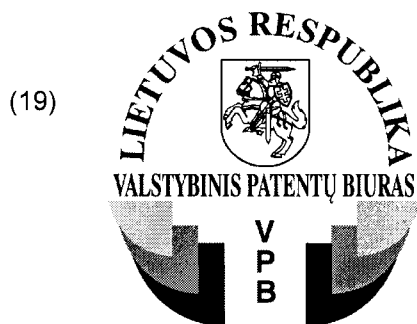




(10) **LT 5597 B**

(12) **PATENTO APRAŠYMAS**

(11) Patent numeris: **5597** (51) Int. Cl. (2006): **H01S 3/08**
G02B 5/12

(21) Paraiškos numeris: **2007 085**

(22) Paraiškos padavimo data: **2007 12 29**

(41) Paraiškos paskelbimo data: **2009 07 27**

(45) Patent paskelbimo data: **2009 09 25**

(62) Paraiškos, iš kurios dokumentas išskirtas, numeris: —

(86) Tarptautinės paraiškos numeris: —

(86) Tarptautinės paraiškos padavimo data: —

(85) Nacionalinio PCT lygio procedūros pradžios data: —

(30) Prioritetas: —

(72) Išradėjas:

Stanislovas BALICKAS, LT
Romaldas ANTANAVIČIUS, LT
Andrejus MICHAILOVAS, LT

(73) Patent savininkas:

UAB „EKSPLA“, Savanorių pr. 231, LT-02300 Vilnius, LT

(74) Patentinis patikėtinis/atstovas:

Virgina Adolfina DRAUGELIENĖ, A.P.Kavoliuko g. 24-152, LT-04328 Vilnius, LT

(54) Pavadinimas:

Parametrinis šviesos generatorius

(57) Referatas:

Išradimas priklauso lazerių sričiai būtent parametriniams šviesos generatoriams (PŠG), kuriuose panaudojamas vaizdo sukimas pluošto kokybei gerinti, tuo pačiu užtikrinant aukštą poliarizacijos grynumą. Parametrinis šviesos generatorius, turintis optinį rezonatorių su dviem galiniais veidrodžiais bei tarp jų išdėstytu netiesiniu kristalu, kuriame optinis rezonatorius kiekvieno pilno šviesos pluošto apėjimo metu sukeičia pluošto profilio vertikalią ir horizontalią koordinatę vietomis bei išsaugoja šviesos pluošto tiesinę poliarizaciją, rezonatoriaus vienas iš galinių veidrodžių yra daugiafunkcinis retroreflektorius, kuris kartu su šviesos pluošto atspindėjimo atgal funkcija vykdo ir minėto pluošto profilio vertikalią ir horizontalią koordinatę sukeitimą vietomis bei užtikrina nekintančią šviesos pluošto tiesinę poliarizaciją.

Išradimas priklauso lazerių sričiai, būtent, parametriniams šviesos generatoriams (PŠG), kuriuose panaudojamas vaizdo sukimas pluošto kokybei gerinti, tuo pačiu užtikrinant aukštą poliarizacijos grynumą.

Yra žinomas lazerio rezonatorius, kuriame panaudojamas vaizdą sukančias retroreflektorius ir tiesinę poliarizaciją išsauganti priemonė, apimantis krentančios šviesos pluošto kelyje išdėstytas kelias visiškojo vidaus atspindžio plokštumas bei poliarizacijos rotatorius, pavyzdžiui, Faradėjaus rotatorius, skirtus poliarizacijos valdymui, kad atsispindėjimo metu tiesinė poliarizacija nevirstų elipsine (žiūrėti išradimo aprašymą pagal Europos patentą Nr. 1662623).

Žinomo lazerio rezonatoriaus su vaizdą sukančiu retroreflektoriumi trūkumas yra tas, kad reikalinga papildoma poliarizacijos valdymo operacija, o dėl to rezonatoriuje naudojami poliarizacijos rotatoriai, kurie pasižymi didele dispersija (poliarizacijos posūkio kampas priklauso nuo spinduliuotės bangos ilgio). Taigi tokio tipo retroreflektoriai tiesinę poliarizaciją išlaiko tik siaurame bangos ilgių diapazone. Be to, Faradėjaus rotatorius turi tam tikras sugerties juostas UV ir regimosios šviesos diapazone. Dėl šių priežasčių minėtas retroreflektorius nelabai tinka naudoti parametriniuose šviesos generatoriuose.

Artimiausias pagal techninę esmę yra parametrinis šviesos generatorius, apimantis rezonatorių su dviem galiniais veidrodžiais ir tarp jų išdėstytais netiesiniu kristalu, bent viena $\lambda/2$ bangų plokšte, kaupinimo bangos įvedimo į rezonatorių priemonę bei signalinės ir šalutinės bangos išvedimo iš rezonatoriaus priemonę, kuriame minėto optinio rezonatoriaus galiniai veidrodžiai yra tarpusavyje pasuktos Porro prizmės, kurios kiekvieno pilno rezonatoriaus apėjimo metu pasuka pluošto vaizdą 90° kampu, o pluošto poliarizacija valdoma $\lambda/2$ bangų plokšte tam, kad vaizdo pasukimo metu tiesinė poliarizacija nevirstų elipsine ir kad nepakistų jos orientacija (žiūrėti išradimo aprašymą pagal JAV patentą Nr. 6647033).

Šio parametrinio šviesos generatoriaus trūkumas yra siauras bangos ilgių diapazonas, kuriame gali būti pagerinta pluošto kokybė, tuo pačiu užtikrinant tiesinę nekintančios orientacijos poliarizaciją. Bangų plokšte neįmanoma pasiekti vienodo poliarizacijos sukimo plačiame spektriniame diapazone, todėl minėtas PŠG rezonatorius neužtikrina grynos poliarizacijos spinduliuotės visoje derinimo srityje. Be to, šis generatorius negarantuoja grynos poliarizacijos šalutinei bangai, nebent jos bangos ilgis būtų artimas signalinės bangos ilgiui.

Išradimu siekiama pagerinti parametrinio šviesos generatoriaus pluošto kokybę (simetrizuoti pluošto skėstį ir homogenizuoti intensyvumo pasiskirstymą), užtikrinant nekintančią tiesinę poliarizaciją plačiame spektriniame diapazone.

Išradimo esmė yra ta, kad siūlomame parametriniame šviesos generatoriuje, turinčiame optinį rezonatorių su dviem galiniais veidrodžiais ir tarp jų išdėstytu netiesiniu kristalu, kaupinimo bangos įvedimo į rezonatorių priemonę bei signalinės ir šalutinės bangos išvedimo iš rezonatoriaus priemonės, kuriame optinis rezonatorius kiekvieno pilno apėjimo metu sukeičia šviesos pluošto profilio vertikaliąją ir horizontaliąją koordinates vietomis bei išsaugoja šviesos pluošto tiesinę poliarizaciją, rezonatoriaus vienas iš galinių veidrodžių yra daigafunkcinis retroreflektorius, kuris kartu su šviesos pluošto atspindėjimo atgal funkcija vykdo ir minėto pluošto profilio vertikaliosios ir horizontaliosios koordinatų sukeitimą vietomis bei užtikrina nekintančią šviesos pluošto tiesinę poliarizaciją.

Daigafunkcinio retroreflektoriaus panaudojimas parametrinio šviesos generatoriaus rezonatoriuje pagerina parametrinio šviesos generatoriaus pluošto kokybę – simetrizuojama pluošto skėstis, homogenizuojamas intensyvumo pasiskirstymas, nes užtikrinama nekintanti tiesinė poliarizacija plačiame bangos ilgių diapazone bei aukštas tiesinės poliarizacijos grynumas visoje generatoriaus derinimo srityje. Parametrinės sąveikos metu abi sugeneruotos bangos – tiek signalinė banga, tiek šalutinė banga – pasižymi aukšta pluošto kokybe ir gryna tiesine poliarizacija.

Rezonatoriaus daigafunkcinis galinis retroreflektorius yra skaidrios medžiagos elementas, turintis ne mažiau kaip keturias visiškojo vidaus atspindžio plokštumas, kurios erdvėje išdėstytos taip, kad krentantis šviesos pluoštas, atspindėjęs nuo kiekvienos visiškojo vidaus atspindžio plokštumos, kartu su vaizdo apvertimu patiria ir fazės postūmį tarp statmenosios (s) ir lygiagrečiosios (p) poliarizacijos dedamųjų, o po paskutiniojo atspindžio atgal grįžtančio pluošto profilio vertikalioji ir horizontalioji koordinatės susikeičia vietomis, bei patirtas suminis minėtas fazės postūmis užtikrina tiesinę, sutampančią su pradine, poliarizaciją.

Siūlomame PŠG panaudojama retroreflektoriaus visiškojo vidaus atspindžio savybė, t.y. fazių postūmis tarp s ir p dedamųjų. Retroreflektoriaus viduje tiesinė poliarizacija nėra išsaugoma, tačiau už retroreflektoriaus poliarizacija vėl yra tiesinė ir jos orientacija sutampa su pradine. Šio

išradimo retroreflektorius atlieka tą pačią operaciją, kurią kartu atlieka du prototipo elementai – 45° kampų pasukta Porro prizmė ir $\lambda/2$ plokštelė.

Parametrinio šviesos generatoriaus su daugiafunkciniu retroreflektoriumi, turinčiu ne mažiau kaip 4 išdėstytas erdvėje visiškojo vidaus atspindžio plokštumas, privalumas yra tas, kad pluošto vaizdo bei poliarizacijos valdymas priklauso tik nuo skaidrios medžiagos, iš kurios pagamintas retroreflektorius, lūžio rodiklio. Nesunku parinkti tokią skaidrią medžiagą, kuri užtikrintų nekintančią tiesinę poliarizaciją plačiame bangos ilgių diapazone. Parinkus medžiagą su maža lūžio rodiklio dispersija, plačiame bangos ilgių diapazone depoliarizaciniai nuostoliai yra maži – mažesni, negu galima būtų gauti retroreflektoriaus, sudaryto iš Porro prizmės ir bangų plokštelės kombinacijos. Tokiu būdu panaudojant šį retroreflektorių parametrinio šviesos generatoriaus rezonatoriuje galima pagerinti minėto generatoriaus pluošto kokybę, nesumažinant parametrinės sąveikos efektyvumo ir nesugadinant išėjimo spinduliuotės poliarizacijos grynumo visame minėto generatoriaus derinimo diapazone.

Parametriniame šviesos generatoriuje rezonatoriaus daugiafunkcinį galinį retroreflektorių sudaro dvi stačiosios prizmės, pasuktos viena kitos ir krentančio pluošto tiesinės poliarizacijos vektoriaus atžvilgiu taip, kad krentantis pluoštas, sklisdamas tokia prizmių pora, patiria keturis paminėtus visiškuosius vidaus atspindžius.

Atskirų stačiųjų prizmių gamybos technologija yra nesudėtinga, tokias prizmes gali pagaminti bet kuris optinių elementų gamintojas. Be to, prizmės gali būti pagamintos iš skirtingų skaidrių medžiagų.

Parametriniame šviesos generatoriuje rezonatoriaus daugiafunkcinį galinį retroreflektorių sudaro monolitinis optinis elementas, kuriame krentantis pluoštas patiria ne mažiau kaip keturis paminėtus visiškuosius vidaus atspindžius.

Monolitinį elementą pagaminti yra sunkiau, tačiau jis pasižymi didesniu mechaniniu stabilumu ir mažesniais energiniais nuostoliais.

Parametriniame šviesos generatoriuje rezonatoriaus kitas galinis veidrodis yra plokščiasis veidrodis, kuris derinyje su daugiafunkciniu retroreflektoriumi apverčia šviesos pluošto profilį diagonalės atžvilgiu kiekvieno pilno rezonatoriaus apėjimo metu (t.y. dvi statmenosios pluošto profilio dedamosios yra sukeičiamos vietomis).

Parametriniame šviesos generatoriuje rezonatoriaus kitas galinis veidrodis yra vaizdą apverčianti prizmė, pavyzdžiui, Porro prizmė, kuri derinyje su daugiafunkciniu retroreflektoriumi pasuka šviesos pluošto vaizdą 90° kampu kiekvieno rezonatoriaus apėjimo metu.

Detaliau išradimas paaiškinamas brėžiniais, kuriuose pavaizduota:

Fig. 1 – pasiūlyto parametrinio šviesos generatoriaus optinė schema;

Fig. 2 – schema, iliustruojanti parametrinio šviesos generatoriaus pagal Fig. 1 poveikį pluoštui;

Fig. 3 – parametrinio šviesos generatoriaus kitas variantas;

Fig. 4 – schema, iliustruojanti parametrinio šviesos generatoriaus pagal Fig. 3 poveikį pluoštui;

Fig. 5 – daugiafunkcinio retroreflektoriaus optinė schema su pavaizduota vieno spindulio trajektorija ir pažymėtomis pozicijomis, kuriose stebimi pluošto vaizdo pokyčiai;

Fig. 6 – sklindančio daugiafunkciniu retroreflektoriumi pluošto profilio iliustracijos pažymėtose Fig. 5 pozicijose;

Fig. 7 – daugiafunkcinio retroreflektoriaus optinė schema su pavaizduota vieno spindulio trajektorija ir pažymėtomis pozicijomis, kuriose stebimi pluošto poliarizacijos pokyčiai;

Fig. 8 – sklindančio daugiafunkciniu retroreflektoriumi pluošto poliarizacijos iliustracijos pažymėtose Fig. 7 pozicijose;

Fig. 9 – koordinačių sistemų tarpusavio orientacija ir poliarizacijos dedamųjų amplitudžių sąryšiai;

Fig. 10 – pasiūlyto retroreflektoriaus kampo θ priklausomybė nuo lūžio rodiklio;

Fig. 11 – depoliarizacinių nuostolių priklausomybė nuo spinduliuotės bangos ilgio rezonatoriuje su šio išradimo daugiafunkciniu retroreflektoriumi;

Siūlomas parametrinis šviesos generatorius pavaizduotas Fig. 1 turi rezonatorių, apimantį du galinius veidrodžius, iš kurių pirmasis yra plokščiasis veidrodis (1), o antrasis – daugiafunkcinis retroreflektorius (2), ir tarp jų išdėstytą netiesinį kristalą (3). Parametrinis šviesos generatorius taip pat turi kaupinimo bangos įvedimo į rezonatorių priemonę bei signalinės ir šalutinės bangos išvedimo iš rezonatoriaus priemonės (brėžinyje neparodytos).

Kai pirmasis galinis veidrodis yra plokščiasis veidrodis (1), jis ir gali būti kaupinimo bangos įvedimo ir signalinės bei šalutinės bangos išvedimo priemone (plokščiasis veidrodis padengiamas interferencinėmis dangomis, kad jis taptų visiškai pralaidus kaupinimo bangai ir dalinai pralaidus signalinei bei šalutinei bangai). Kuomet visos trys bangos sklinda tuo pačiu optiniu keliu (4, 5), netiesiniame kristale (3) vyksta kolineari parametrinė sąveika.

Daugiafunkcinis retroreflektorius (2) yra sudarytas iš dviejų visiškojo vidaus atspindžio prizmių (6, 7), pavyzdžiui, stačiųjų prizmių. Prizmė (6) orientuota taip, kad į ją krentantis rezonansinės bangos (dažniausiai, signalinės bangos) pluoštas (4), atsispindėjęs nuo jos plokštumos b, pakeistų sklidimo kryptį 90 laipsnių kampą ir būtų nukreiptas į antrąją prizmę (7), t.y. atspindžio plokštuma b su krentančio pluošto kryptimi (4) sudaro 45 laipsnių kampą. Prizmė (7) orientuota taip, kad į ją krentantis rezonansinės bangos pluoštas (5), atsispindėjęs nuo jos plokštumų e ir f, pakeistų sklidimo kryptį 180 laipsnių kampą, t.y. atspindžio plokštumos e ir f su krentančio pluošto kryptimi (5) sudaro 45 laipsnių kampą (taip orientuota stačioji prizmė vadinama Porro prizme). Kitos prizmių plokštumos a, c, d, kurias pluoštas kerta statmenai, niekaip nepaveikia nei pluošto sklidimo krypties, nei vaizdo, nei poliarizacijos, todėl toliau nebus nagrinėjamos.

Prizmės (6) ir (7) yra pasuktos azimutiniais kampais θ ir φ apie pluošto sklidimo kryptį (4, 5). θ yra kampas tarp krentančio pluošto poliarizacijos vektoriaus ir pirmosios prizmės (6) p ašies, o φ – kampas tarp abiejų retroreflektoriaus prizmių p ašių. Kampas θ laikomas teigiamu, jei, žiūrint iš taško (8), pirmoji retroreflektoriaus prizmė (6) yra pasukta pagal laikrodžio rodyklę; kampas φ laikomas teigiamu, jei, žiūrint iš taško (9), antroji retroreflektoriaus prizmė (7) yra pasukta pagal laikrodžio rodyklę. Fig. 1 kampas θ yra teigiamas, o kampas φ – neigiamas. Konkrečios kampų θ ir φ reikšmės priklauso nuo prizmių lūžio rodiklio.

Išradimas nėra apribotas reflektoriaus (2) išpildymu tik pagal Fig. 1. Bendruoju atveju pirmoji prizmė nebūtinai turi būti stačioji. Tuomet pluošto sklidimo kryptys (4) ir (5) tarpusavyje sudarys kampą 2α , kur α – kritimo į plokštumą b kampas. Plokštumos a ir c vis tiek bus statmenos pluošto sklidimo kryptims. Be to, retroreflektorius (2) gali būti ne dviejų prizmių

kombinacija, o monolitinis elementas. Tokiu atveju pagerinamas mechaninis stabilumas bei sumažinami nuostoliai dėl atspindžių ant paviršių c ir d.

Fig. 2 pateikta iliustracija kaip paveikiamas pluošto vaizdas ir poliarizacija vieno pilno PŠG pagal Fig. 1 rezonatoriaus apėjimo metu. Tarkime, rezonatoriaus apėjimas prasideda iškart už netiesinio kristalo (3). Vieną rezonatoriaus apėjimą sudaro šios atkarpos:

(10) – pluošto kelias nuo netiesinio kristalo (3) iki šio išradimo retroreflektoriaus (2),

(11) – nuo šio išradimo retroreflektoriaus (2) atgal iki netiesinio kristalo (3),

(12) – nuo netiesinio kristalo (3) iki plokščiojo veidrodžio (1),

(13) – nuo plokščiojo veidrodžio (1) atgal iki netiesinio kristalo (3).

PŠG netiesinis kristalas generuoja asimetrinio profilio signalinės bangos pluoštą. Tarkime, pluošto sklaidimo kryptį statmenoje plokštumoje g jo profilis yra ovalinis, t.y. dviejose statmenose koordinatėse vienodą intensyvumą atitinkantys taškai M ir N yra nevienodai nutolę nuo pluošto centro C. Krentančio į retroreflektorių pluošto (10) poliarizacija yra tiesinė, o poliarizacijos vektorius yra nukreiptas X ašies kryptimi ir sutampa su ilgąja pluošto profilio ašimi NN'. Atspindėto atgal pluošto (11) profilio ilgoji (NN') ir trumpoji (MM') ašys yra susikeitusios vietomis, tuo tarpu tiesinės poliarizacijos vektoriaus orientacija išlieka nepakitusi. Grįžtančio pluošto (11) poliarizacijos vektorius yra nukreiptas –X kryptimi, o tai reiškia, kad šio išradimo retroreflektorių (2) pastumia fazę per π . Antrą kartą praėjus netiesinį kristalą (3) (tariame, kad parametrinis stiprinimas vyksta pluoštui keliaujant ir į kairę, ir į dešinę), pluoštas (12) yra dviejų signalinės bangos pluoštų suma – grįžtančio atgal nuo retroreflektoriaus (2) ir naujai sugeneruoto, – kurių profilių ilgosios ašys yra statmenos tarpusavyje. Rezultatinis pluošto profilis (pluošto sklaidimo kryptį statmenoje plokštumoje h) pasižymi didesne simetrija: dvi statmenos pluošto profilio ašys KK' ir LL' yra maždaug vienodo ilgio. Pluošto poliarizacijos vektoriaus orientacija išlieka nepakitusi. Atspindžio nuo plokščiojo veidrodžio (1) metu nei pluošto vaizdas, nei poliarizacija nėra paveikiami. Taigi PŠG rezonatoriaus apėjimo pabaigoje pluoštas (13) pasižymi aukštesne kokybe nei pluoštas (10) rezonatoriaus apėjimo pradžioje. Po daugelio rezonatoriaus apėjimų PŠG pluoštas pasižymi apskritimine simetrija bei aukštu poliarizacijos grynumu.

Fig. 3 pavaizduotas kitas PŠG variantas, kuriame pirmasis rezonatoriaus galinis veidrodis yra Porro prizmė (14). Šiuo atveju sunkiau realizuoti kaupinimo bangos įvedimą ir signalinės bei šalutinės bangos išvedimą iš rezonatoriaus, reikės papildomų optinių elementų (brėžinyje neparodyti). Kai PŠG rezonatoriaus kitas galinis veidrodis yra Porro prizmė (14), t.y. vaizdą apverčianti prizmė, ji derinyje su šio išradimo retroreflektoriumi (2) vieno pilno rezonatoriaus apėjimo metu pasuka šviesos pluošto vaizdą 90° kampu (žiūr. Fig. 4). Kai PŠG netiesinis

kristalas generuoja ovalinį pluoštą, t.y. pasižymintį simetrija vienos ašies, pavyzdžiui, vertikalės atžvilgiu, tuomet nesvarbu, ar kiekvieno pilno rezonatoriaus apėjimo metu pluošto profilio vertikalioji ir horizontalioji koordinatės yra tik sukeičiamos vietomis (kaip Fig. 2), ar pluošto vaizdas pasukamas 90 laipsnių kampu (kaip Fig. 4). Jei netiesinis kristalas generuoja pluoštą, nepasižymintį ašine simetrija, tuomet PŠG rezonatorius konstrukcija pagal Fig. 3 yra prioritetinga.

Siūlomame PŠG panaudojama daugiafunkcinio retroreflektoriaus (2) visiškojo vidaus atspindžio savybė. Siūlomo retroreflektoriaus veikimo principas pagrįstas krentančio pluošto vaizdo ir poliarizacijos patirtais pakitimais jam atsispindint nuo visiškojo vidaus atspindžio plokštumų. Fig. 1 ir Fig. 3 pluoštas pavaizduotas kaip vienas spindulys, sklindantis (4) ir (5) kryptimis. Kadangi pluoštas pasižymi tam tikrais skersiniais matmenimis, jį galima įsivaizduoti, kaip spindulių visumą. Skirtingas koordinatės pluošto profilyje atitinkantys spinduliai nubrėš skirtingas trajektorijas.

Fig. 5 pavaizduota, kaip atrodo vieno spindulio, neinančio per pluošto centrą (16), trajektorija vieno lėkio per retroreflektorių metu. Trajektoriją sudaro atkarpos tarp pradinio taško (17) stebėjimo (referencinėje) plokštumoje g, atspindžio taškų (18, 19, 20, 21) ant retroreflektoriaus plokštumų b, e, f ir galinio taško (22) stebėjimo plokštumoje g. Joje yra pažymėtos pozicijos C1-C8, kuriose stebėsime pluošto vaizdo pokyčius: C1, C2 – prieš retroreflektorių, t.y. prieš pirmąjį atspindį, C3, C4 – po pirmojo atspindžio, C5, C6 – po antrojo ir trečiojo atspindžių, C7, C8 – po ketvirtojo atspindžio, t.y. už retroreflektoriaus. Pozicijose C1, C2, C7, C8 pluošto vaizdas stebimas iš taško (8), pozicijose C3-C6 – iš taško (9). Fig. 5 taip pat pažymėtos dvi svarbios linijos: pirmosios retroreflektoriaus prizmės (6) b plokštumos vidurio linija (23) ir antrosios retroreflektoriaus prizmės (7) viršūnė (24). Yra gerai žinoma, kad stačioji prizmė atlieka vaizdo apvertimo operaciją atspindžio plokštumos vidurio linijos atžvilgiu, o Porro prizmė atlieka vaizdo apvertimo operaciją viršūnės atžvilgiu.

Stebėjime, kaip vartomas asimetrinis pluošto vaizdas ir kaip kinta referencinių pluošto profilio taškų M ir N skersinės koordinatės, pluoštui sklindant šio išradimo retroreflektoriumi. Tarkime pradinėje stebėjimo pozicijoje (Fig. 6 C1) – stebėjimo plokštumoje g prieš retroreflektorių – pluošto profilio trumpoji ašis yra horizontali, o ilgoji ašis – vertikali. Taškas M yra nutolęs nuo pluošto centro C horizontalia kryptimi į dešinę (Fig. 5 atitinka tašką (17)), t.y. guli pluošto profilio trumpojoje ašyje; taškas N yra nutolęs nuo pluošto centro C vertikalia kryptimi į apačią, t.y. guli pluošto profilio ilgojoje ašyje. Pirmosios retroreflektoriaus prizmės (6) koordinatinių sistemoje (pozicija C2) pluošto profilio trumpoji ašis yra pasukta $-\theta$ kampu vidurio linijos (23)

atžvilgiu. Po vaizdo apvertimo pirmojo atspindžio metu (pozicija C3) pluošto profilio trumpoji ašis yra pasukta $+\theta$ kampu linijos (23) atžvilgiu. Pozicijoje C4 pereinama prie koordinačių sistemos, susietos su antrąja prizme (7): antrosios prizmės viršūnė (24) yra pasukta kampu φ pirmosios prizmės vidurio linijos (23) atžvilgiu, o pluošto profilio trumpoji ašis sudaro $+45$ laipsnių kampą su antrosios prizmės viršūne (24). Po vaizdo apvertimo antrojo ir trečiojo atspindžių metu (pozicija C5) pluošto profilio trumpoji ašis sudaro -45 laipsnių kampą su antrosios prizmės viršūne (24). Pozicijoje C6 grįžtama prie koordinačių sistemos, susietos su pirmąja prizme (6): pluošto profilio trumpoji ašis tampa pasukta $-(90^\circ - \theta)$ kampu pirmosios prizmės vidurio linijos (23) atžvilgiu. Po vaizdo apvertimo ketvirtojo atspindžio metu (pozicija C7) pluošto profilio trumpoji ašis yra pasukta $+(90^\circ - \theta)$ kampu vidurio linijos (23) atžvilgiu. Pozicijoje C8 matome pluošto vaizdą laboratorinėje koordinačių sistemoje, t.y. referencinėje plokštumoje g, kuri yra susieta su PŠG netiesiniu kristalu: pluošto profilio trumpoji ašis yra vertikali, o ilgoji ašis – horizontali; taškas M atsiduria pluošto profilio apačioje (Fig. 5 atitinka tašką (22)), o taškas N – pluošto profilio dešinėje. Atstumai nuo pluošto centro nepakinta. Palyginus pozicijas C1 ir C8, galime pasakyti, kad šio išradimo retroreflektorius sukeičia vertikaliąją šviesos pluošto profilio koordinatę su horizontaliąja, ir atvirkščiai. Taigi vaizdo prasme šio išradimo retroreflektorius atlieka tą pačią operaciją, kurią atlieka prototipo 45° kampu pasukta Porro prizmė. Fig. 5 ir Fig.6 pavaizduotas retroreflektorius, kai $\theta = +26^\circ$, o $\varphi = -19^\circ$. Bendruoju atveju toks 4-atspindžių retroreflektorius sukeičia į jį krentančio šviesos pluošto profilio vertikaliąją ir horizontaliąją koordinates vietomis, jei tik tenkinama sąlyga: $\theta - \varphi = \pm 45^\circ; \pm 135^\circ; \pm 225^\circ; \dots$ (sąlyga nr. (1))

Fig. 7 pavaizduota to paties spindulio trajektorija (17–22), pluoštui sklindant šio išradimo retroreflektoriais pagal Fig. 1, Fig. 3 arba Fig. 5, ir pažymėtos pozicijos D1-D9, kuriose stebėsime pluošto poliarizacijos pokyčius. Taip pat nupieštos koordinačių sistemos, kuriose bus stebima poliarizacija: XYZ_1 ir $-XYZ_5$ yra laboratorinės koordinačių sistemos, $P_1S_1Z_1$, $P_1S_1Z_2$, $P_3S_3Z_4$ bei $P_3S_3Z_5$ – koordinačių sistemos, susietos su pirmąja retroreflektoriaus prizme (6), o $P_2S_2Z_2$, $P_2S_2Z_3$ bei $P_2S_2Z_4$ – susietos su antrąja retroreflektoriaus prizme (7).

Fig. 8 pavaizduota, kaip kinta pluošto poliarizacija pluoštui keliaujant per šio išradimo retroreflektorių. Iliustracijos vaizduoja pluošto poliarizaciją: D1, D2 – prieš retroreflektorių, D3, D4 – po pirmojo atspindžio, D5 – po antrojo atspindžio, D6, D7 – po trečiojo atspindžio, D8, D9 – po ketvirtojo atspindžio, t.y. už retroreflektoriaus. Pozicijose D1 ir D9 poliarizacijos vektorius pavaizduotas koordinačių sistemose, susietose su referencine plokštuma g, t.y. laboratorinėse koordinačių sistemose, susietose su netiesiniu kristalu. Pozicijose D2-D8 poliarizacijos vektorius

arba elipsė pavaizduoti lokaliuose koordinačių sistemose, susietose su retroreflektoriaus atspindžio plokštumomis. Visą laiką yra žiūrima į pluošto sklaidimo kryptį.

Plokštumoje g krentančio šviesos pluošto poliarizacija yra tiesinė, o jos vektorius E_1 yra nukreiptas X ašies kryptimi (pozicija D1). Kadangi pirmoji retroreflektoriaus prizmė (6) yra pasukta laboratorinės koordinačių sistemos atžvilgiu, vektorius E_1 su prizmės (6) p ašimi (P_1) sudaro kampą θ (pozicija D2). Dėl visiškojo vidaus atspindžio s ir p poliarizacijos dedamosios patiria nevienodą fazės postūmį, tad po pirmojo atspindžio (pozicija D3), poliarizacija pavirsta elipsine. Poliarizacijos elipsės E_2 didžioji ir mažoji ašys sudaro tam tikrą kampą su P_1 ir S_1 ašimis. Antrosios prizmės (7) koordinačių sistemoje poliarizacijos elipsės E_2 ašys sudaro kitokį kampą su P_2 ir S_2 ašimis, dėl to s ir p dedamosios antrojo atspindžio metu nesutaps su s ir p dedamosiomis pirmojo atspindžio metu. Po antrojo atspindžio (pozicija D5) dėl patiriamą naujo fazių postūmio, pakinta poliarizacijos elipsės ašių dydis ir orientacija. 4-atspindžių retroreflektoriuje (pavaizduotame Fig. 1, Fig. 3, Fig. 5 ir Fig. 7) po antrojo atspindžio elipsės E_3 ašys sutampa su P_2 ir S_2 ašimis, o tai reiškia, kad tarp s ir p poliarizacijos dedamųjų yra susidaręs $\Delta\phi = \pi/2$ fazių skirtumas. Antrojo ir trečiojo atspindžių metu s ir p dedamosios sutampa, todėl trečiasis atspindys įneša tik papildomą fazių postūmį: pozicijoje C6 poliarizacijos elipsė E_4 pasisuka nauju kampu antrosios prizmės (7) ašių atžvilgiu – tokiu pačiu kampu kaip pozicijoje C4, tik simetriškai į priešingą pusę; E_4 elipsės matmenys sutampa su E_2 elipsės matmenimis. Pirmosios prizmės (6) koordinačių sistemoje prieš ketvirtąjį atspindį (pozicija C7) poliarizacijos elipsė E_4 yra pasukta nauju kampu – tokiu pačiu kampu kaip pozicijoje C3, tik simetriškai į priešingą pusę. s ir p dedamosios ketvirtojo atspindžio metu nesutampa su s ir p dedamosiomis antrojo ir trečiojo atspindžio metu, tačiau sutampa su s ir p dedamosiomis pirmojo atspindžio metu. Pozicijoje D8 dėl fazių postūmio ketvirtojo atspindžio metu, poliarizacija vėl pavirsta tiesine. Pluošto, praėjusio šio išradimo retroreflektorių, poliarizacijos vektorius E_5 su P_3 ašimi sudaro kampą θ , bet yra pasuktas į priešingą pusę nei vektorius E_1 ašies P_1 atžvilgiu; tai reiškia, kad po keturių atspindžių tarp s ir p poliarizacijos dedamųjų yra susidaręs $\Delta\phi = \pi$ fazių skirtumas. Po perėjimo į laboratorinę koordinačių sistemą (pozicija D9), matome, kad poliarizacijos vektorius E_5 yra nukreiptas $-X$ kryptimi. Vadinasi, vektorius E_5 yra antilygiagretus pradiniam vektoriui E_1 , t. y. jų fazės skiriasi per π . Nors retroreflektoriaus viduje tiesinė poliarizacija nėra išsaugoma, bet už retroreflektoriaus poliarizacija vėl yra tiesinė ir jos orientacija sutampa su pradine, skiriasi tik fazė. Taigi poliarizacijos prasme šio išradimo retroreflektorius atlieka tą pačią operaciją, kurią kartu atlieka du prototipo elementai – 45° kampu pasukta Porro prizmė ir $\lambda/2$ plokštelė.

Fig. 7 ir Fig. 8 iliustracijose pavaizduotas atvejis, kai $\theta = +26^\circ$, o $\varphi = -19^\circ$. Toks kampų rinkinys yra paskaičiuotas retroreflektoriui, kurio lūžio rodiklis $n = 1,455$ (pvz., lydytas kvarcas ties 710nm). Tai pačiai lūžio rodiklio vertei tinka ir kitas kampų rinkinys: $\theta = -26^\circ$, o $\varphi = +19^\circ$, pasikeis tik poliarizacijos elipsės ašių orientacija ir poliarizacijos vektoriaus sukimosi kryptis. Kai θ teigiamas, poliarizacija yra dešininė, kai θ neigiamas – kairinė (lėkio per retroreflektorių metu poliarizacijos vektoriaus sukimosi kryptis nebekinta).

Kiekvienai lūžio rodiklio vertei (tam tikrose ribose – 1,41 .. 1,554) egzistuoja keletas $\{\theta; \varphi\}$ sprendinių rinkinių, su kuriais įmanoma tenkinti sąlygą vaizdui (kad susikeistų vertikalioji ir horizontalioji koordinatės vietomis) ir sąlygą poliarizacijai (tiesinė poliarizacijos orientacija nepakistų). Kampo θ sprendinių spektras yra pavaizduotas Fig. 10. Modulio ženklas reiškia, kad prizmė gali būti sukama tiek pagal laikrodžio rodyklę, tiek ir prieš laikrodžio rodyklę. φ kampas surandamas iš:

$$\begin{cases} \theta - \varphi = +45^\circ; -135^\circ; +225^\circ; \dots, \text{ kai } \theta > 0; \\ \theta - \varphi = -45^\circ; +135^\circ; -225^\circ; \dots, \text{ kai } \theta < 0. \end{cases} \quad (2)$$

Pastaba: (2) sąlyga yra siauresė už (1) sąlygą. Kaip matome, gana plačiose lūžio rodiklio ribose galima pasiekti šio išradimo tikslus.

Kaip jau aptarta, ties vienu fiksuotu lūžio rodikliu šio išradimo retroreflektorius leidžia išlaikyti nekintančią tiesinę poliarizaciją, nepaisant to, kąd pluošto profilio dvi statmenosios koordinatės yra sukeičiamos vietomis. Derinamo dažnio spinduliuotės šaltiniuose reikia, kad nekintanti tiesinė poliarizacija būtų užtikrinama plačiame bangos ilgių diapazone.

Viena galimybė tai pasiekti yra tokia: prie skirtingų bangos ilgių pakeisti prizmių posūkio kampus, kas yra nepatogu, be to, gali sugadinti lazerio stabilumą.

Kita galimybė – optimizuoti retroreflektoriaus geometriją vienam centriniam bangos ilgiui ir nebekeisti jos. Gretimiems bangos ilgiams retroreflektorius „idealiai neveiks“, t.y. tiesinė poliarizacija nebus užtikrinta, atsiras tam tikra skersinė dedamoji, lemianti elipsinę poliarizaciją. Kalbant apie tokio retroreflektoriaus poveikį tiesinės poliarizacijos pluoštui, kai retroreflektorius yra laisvoje erdvėje (kalbama apie retroreflektorių kaip apie atskirą optinį elementą), galima sakyti, kad pabloginamas pluošto poliarizacijos grynumas. Kalbant apie tokio retroreflektoriaus poveikį tiesinės poliarizacijos pluoštui, kai retroreflektorius yra panaudotas rezonatoriuje, galima sakyti, kad įnešami depoliarizaciniai nuostoliai rezonuojančiai bangai, nes stiprinimas aktyvioje terpėje (paprasto lazerio atveju) ar netiesiniame kristale (parametrinio šviesos generatoriaus

atveju) yra jautrus poliarizacijai. Bendru atveju terminu „depolarizaciniai nuostoliai“ galima pavadinti dviejų statmenų poliarizacijos dedamųjų intensyvumų santykį: $|E_H|^2/|E_V|^2 \cdot 100\%$.

Parinkus medžiagą su maža lūžio rodiklio dispersija, plačiame bangos ilgių diapazone depolarizaciniai nuostoliai yra maži – mažesni, negu galima būtų gauti retroreflektoriaus, sudaryto iš Porro prizmės ir bangų plokštelės kombinacijos, pagalba. Depolarizaciniai nuostoliai kaip funkcija nuo spinduliuotės bangos ilgio yra parodyti Fig. 11. Tai yra tik pavyzdinė kreivė, iliustruojanti, kad retroreflektorius, pagamintas iš lydyto kvarco ir optimizuotas 710nm bangos ilgio spinduliuotei ($|\theta| = 26^\circ$, $|\varphi| = 19^\circ$), užtikrina depolarizacinius nuostolius ne didesnius kaip 1,5 % bangos ilgių diapazone nuo 400nm iki 2300nm (BBO netiesinio kristalo parametrinės generacijos sritis). Geresnis kaip 100:1 poliarizacijos grynumas užtikrinamas iki 2100 nanometrų. Keičiant retroreflektoriaus geometriją, mažų nuostolių diapazonas yra nesunkiai valdomas.

Parametrinės sąveikos metu abi sugeneruotos bangos – tiek signalinė banga, tiek ir šalutinė banga – pasižymės aukšta pluošto kokybe ir gryna tiesine poliarizacija.

Kai netiesinis kristalas yra II tipo, signalinė ir šalutinė bangos yra statmenų poliarizacijų (pavyzdžiui, signalinė – vertikalios, šalutinė – horizontalios poliarizacijos). Kadangi pluošto kokybės gerinimo metu, t.y. vaizdo sukiojimo metu, abiejų bangų poliarizacijos nėra sugadinamos ir išlieka tarpusavyje statmenos, signalinės ir šalutinės bangų atskyrimui gali būti naudojamas poliarizatorius. Tai ypač aktualu kolinearios parametrinės sąveikos atveju, nes signalinė ir šalutinė bangos sklinda tuo pačiu optiniu keliu. Kai bangos ilgiai labai skiriasi, tai alternatyviai galima naudoti ir poliarizatorių, ir spektro daliklį minėtų bangų atskyrimui. Kai dirbama arti išsigimusio režimo, t.y. signalinės ir šalutinės bangų ilgiai artimi, pavyzdžiui, 709nm ir 711nm, tai poliarizatoriaus panaudojimas minėtų bangų atskyrimui yra tiesiog būtinybė. Poliarizatorius gali atskirti net ir labai artimo bangos ilgio spinduliuotę, ko negali žinomi spektriniai dalikliai, – svarbiausia, kad skirtingų spektrinių komponentų poliarizacija būtų statmena. Taigi šio išradimo parametrinis šviesos generatorius su daugiafunkciniu retroreflektoriumi leidžia panaudoti poliarizatorių signalinės ir šalutinės bangų atskyrimui be trūkio derinimo kreivėje (net ir arti išsigimusio režimo).

Visos pateiktos iliustracijos yra tik keli šio išradimo realizacijos pavyzdžiai. Kiti parametrinio šviesos generatoriaus su kitomis daugiafunkcinių retroreflektorių konfigūracijomis variantai, kurie nenukrypsta nuo šio išradimo esmės bei apimtys, yra saugomi šiuo išradimu.

IŠRADIMO APIBRĖŽTIS

1. Parametrinis šviesos generatorius, turintis optinį rezonatorių su dviem galiniais veidrodžiais ir tarp jų išdėstytu netiesiniu kristalu, kaupinimo bangos įvedimo į rezonatorių priemonę bei signalinės ir šalutinės bangos išvedimo iš rezonatoriaus priemonės, kuriame optinis rezonatorius kiekvieno pilno šviesos pluošto apėjimo metu sukeičia pluošto profilio vertikaliąją ir horizontaliąją koordinates vietomis bei išsaugoja šviesos pluošto tiesinę poliarizaciją, besiskiriantis tuo, kad rezonatoriaus vienas iš galinių veidrodžių yra daugiafunkcinis retroreflektorius, kuris kartu su šviesos pluošto atspindėjimo atgal funkcija vykdo ir minėto pluošto profilio vertikaliosios ir horizontaliosios koordinatų sukeitimą vietomis bei užtikrina nekintančią šviesos pluošto tiesinę poliarizaciją.
2. Parametrinis šviesos generatorius pagal 1 punktą, besiskiriantis tuo, kad rezonatoriaus daugiafunkcinis galinis retroreflektorius yra skaidrios medžiagos elementas, turintis ne mažiau kaip keturias visiškojo vidaus atspindžio plokštumas, kurios erdvėje išdėstytos taip, kad krentantis šviesos pluoštas, atsispindėjęs nuo kiekvienos visiškojo vidaus atspindžio plokštumos, kartu su vaizdo apvertimu patiria ir fazės postūmį tarp statmenosios (s) ir lygiagrečiosios (p) poliarizacijos dedamųjų, o po paskutiniojo atspindžio atgal grįžtančio pluošto profilio vertikalioji ir horizontalioji koordinatės susikeičia vietomis bei patirtas suminis minėtas fazės postūmis užtikrina tiesinę, sutampančią su pradine, poliarizaciją.
3. Parametrinis šviesos generatorius pagal 2 punktą, besiskiriantis tuo, kad rezonatoriaus daugiafunkcinį galinį retroreflektorių sudaro dvi stačiosios prizmės, pasuktos viena kitos ir krentančio pluošto tiesinės poliarizacijos vektoriaus atžvilgiu taip, kad krentantis pluoštas, sklisdamas tokia prizmių pora, patiria keturis paminėtus visiškuosius vidaus atspindžius.
4. Parametrinis šviesos generatorius pagal 2 punktą, besiskiriantis tuo, kad rezonatoriaus daugiafunkcinį galinį retroreflektorių sudaro monolitinis optinis elementas, kuriame krentantis pluoštas patiria ne mažiau kaip keturis paminėtus visiškuosius vidaus atspindžius.
5. Parametrinis šviesos generatorius pagal bet kurį iš 1 – 4 punktų, besiskiriantis tuo, kad rezonatoriaus kitas galinis veidrodis yra plokščiasis veidrodis.

LT 5597 B

6. Parametrinis šviesos generatorius pagal bet kurį iš 1 – 4 punktų, besiskiriantis tuo, kad rezonatoriaus kitas galinis veidrodis yra vaizdą apverčianti prizmė.

7 Parametrinis šviesos generatorius pagal 6 punktą, besiskiriantis tuo, kad vaizdą apverčianti prizmė yra Porro prizmė, kuri derinyje su daugiafunkciniu retroreflektoriumi pasuka šviesos pluošto vaizdą 90° kampu kiekvieno rezonatoriaus pilno apėjimo metu.

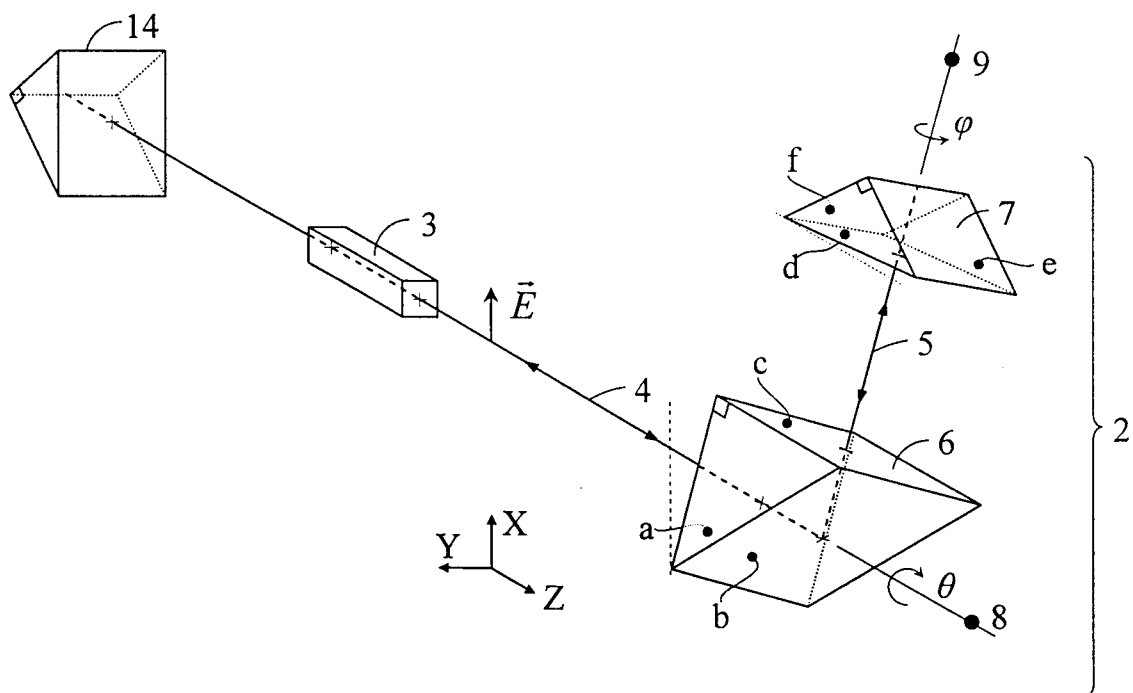


Fig. 3

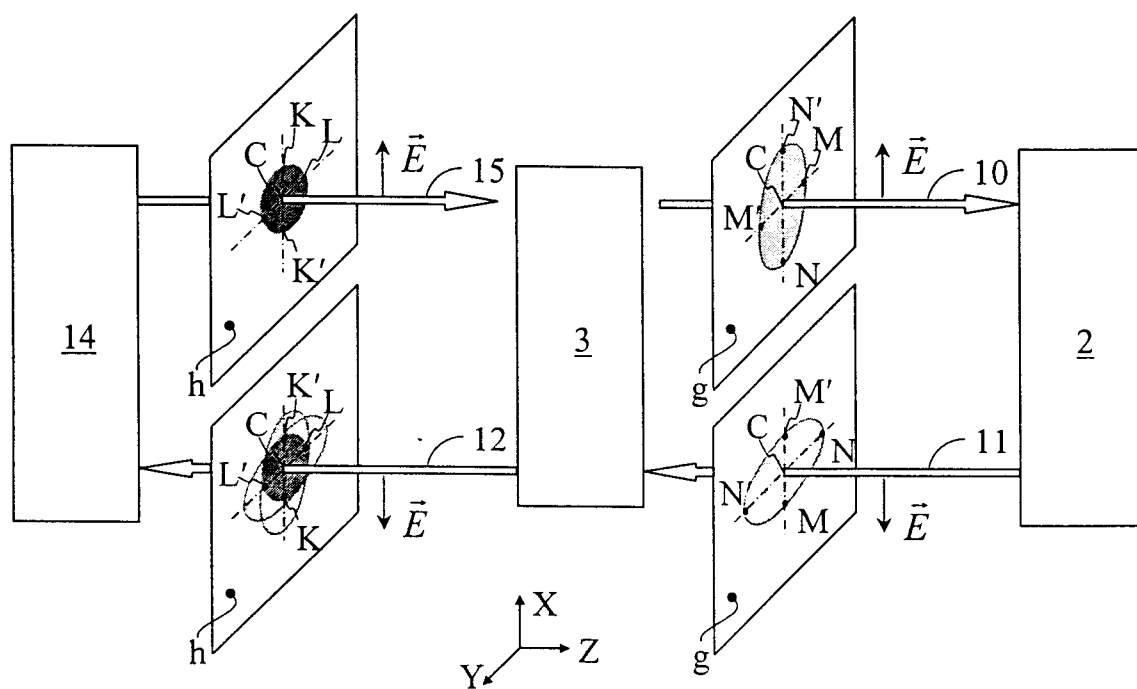


Fig. 4

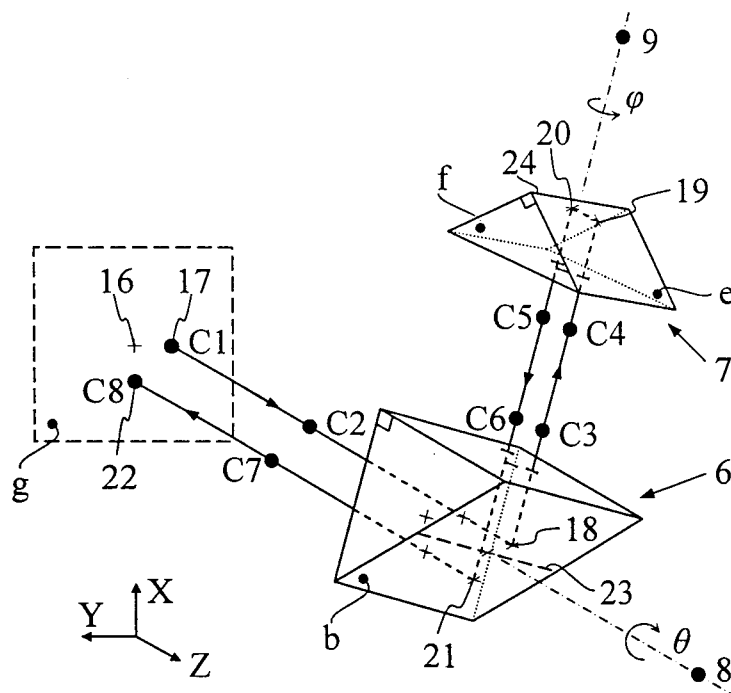


Fig. 5

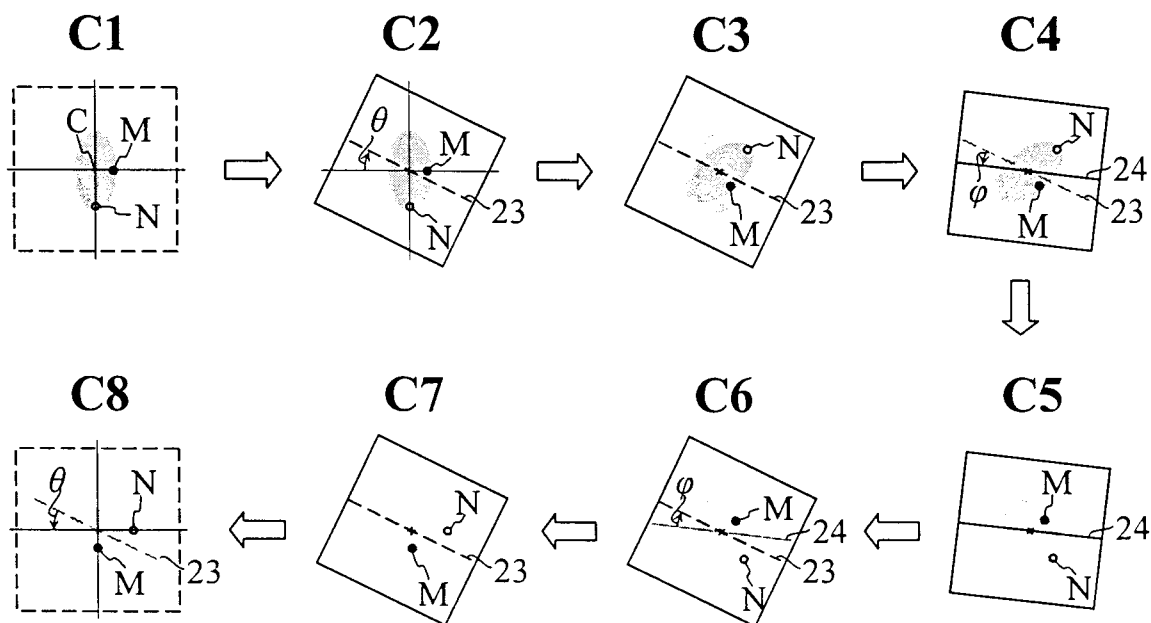


Fig. 6

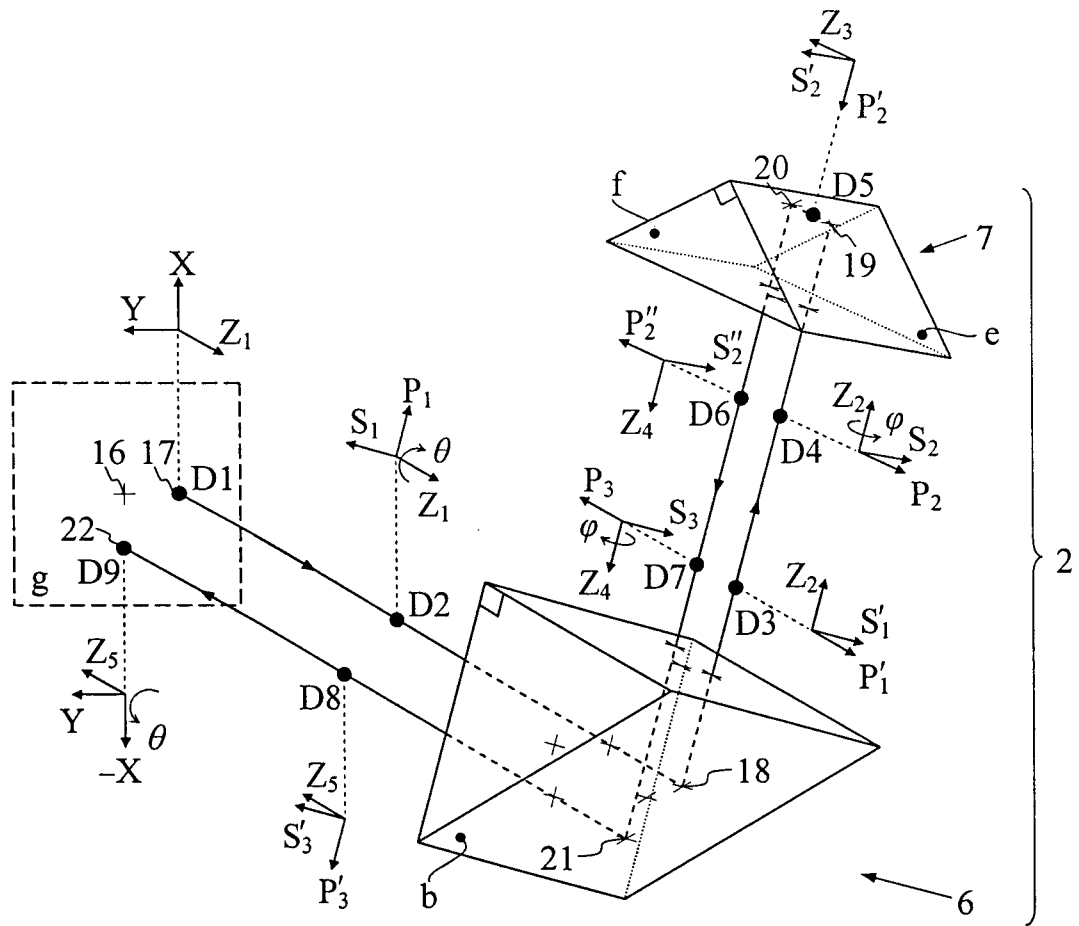


Fig. 7

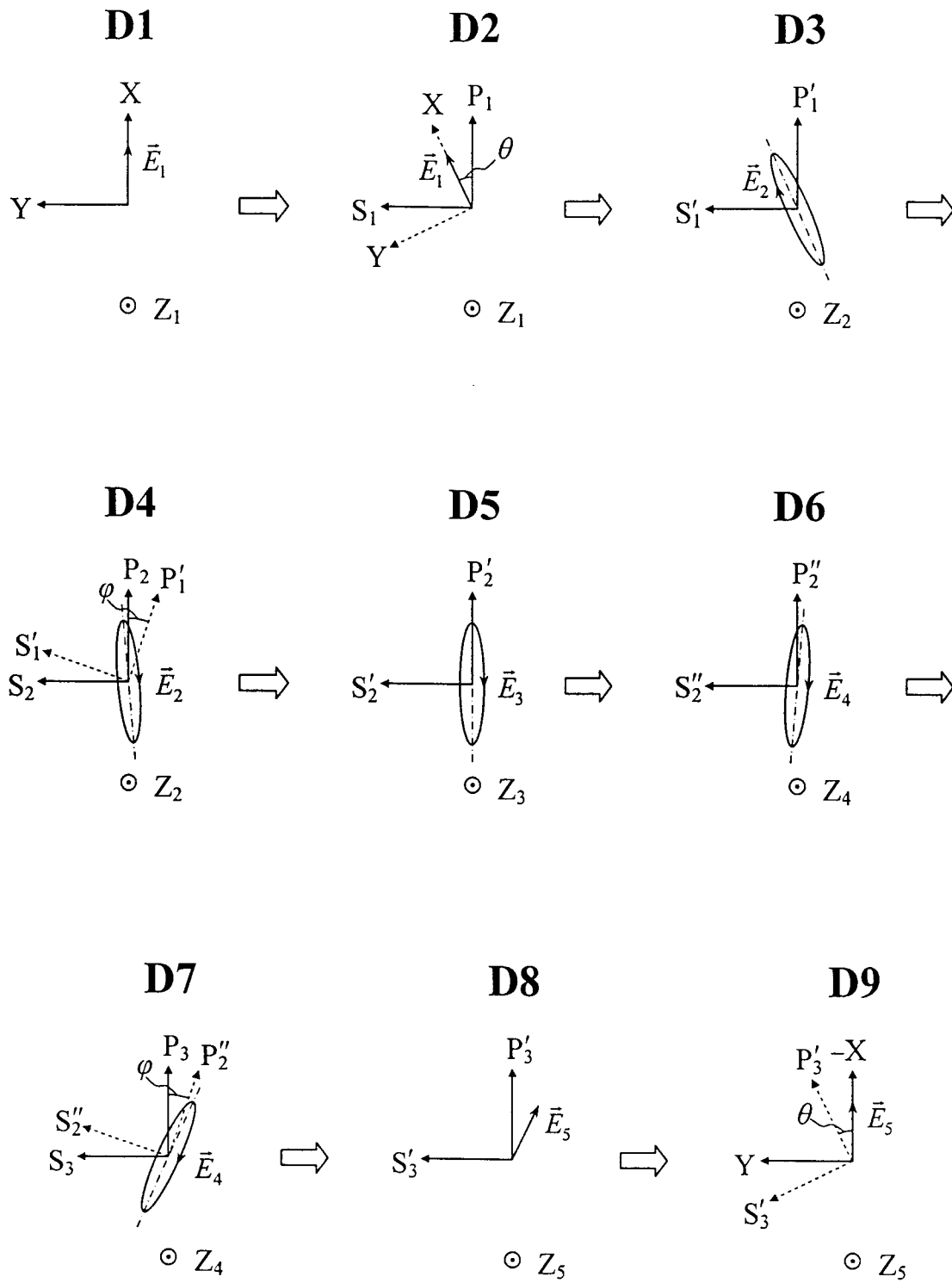
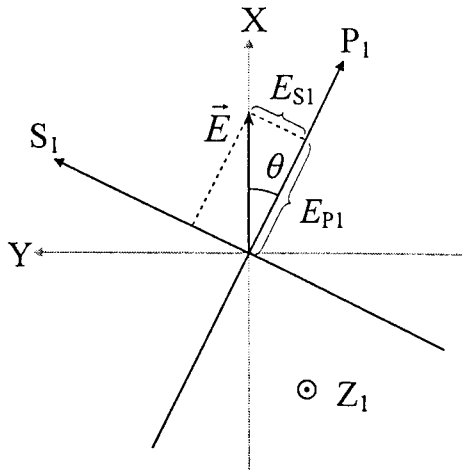
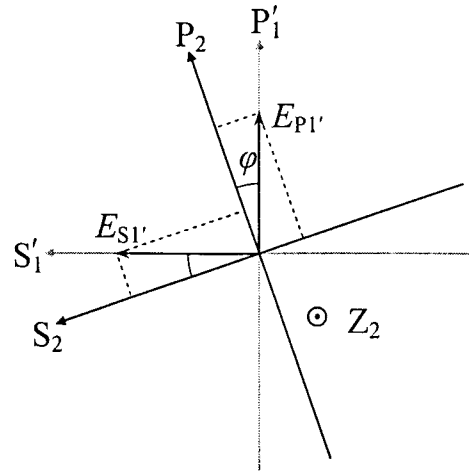


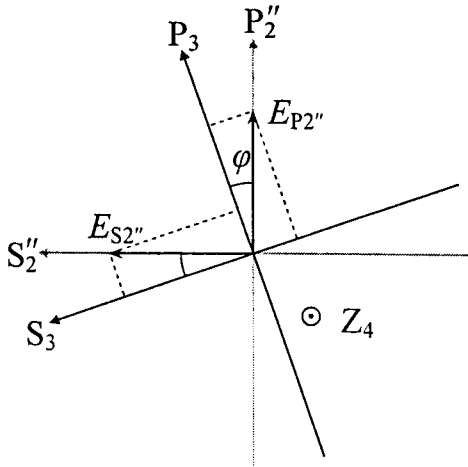
Fig. 8



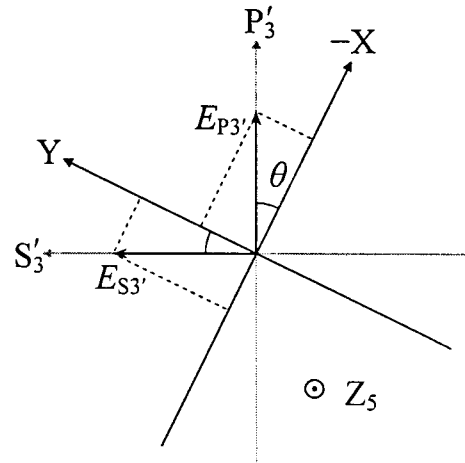
$$\begin{cases} E_{P1} = \cos \theta; \\ E_{S1} = \sin \theta. \end{cases}$$



$$\begin{cases} E_{P2} = E_{P1'} \cdot \cos \varphi + E_{S1'} \cdot \sin \varphi; \\ E_{S2} = -E_{P1'} \cdot \sin \varphi + E_{S1'} \cdot \cos \varphi. \end{cases}$$

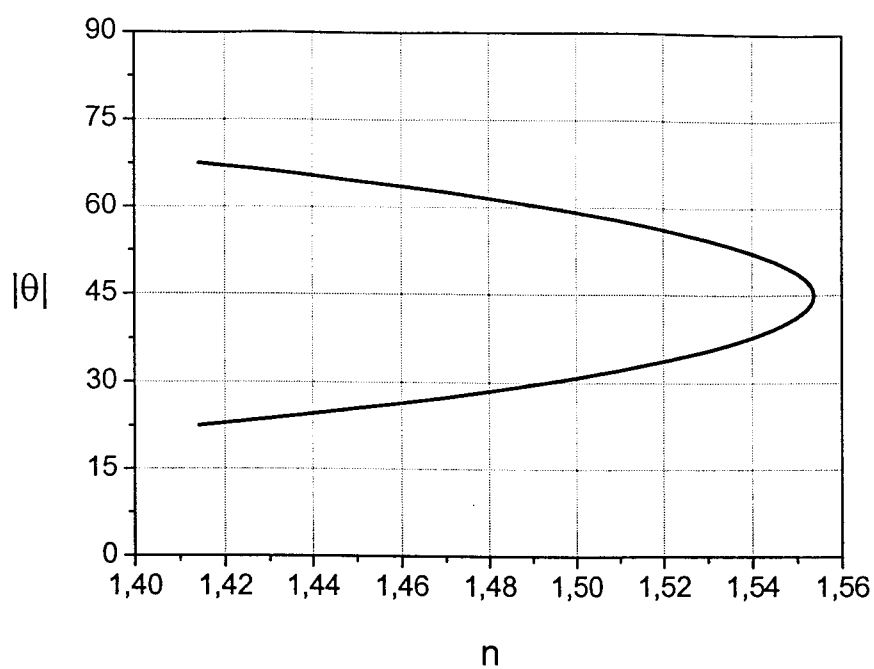
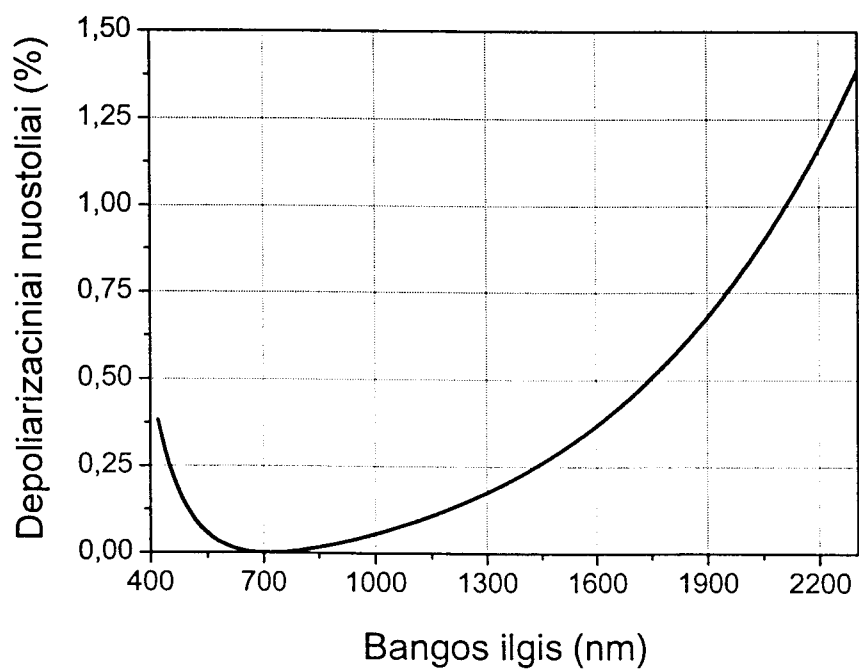


$$\begin{cases} E_{P3} = E_{P2''} \cdot \cos \varphi + E_{S2''} \cdot \sin \varphi; \\ E_{S3} = -E_{P2''} \cdot \sin \varphi + E_{S2''} \cdot \cos \varphi. \end{cases}$$



$$\begin{cases} E_{-X} = E_{P3'} \cdot \cos \theta - E_{S3'} \cdot \sin \theta; \\ E_Y = E_{P3'} \cdot \sin \theta + E_{S3'} \cdot \cos \theta. \end{cases}$$

Fig. 9

**Fig. 10****Fig. 11**