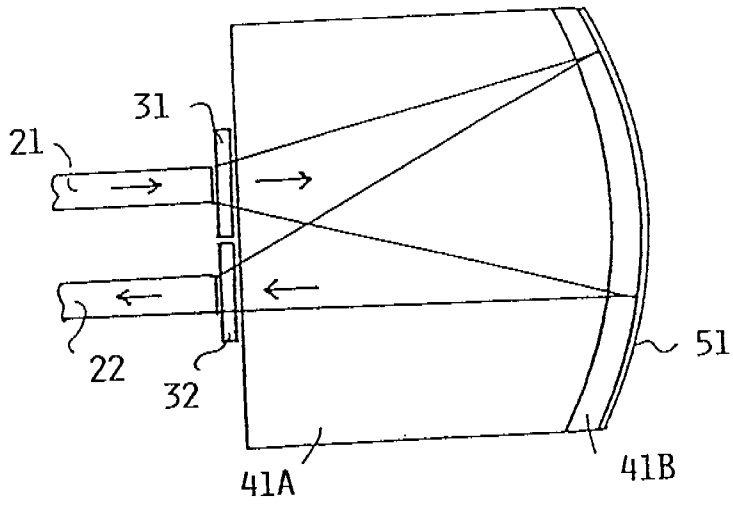


FIG. 5D

FIG. 6A

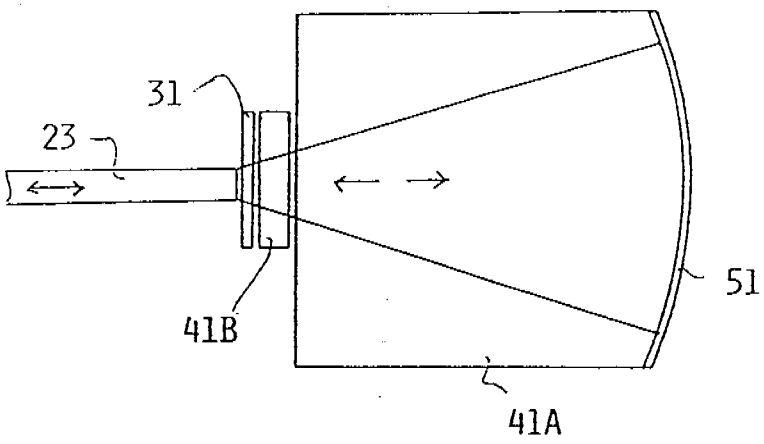
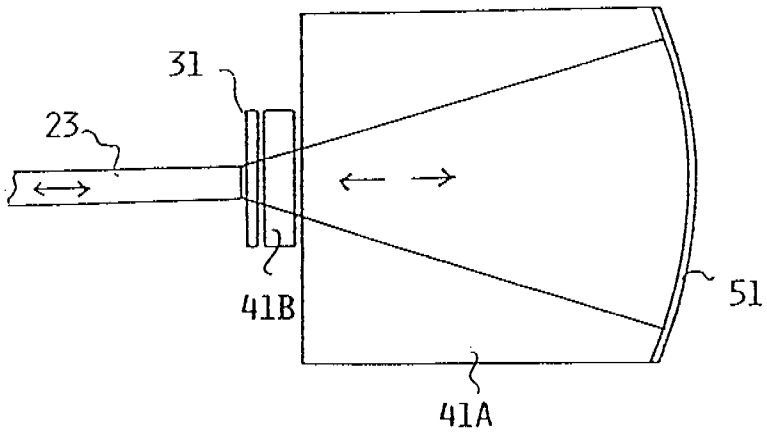


FIG. 6B



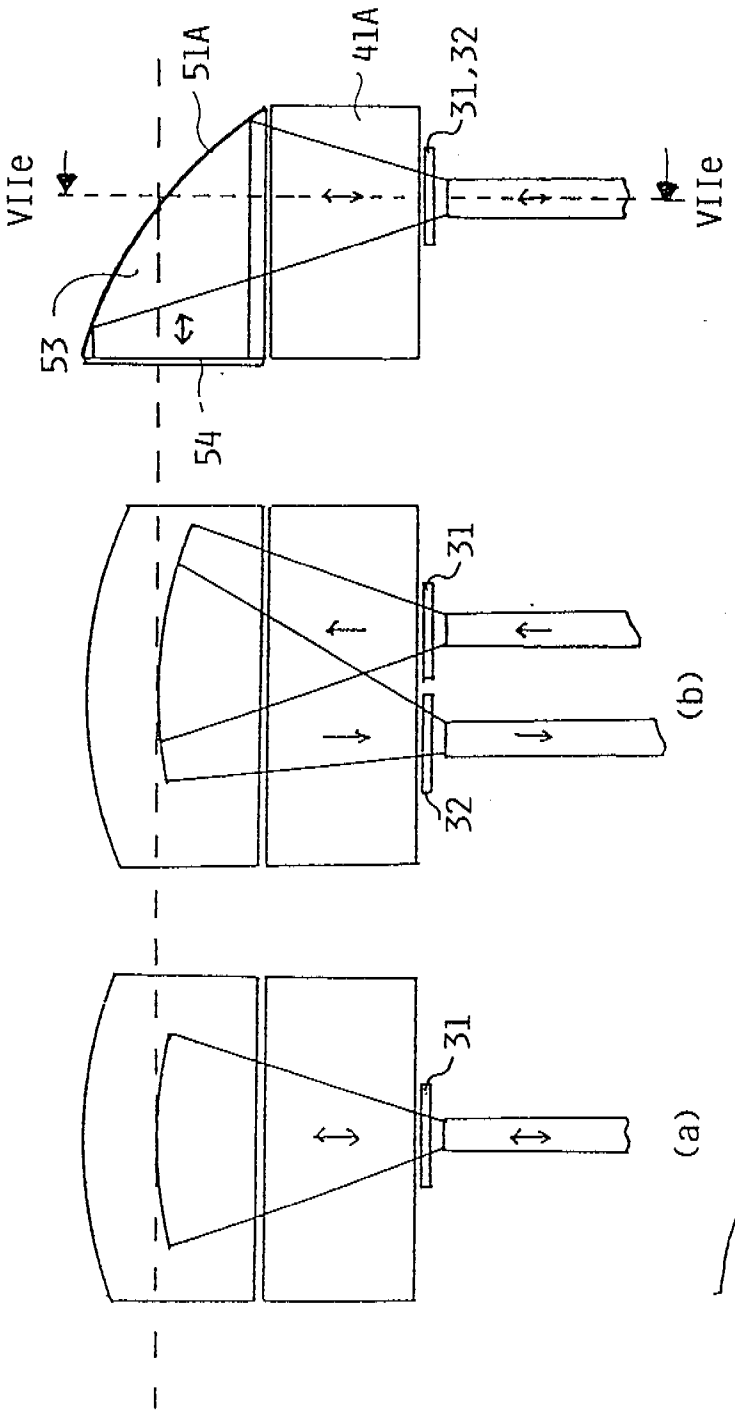


FIG. 7A

FIG. 7E

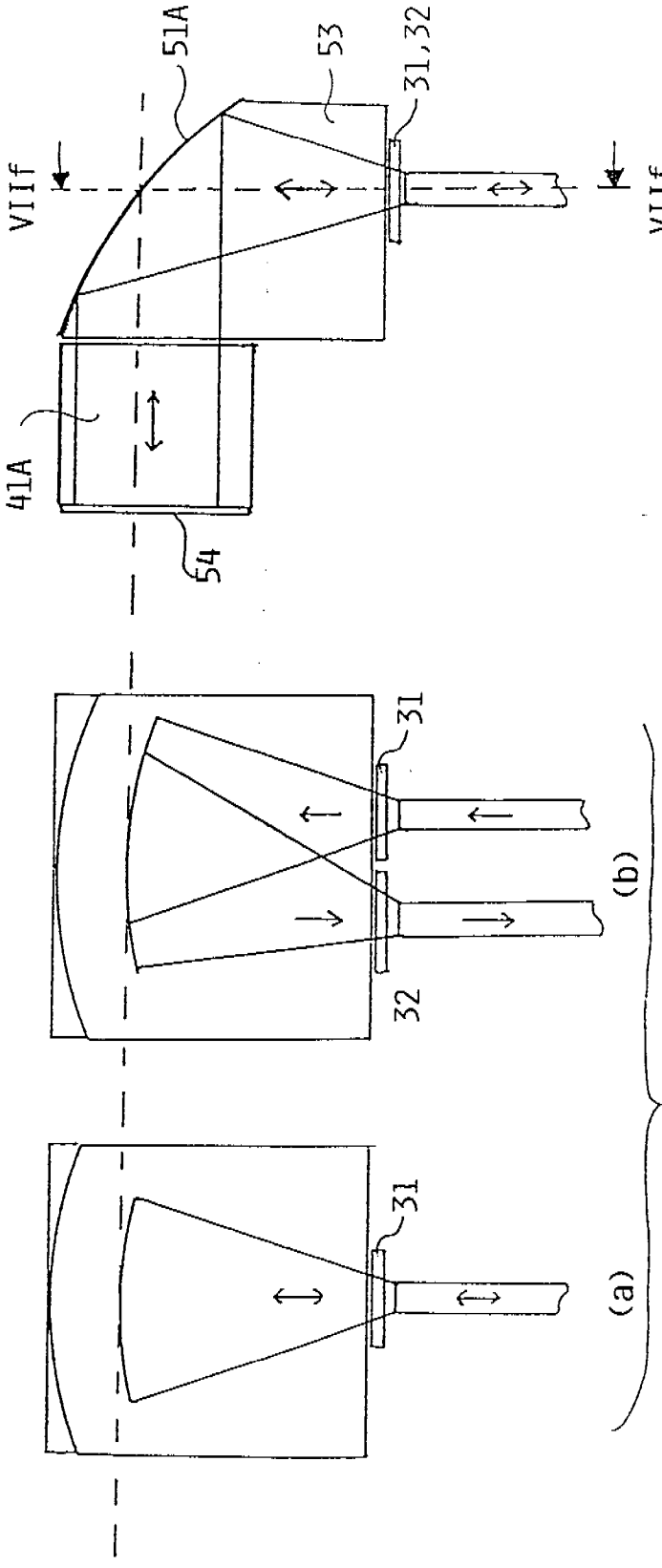


FIG. 7B

FIG. 7F

FIG. 7D

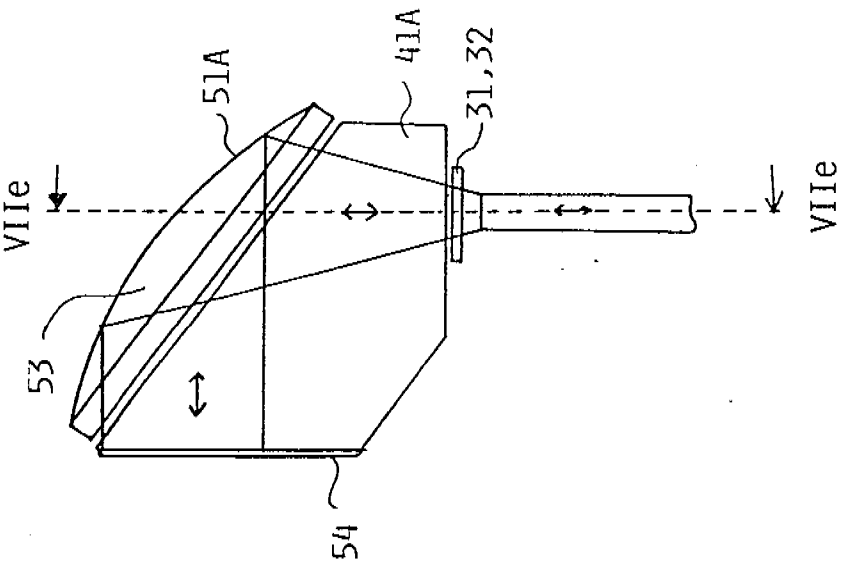
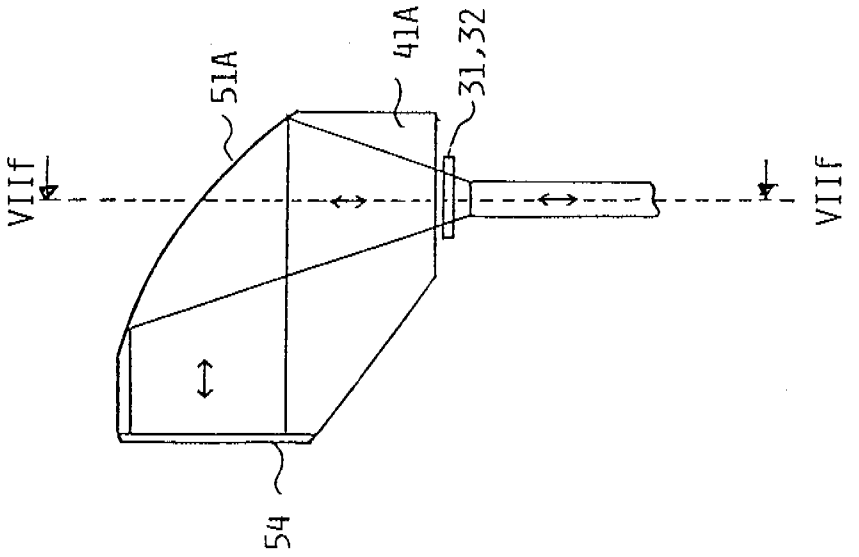


FIG. 7C



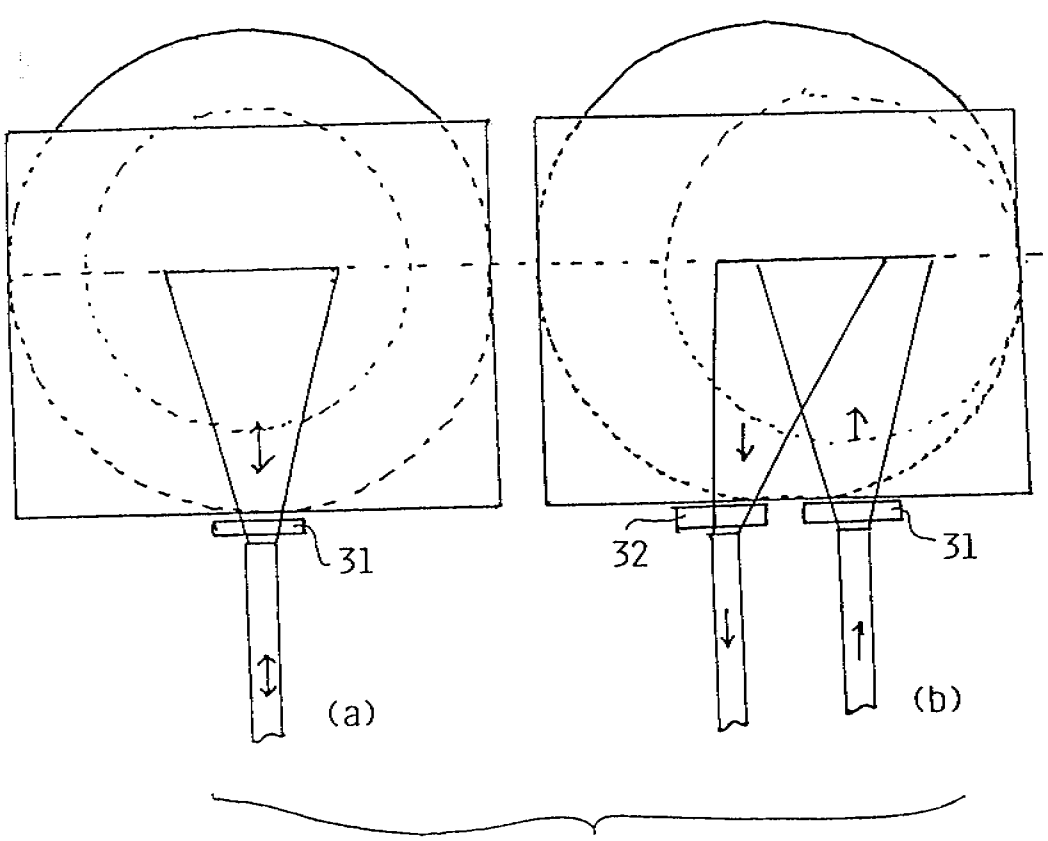


FIG. 7H

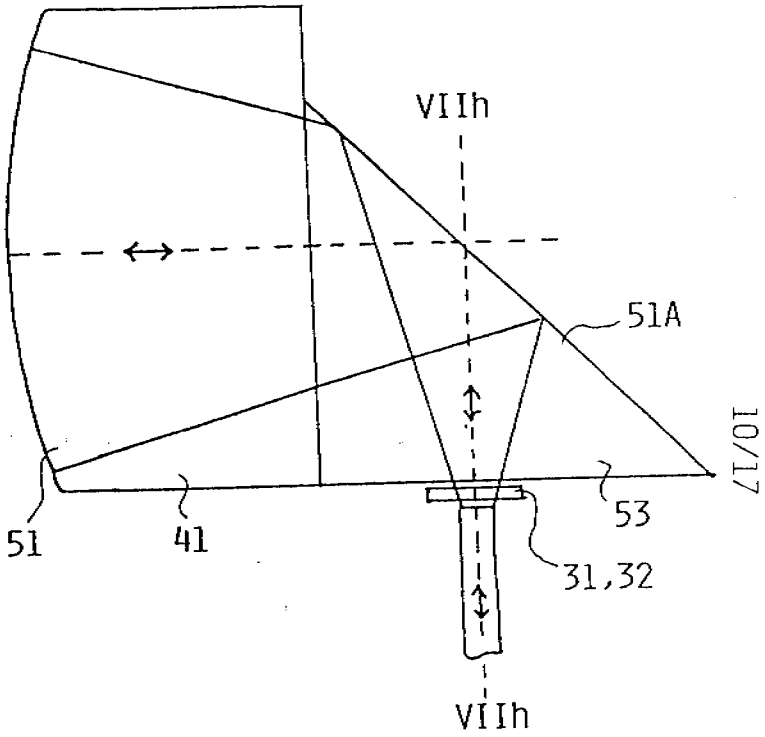


FIG. 7G

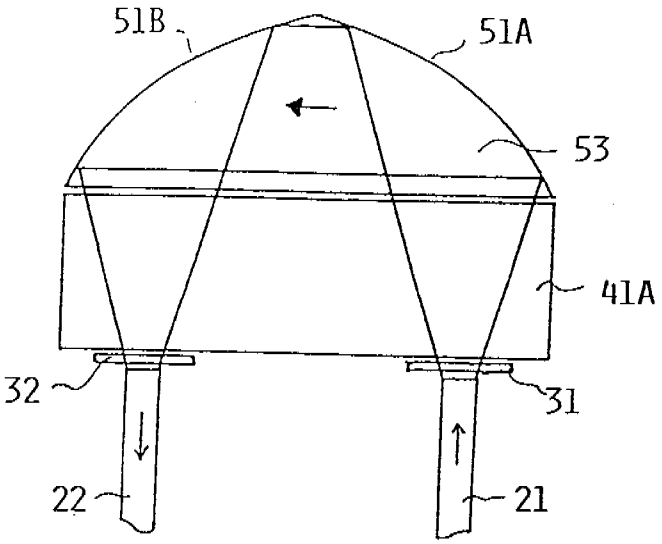


FIG. 8A

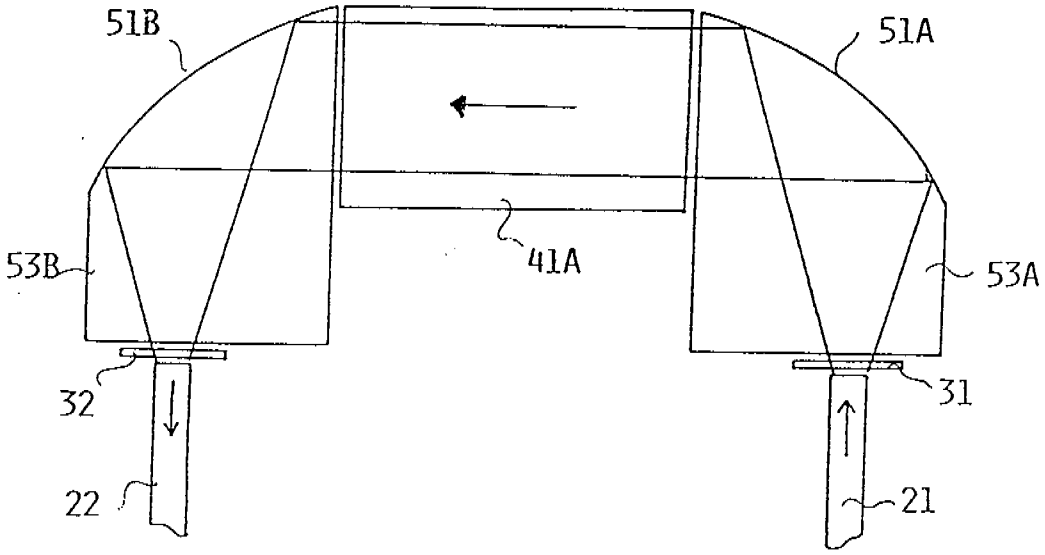


FIG. 8B

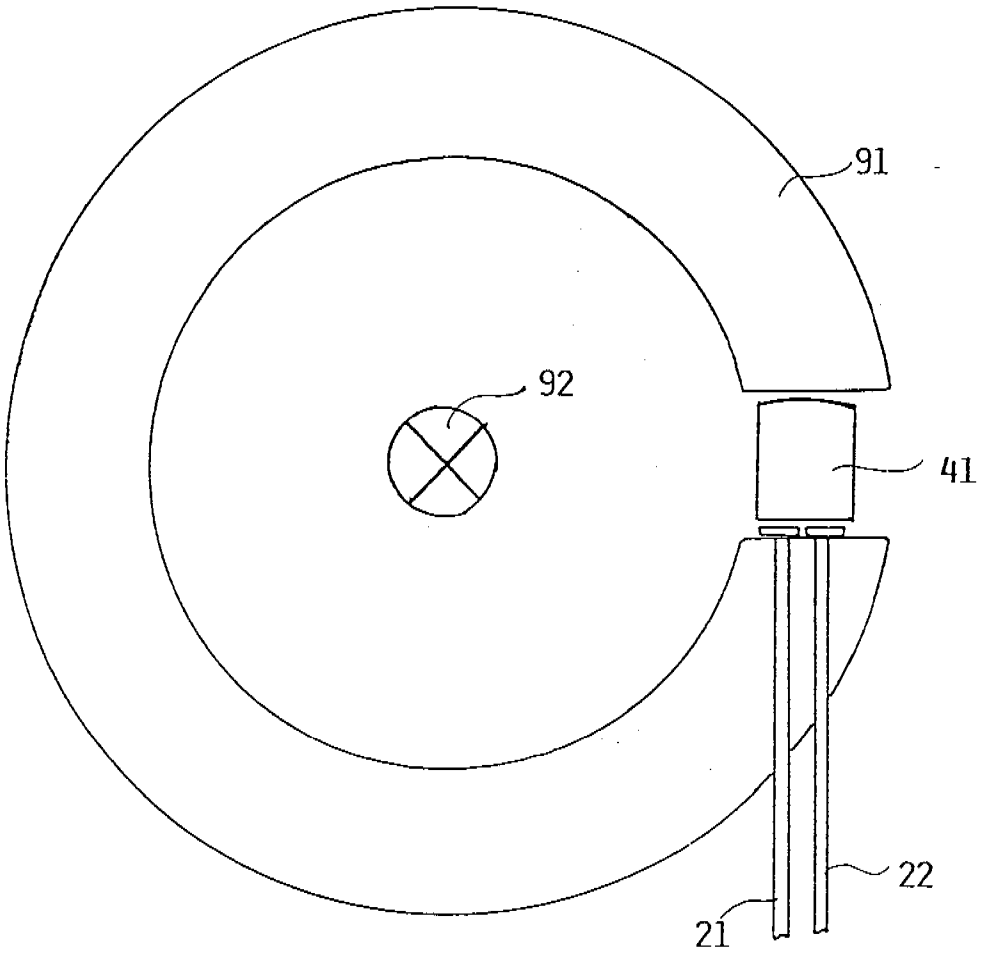


FIG. 9

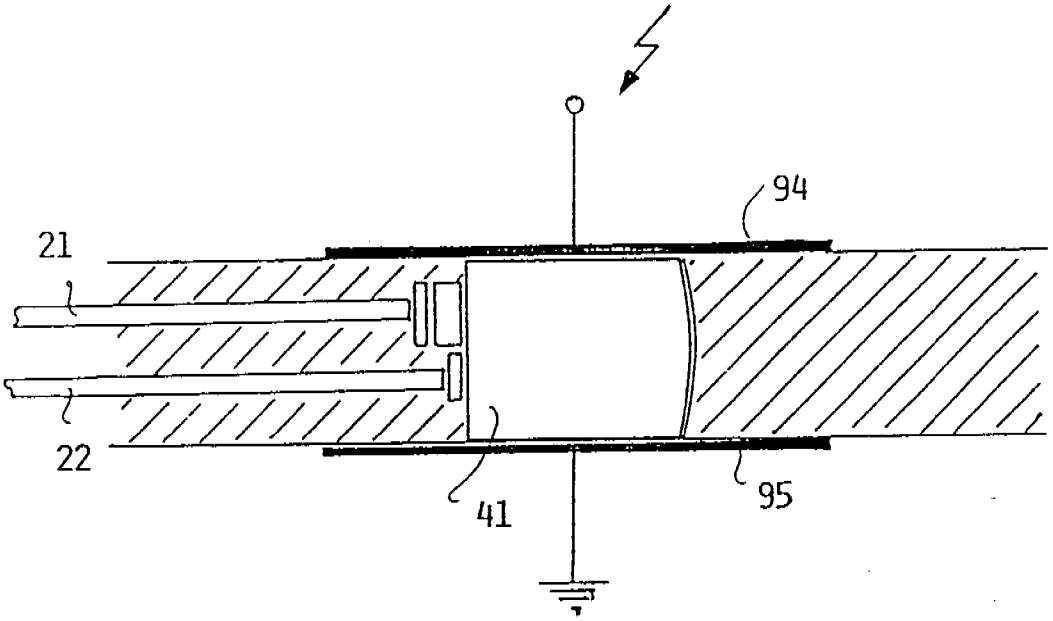


FIG. 10A

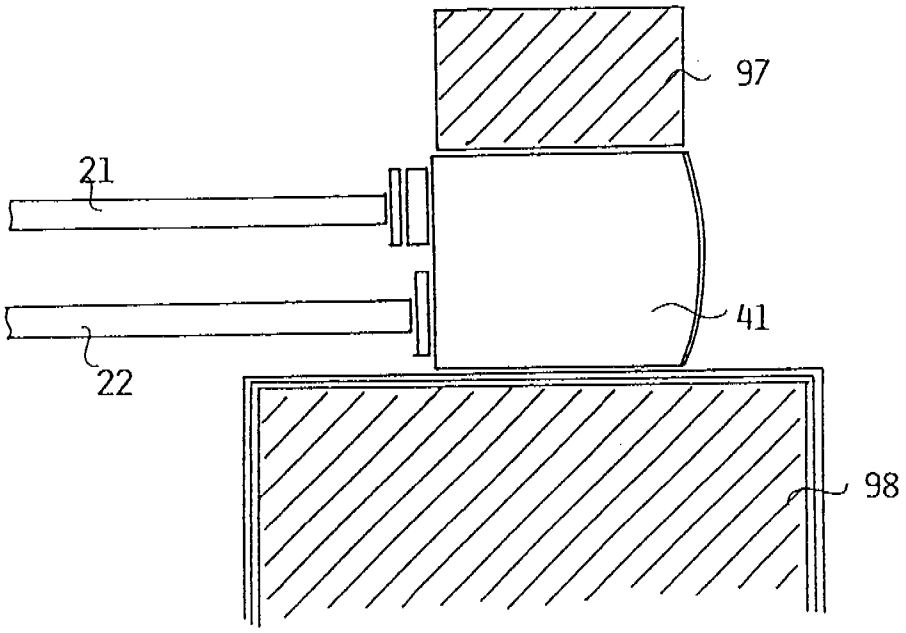


FIG. 12

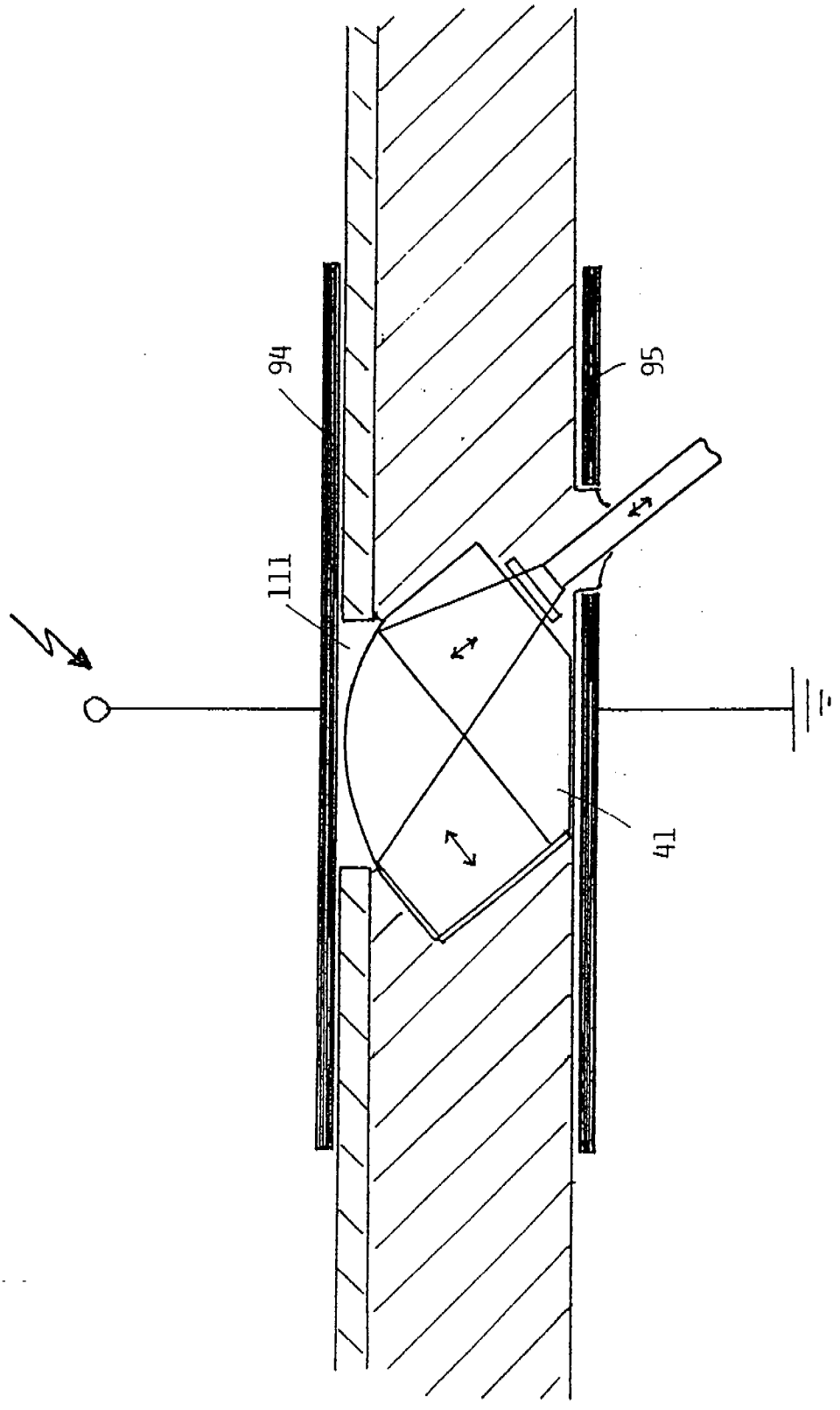


FIG. 10B

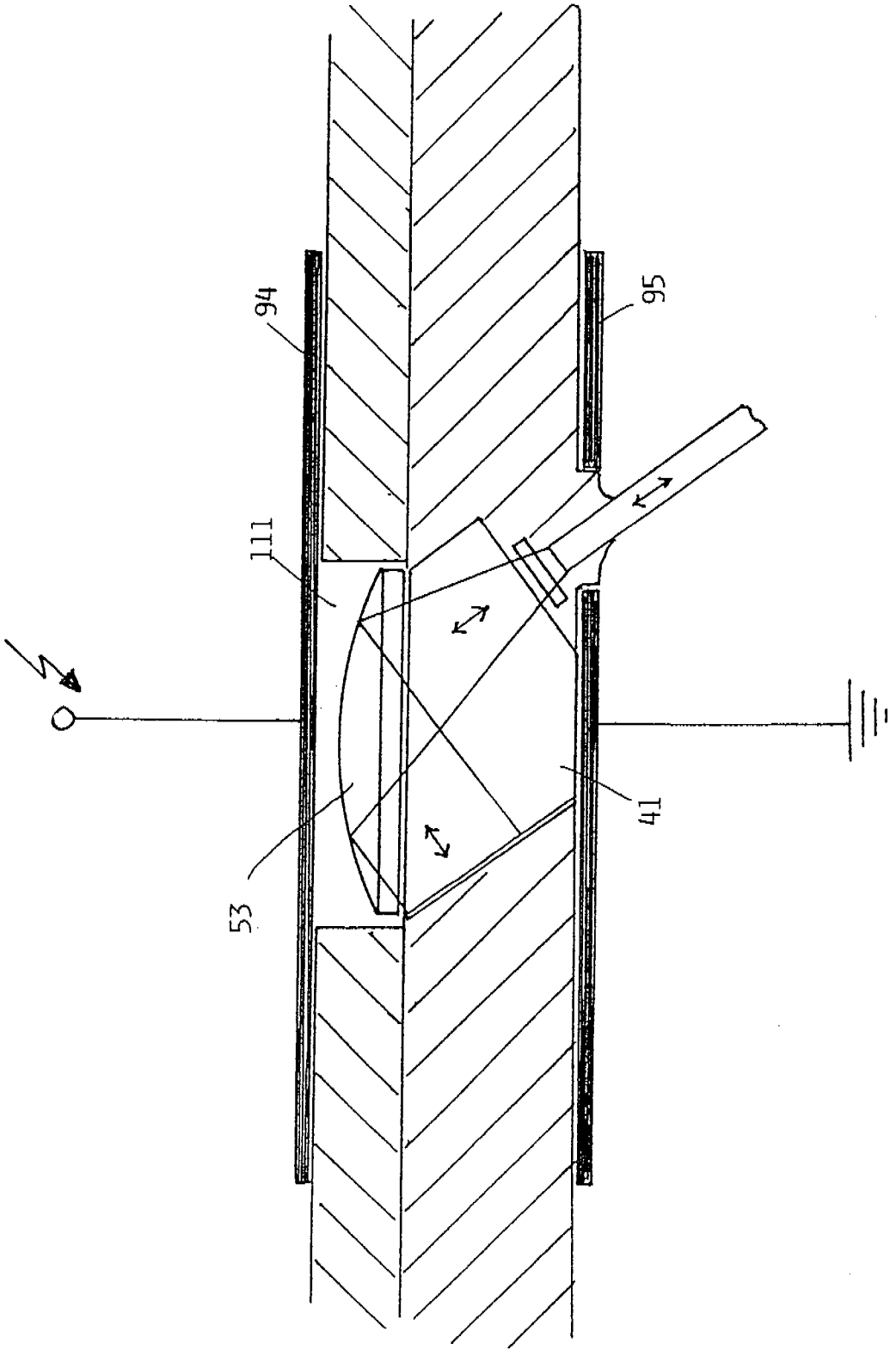


FIG. 10C

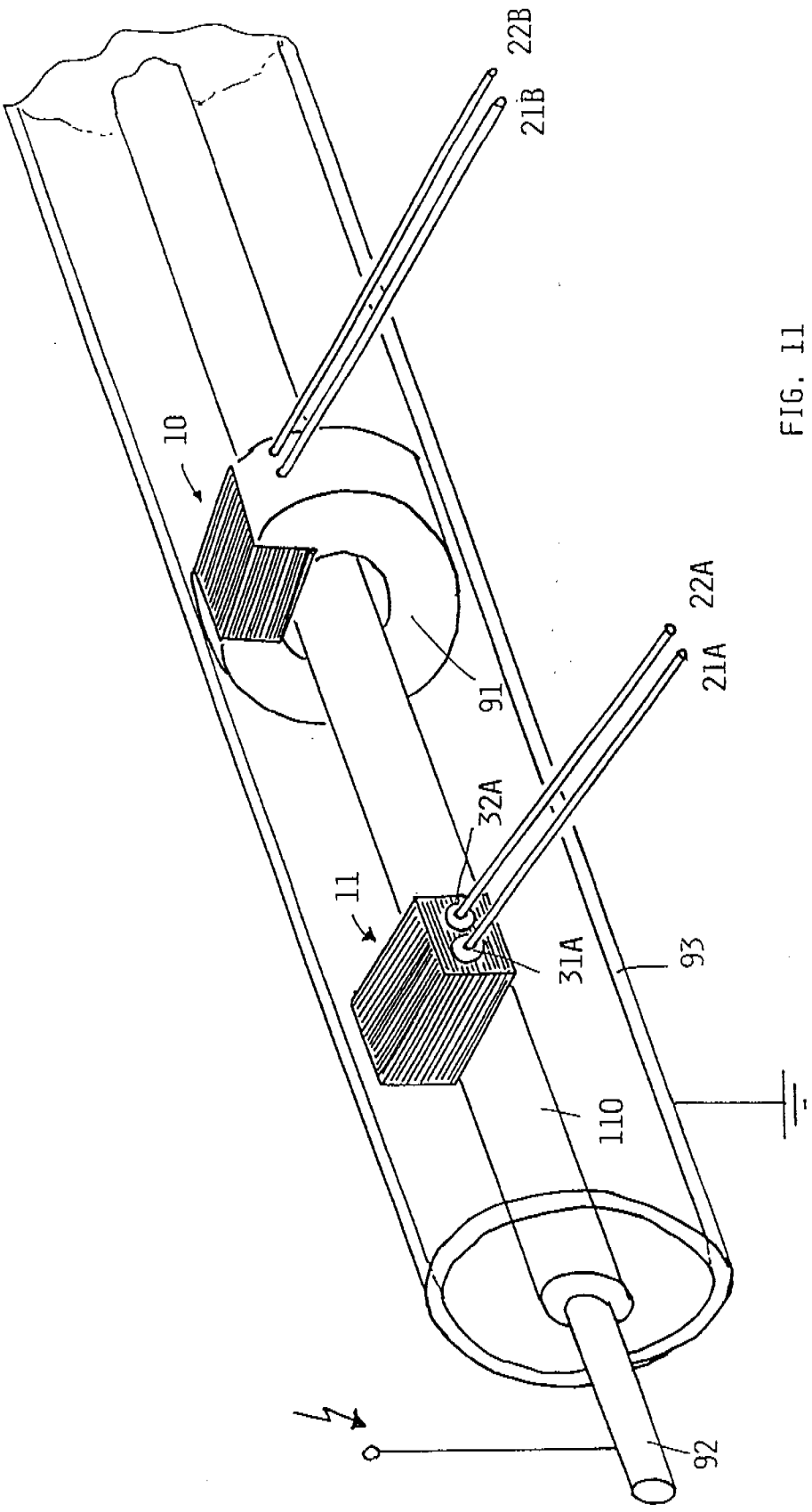


FIG. 11

FIG. 13

