

(19)



(10) **LT 5479 B**

(12) **PATENTO APRAŠYMAS**

- (11) Patent numeris: **5479** (51) Int. Cl. (2006): **G11B 7/09**
- (21) Paraiškos numeris: **2006 041**
- (22) Paraiškos padavimo data: **2006 05 29**
- (41) Paraiškos paskelbimo data: **2007 12 27**
- (45) Patent paskelbimo data: **2008 03 26**
- (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:  
**Kęstutis REGELSKIS, LT**  
**Valerijus SMILGEVIČIUS, LT**  
**Gediminas RAČIUKAITIS, LT**
- (73) Patent savininkas:  
**FIZIKOS INSTITUTAS, Savanorių pr. 231, LT-02300 Vilnius, LT**  
**VILNIAUS UNIVERSITETAS, Universiteto g. 3, LT-01513 Vilnius, LT**
- (74) Patentinis patikėtinis/atstovas:  
**Virgina Adolfina DRAUGELIENĖ, A.P.Kavoliuko g. 24-152, LT-04328 Vilnius, LT**

- (54) Pavadinimas:

**Fokusavimo klaidos nustatymo būdas ir įrenginys**

- (57) Referatas:

Išradimas priklauso optinių technologijų sričiai ir yra skirtas fokusavimo klaidos nustatymo būdams ir įrenginiams, kai į medžiagos paviršių nukreipiamas ir fokusuojamas koherentinės šviesos pluoštas, pagrįstas to paviršiaus atspindėtos šviesos pluošto erdvinio intensyvumo skirstinio registravimu. Registruojamas koherentinės šviesos pluoštas yra transformuotas į sūkurinį šviesos pluoštą, kurio intensyvumo skirstinys yra moduluotas azimutinės koordinatės kryptimi, o fokusavimo klaidą nustato registravimo plokštumoje pagal sūkurinio šviesos pluošto erdvinio intensyvumo skirstinio pasisukimo kampą atžvilgiu pradinės azimutinės koordinatės, kuri atitinka tikslią fokusavimo padėtį minėtos medžiagos paviršiuje, o pasisukimo kampo vertė priklauso nuo fokusavimo tikslios padėties nukrypimo nuo medžiagos paviršiaus.

Išradimas priklauso optinių technologijų sričiai ir yra skirtas fokusavimo klaidos nustatymo būdams ir įrenginiams, kai į medžiagos paviršių nukreipiamas ir fokusuojamas koherentinės šviesos pluoštas, pagrįstas to paviršiaus atspindėtos šviesos pluošto erdvinio intensyvumo skirstinio registravimu ir gali būti panaudotas duomenų nuskaitymo ir įrašymo į optines laikmenas įrenginiuose, lazerinio medžiagų apdirbimo įrenginiuose, konfokaliniuose mikroskopuose.

Yra žinomas fokusavimo klaidos nustatymo būdas, kai į medžiagos paviršių nukreipiamas ir fokusuojamas koherentinės šviesos pluoštas, apimantis atspindėto nuo minėto paviršiaus šviesos pluošto atskyrimą, astigmatinį fokusavimą bei erdvinio intensyvumo skirstinio registravimą, nustatant fokusavimo klaidą pagal registravimo plokštumoje gauto astigmatiškai sufokusuoto pluošto elipsės formos erdvinio intensyvumo skirstinio nukrypimus nuo apskritimo formos, kuri atitinka tikslią fokusavimo minėtos medžiagos paviršiuje padėtį (žiūrėti išradimo aprašymą pagal Japonijos patentą Nr.59033643).

Yra žinomas fokusavimo klaidos nustatymo įrenginys, kai į medžiagos paviršių nukreipiamas ir fokusuojamas koherentinės šviesos pluoštas, apimantis atspindėtos nuo minėto paviršiaus koherentinės šviesos pluošto kelyje esančią optinę sistemą, kuri turi šviesos daliklį, atskiriantį atspindėtą šviesos pluoštą bei jį nukreipiantį per astigmatiškai fokusuojančią zoninę plokštelę į segmentinį fotodiodą, o fokusavimo klaidą nustato pagal fotodiodo registravimo plokštumoje gauto astigmatiškai sufokusuoto pluošto elipsės formos erdvinio intensyvumo skirstinio nukrypimus nuo apskritimo formos, kuri atitinka tikslią fokusavimo minėtame medžiagos paviršiuje padėtį (žiūrėti išradimo aprašymą pagal Japonijos patentą Nr.59033643).

Žinomo būdo ir įrenginio trūkumas yra tas, kad fokusavimo klaidos perdavimo į detektuojamą signalą, gautą nustatant pluošto elipsės formos erdvinio intensyvumo

skirstinio nukrypimus nuo apskritimo formos, funkcija nėra simetrinė teigiamiems ir neigiamiems optinio židinio nuokrypiams, o tai mažina fokusavimo klaidos nustatymo tikslumą.

Be to, fokusavimo klaidos nustatymas, pagrįstas registravimo plokštumoje gaunamų pluošto erdvinio intensyvumo elipsės formos skirstinio nukrypimų nuo apskritimo formos registravimu bei jų palyginimu, dėl gaunamų vaizdų mažo kontrasto turi mažą jautrumą bei šis jautrumas negali būti pasirenkamas.

Žinomame įrenginyje naudojama zoninė plokštelė pluoštą fokusuoja ne vien tik astigmatiškai, bet jį ir defokusuoja, dėl to sumažėja klaidos nustatymo įrenginio jautrumas ir tikslumas.

Artimiausias pagal techninį sprendimą yra žinomas fokusavimo klaidos nustatymo būdas, kai į medžiagos paviršių nukreipiamas ir fokusuojamas koherentinės šviesos pluoštas, apimantis atspindėto nuo minėto paviršiaus šviesos pluošto atskyrimą, astigmatinį fokusavimą bei pluošto erdvinio intensyvumo skirstinio registravimą, nustatant fokusavimo klaidą pagal registravimo plokštumoje gauto astigmatiškai sufokusuoto pluošto elipsės formos erdvinio intensyvumo skirstinio nukrypimus nuo apskritimo formos, kuri atitinka tikslią fokusavimo minėtame medžiagos paviršiuje padėtį (žiūrėti išradimo aprašymą pagal Japonijos patentą Nr.58200442).

Artimiausias pagal techninį sprendimą yra žinomas fokusavimo klaidos nustatymo įrenginys, kai į medžiagos paviršių nukreipiamas ir fokusuojamas koherentinės šviesos pluoštas, apimantis atspindėtos nuo minėto paviršiaus koherentinės šviesos pluošto kelyje išdėstytą optinę sistemą, kuri turi šviesos daliklį, atskiriantį atspindėtą šviesos pluoštą bei jį nukreipiantį į fokusavimo priemonę, susidedančią iš dviejų, nedideliu atstumu atskirtų ir statmenai sukryžiuotų cilindrinų lęšių, simetriškai tarp minėtų cilindrinų lęšių židinių išdėstytą segmentinį fotodiodą, registruojantį pluošto erdvinį intensyvumo skirstinį, o fokusavimo klaidą nustato pagal registruojamoje plokštumoje esančio pluošto elipsės formos erdvinio intensyvumo skirstinio nukrypimus nuo apskritimo formos, kuri atitinka

tikslią fokusavimo minėtame medžiagos paviršiuje padėtį (žiūrėti išradimo aprašymą pagal Japonijos patentą Nr. 58200442).

Žinomo būdo ir įrenginio trūkumas yra mažas tikslumas dėl to, kad fokusavimo klaidos perdavimo į detektuojamą klaidos signalą, gautą lyginant registravimo plokštumoje registruojamus pluošto erdvinio intensyvumo skirstinio elipsės formos nukrypimus nuo apskritimo formos, funkcija nėra simetrinė teigiamiems ir neigiamiems optinio židinio nuokrypams.

Be to, šiuo būdu registravimo plokštumoje gaunami bei registruojami šviesos pluošto erdvinio intensyvumo skirstinio elipsės formos nukrypimai nuo apskritimo formos yra mažo kontrasto ir dėl to žinomas įrenginys ir būdas turi mažą jautrumą bei šis jautrumas negali būti pasirenkamas.

Įrenginiui reikalingi brangūs cilindriniai lęšiai, sudėtingas jų suderinimas, dėl to žymiai padidėja jo savikaina.

Išradimu siekiama sukurti didesnio jautrumo ir tikslumo bei mažesnės savikainos fokusavimo klaidos nustatymo būdą bei įrenginį.

Uždavinio sprendimo esmė yra ta, kad fokusavimo klaidos nustatymo būde, kai į medžiagos paviršių nukreipiamas ir fokusuojamas koherentinės šviesos pluoštas, apimančiame nuo minėto paviršiaus atspindėto koherentinio šviesos pluošto atskyrimą, fokusavimą bei pluošto erdvinio intensyvumo skirstinio registravimą, nustatant fokusavimo klaidą pagal registruojamo šviesos pluošto erdvinio intensyvumo skirstinio pakitimus registravimo plokštumoje, registruojamas koherentinės šviesos pluoštas yra transformuotas į sukurinį šviesos pluoštą, kurio erdvinis intensyvumo skirstinys yra moduluotas azimutinės koordinatės kryptimi, o fokusavimo klaidą registravimo plokštumoje nustato pagal sukurinio šviesos pluošto erdvinio intensyvumo skirstinio pasisukimo kampą atžvilgiu pradinės azimutinės koordinatės, kur pasisukimo kampo vertė priklauso nuo fokusavimo tikslios padėties nukrypimo nuo medžiagos paviršiaus.

Siūlomo būdo privalumas yra tas, kad fokusavimo židinio nuokrypio nuo medžiagos paviršiaus perdavimo į generuojamą klaidos signalą, gautą registravimo plokštumoje matuojant pluošto erdvinio intensyvumo skirstinio pasisukimo kampą atžvilgiu pradinės azimutinės koordinatės, funkcija yra simetrinė teigiamiems ir neigiamiems optinio židinio nuokrypiams ir dėl to padidėja fokusavimo klaidos nustatymo tikslumas.

Be to, funkcinis ryšys tarp generuojamo fokusavimo klaidos signalo ir fokusavimo židinio nuokrypio nuo medžiagos paviršiaus gali būti pasirenkamas priklausomai nuo sūkurinio pluošto kompleksinės amplitudės, todėl atsiranda galimybė pasirinkti reikiamą fokusavimo klaidos nustatymo jautrumą.

Koherentinės šviesos pluoštas transformuojamas į sūkurinį pluoštą prieš nukreipiant jį į medžiagos paviršių.

Koherentinės šviesos pluoštas transformuojamas į sūkurinį pluoštą po jo atspindėjimo nuo medžiagos paviršiaus.

Fokusavimo klaidos nustatymo įrenginyje, kai į medžiagos paviršių nukreipiamas ir fokusuojamas koherentinės šviesos pluoštas, apimančiame atspindėtos nuo minėto paviršiaus koherentinės šviesos pluošto kelyje esančią optinę sistemą, kuri turi šviesos daliklį, atskiriantį atspindėtą šviesos pluoštą bei nukreipiantį per fokusavimo priemonę į šviesos pluošto erdvinio intensyvumo skirstinio registravimo priemonę, kuri nustato fokusavimo klaidą pagal registruojamo šviesos pluošto erdvinio intensyvumo skirstinio pakitimus registravimo plokštumoje, koherentinės šviesos pluošto kelyje yra priemonė, transformuojanti šviesos pluoštą į sūkurinį šviesos pluoštą, kurio erdvinis intensyvumo skirstinys yra moduluotas azimutinės koordinatės kryptimi, bei kuris perduodamas į minėtą registravimo priemonę, o fokusavimo klaidą nustato pagal registravimo plokštumoje sūkurinio šviesos pluošto erdvinio intensyvumo skirstinio pasisukimo kampą atžvilgiu pradinės azimutinės koordinatės, kur pasisukimo kampo vertė priklauso nuo fokusavimo tikslios padėties nukrypimo nuo medžiagos paviršiaus.

Siūlomo įrenginio privalumas yra tas, kad fokusavimo klaidos perdavimo į generuojamą klaidos signalą, gautą registravimo plokštumoje matuojant pluošto erdvinio intensyvumo skirstinio pakrypimo kampą nuo pradinės azimutinės koordinatės, funkcija yra simetrinė teigiamiems ir neigiamiems optinio židinio nuokrypiams ir dėl to padidėja fokusavimo klaidos nustatymo tikslumas.

Be to, funkcinis ryšys tarp generuojamo fokusavimo klaidos signalo ir fokusavimo židinio nuokrypio nuo medžiagos paviršiaus gali būti pasirenkamas priklausomai nuo sūkurinio pluošto kompleksinės amplitudės, todėl atsiranda galimybė pasirinkti reikiamą fokusavimo klaidos nustatymo jautrumą.

Be to, įrenginiui nereikalingi brangūs lęšiai bei jų suderinimas, dėl to sumažėja įrenginio savikaina.

Minėta šviesos pluošto transformavimo į sūkurinį pluoštą priemonė yra išdėstyta šviesos pluošto, nukreipiamo į minėtos medžiagos paviršių, kelyje.

Minėta šviesos pluošto transformavimo į sūkurinį pluoštą priemonė yra išdėstyta šviesos pluošto, atspindėto nuo minėtos medžiagos paviršiaus, kelyje.

Šviesos pluošto transformavimo į sūkurinį pluoštą priemonė yra holografinė plokštelė.

Šviesos pluošto transformavimo į sūkurinį pluoštą priemonė yra fazinė plokštelė.

Detaliau išradimas paaiškinamas brėžiniais, kuriuose pavaizduota:

Fig. 1 – pasiūlyto fokusavimo klaidos nustatymo įrenginio optinė schema, pirmas variantas.

Fig.2 – pasiūlyto fokusavimo klaidos nustatymo įrenginio optinė schema, antras variantas.

Fig. 3 – sūkurinio šviesos pluošto intensyvumo skirstinio vaizdai registravimo plokštumoje.

Fig. 4 – holografinė plokštelė.

Fig. 5 – fokusavimo klaidos perdavimo į generuojamą klaidos signalą funkcija, naudojant holografinę plokštelę sūkuriniam pluoštui gauti.

Fig. 6 – fazinė plokštelė.

Siūlomas fokusavimo klaidos nustatymo būdas apima toliau nurodytą operacijų seką. Į medžiagos paviršių nukreipia ir fokusuoja sūkurinį koherentinės šviesos pluoštą, kurio erdvinio intensyvumo skirstinys yra moduluotas azimutinės koordinatės kryptimi. Nuo minėto medžiagos paviršiaus atspindėtą koherentinį šviesos sūkurinį pluoštą atskiria, jį fokusuoja bei registruoja jo erdvinio intensyvumo skirstinio vaizdą, o fokusavimo klaidą nustato pagal registravimo plokštumoje sūkurinio šviesos pluošto erdvinio intensyvumo skirstinio pasisukimo kampą atžvilgiu pradinės azimutinės koordinatės, kuri atitinka tikslią fokusavimo padėtį minėtos medžiagos paviršiuje, o pasisukimo kampo vertė priklauso nuo fokusavimo tikslios padėties nukrypimo nuo medžiagos paviršiaus.

Kitas fokusavimo klaidos nustatymo būdo variantas skiriasi nuo aukščiau aprašytojo tuo, kad koherentinės šviesos pluošto transformavimą į sūkurinį pluoštą atlieka po atspindėto koherentinės šviesos pluošto atskyrimo.

Siūlomas fokusavimo klaidos nustatymo įrenginys, kai iš koherentinės šviesos šaltinio, pavyzdžiui lazerio (1), į medžiagos paviršių nukreipiamas ir fokusuojamas koherentinės šviesos pluoštas (Fig.1), apima minėto šviesos pluošto kelyje esančią koherentinės šviesos pluošto transformavimo į sūkurinį pluoštą, kurio intensyvumo skirstinys yra moduluotas azimutinės koordinatės kryptimi, priemonę (2), kuri per šviesos daliklį (3) sūkurinį šviesos pluoštą nukreipia į objektyvą (4). Objektyvas (4) sūkurinį šviesos pluoštą fokusuoja į medžiagos paviršių (5). Nuo medžiagos paviršiaus (5) atspindėto pluošto kelyje esantis objektyvas (4), nukreipia pluoštą į šviesos daliklį (3), atskiriantį atspindėtą nuo minėto paviršiaus (5) pluoštą bei nukreipiantį į lęšį (6). Objektyvas (4) ir lęšis (6) sudaro 4F

sistemą arba teleskopą. Sudarytu teleskopu sukurinio pluošto vaizdas medžiagos paviršiuje (5) yra perkeliamas į registruojančią priemonę, būtent segmentinį fotodiodą (7), sudarytą iš keturių segmentų: A, B, C ir D. Koherentinės šviesos pluošto transformavimo į sukurinį pluoštą, kurio intensyvumo skirstinys yra moduluotas azimutinės koordinatės kryptimi, priemonė (2) gali būti holografinė plokštelė t.y. kompiuteriu suprojektuota amplitudinė difrakcinė gardelė, turinti dvi dislokacijas (Fig.4). Be to, minėta priemonė (2) taip pat gali būti fazinė plokštelė (Fig.6), modų keitiklis ir kt.

Fig. 2 pavaizduotas siūlomo fokusavimo klaidos nustatymo įrenginio kitas variantas, kuris skiriasi nuo aukščiau aprašytojo tuo, kad šviesos pluošto transformavimo į sukurinį pluoštą, kurio intensyvumo skirstinys yra moduluotas azimutinės koordinatės kryptimi, priemonė (2), yra išdėstyta nuo medžiagos paviršiaus atspindėto pluošto kelyje tarp šviesos daliklio (3) ir lęšio (6).

Tiksli objektyvo (4) židinio padėtis medžiagos paviršiuje (5) atitinka registravimo plokštumoje pluošto erdvinio intensyvumo skirstinio vaizdą (9) (Fig.3), kuriam esant fotodiodo (7) generuojamas fokusavimo klaidos signalas (FKS) yra lygus nuliui. Esant objektyvo (4) židinio padėties nukrypimams nuo medžiagos paviršiaus (5), minėto skirstinio vaizdas registravimo plokštumoje atitinka , pavyzdžiui, vaizdą (8) arba (10) (Fig.3). Priklausomai nuo to ar židinis yra prieš ar už medžiagos paviršiaus (5), fotodiodo (7) generuojamas (FKS) atitinkamai yra neigiamas arba teigiamas .

Fokusavimo klaidos nustatymo įrenginio (Fig.1, Fig.2) veikimo principas yra pagrįstas tuo, kad fokusavimo klaidą nustato pagal sukurinio šviesos pluošto, kurio erdvinis intensyvumo skirstinys yra moduluotas azimutinės koordinatės kryptimi, pasisukimo kampą segmentinio fotodiodo (7) registravimo plokštumoje. Šviesos pluoštas, sklisdamas per transformavimo priemonę (2), pavyzdžiui per kompiuteriu suprojektuotą amplitudinę difrakcinę gardelę (Fig.4), transformuojasi į sukurinį pluoštą. Suformuotas sukurinis šviesos pluoštas sklisdamas erdve sukasi. Sukurinio pluošto pasisukimo kampas yra registruojamas segmentiniu fotodiodu (7), kuris sudarytas iš keturių segmentų: A, B, C ir D. Segmentinio fotodiodo (7) atskirų segmentų apšviestumas priklauso nuo sukurinio pluošto, moduluoto azimutinės koordinatės kryptimi, pasisukimo kampo. Fokusavimo

klaida t.y. objektyvo (4) židinio padėties nuokrypis nuo medžiagos paviršiaus (5), nustatomas pagal segmentinio fotodiodo (7) generuojamą fokusavimo klaidos signalą (FKS). FKS yra apibrėžiamas taip:  $FKS = (V_A + V_C) - (V_B + V_D)$ , kur  $V_A$ ,  $V_C$ ,  $V_B$  ir  $V_D$  yra fotodiodo (7) atitinkamų segmentų A, C, B ir D įtampa arba apšviestumas. Esant tiksliai objektyvo (4) židinio padėčiai medžiagos paviršiaus (5) atžvilgiu, fotodiodo (7) generuojamas FKS yra lygus nuliui, o esant objektyvo (4) židinio padėties nuokrypiui, fotodiodo (7) generuojamas FKS yra nelygus nuliui ir FKS ženklas priklauso nuo to ar objektyvo (4) židinis yra prieš ar už medžiagos paviršiaus.

Vienas iš pavyzdžių sūkurinio pluošto, kurio erdvinis intensyvumo skirstinys yra moduluotas azimutinės koordinatės kryptimi, yra antros eilės šviesos sūkurio ir Gauso pluošto suma. Tokio sudėtinio pluošto intensyvumo skirstinyje susiformuoja du intensyvumo nuliai kurie simetriškai išsidėstę priešinguose pluošto pusėse (Fig. 3). Atstumas tarp intensyvumo nulių sūkurinio pluošto skirstinyje priklauso nuo Gauso pluošto ir antros eilės šviesos sūkurio amplitudžių santykio. Jei Gauso pluošto amplitudė yra daug mažesnė nei antros eilės šviesos sūkurio, tada sūkurinio pluošto intensyvumo nuliai susilieja į vieną intensyvumo nulį, sūkurinio pluošto intensyvumo skirstinio centre. Šiuo atveju sūkurinio pluošto intensyvumo moduliacija azimutinės koordinatės kryptimi yra nykstamai maža ir jis netinkamas objektyvo židinio padėties nuokrypio nuo medžiagos paviršiaus detektavimui. Priešingu atveju, kai Gauso pluošto amplitudė yra daug didesnė nei antros eilės šviesos sūkurio, intensyvumo nuliai išsidėsto sūkurinio pluošto periferijoje ir intensyvumo moduliacija azimutinės koordinatės kryptimi taip pat yra nykstamai maža. Objektyvo (4) židinio padėties nuokrypio nuo medžiagos paviršiaus (5) detektavimui geriausiai tinka sūkurinis pluoštas kurio intensyvumo skirstinio moduliacija azimutinės koordinatės kryptimi yra maksimali. Tokiam sūkuriniam pluoštui nusklidus atstumą nuo  $z = 0$  (atstumas  $z$  atskaitomas nuo pluošto sąsmaukos) iki  $z_R$  sūkurinio pluošto intensyvumo nuliai pasisuka kampą  $\pi/4$ . O nusklidus atstumą nuo  $z = 0$  iki begalybės sūkurinio pluošto intensyvumo nuliai pasisuka kampą  $\pi/2$ . Čia  $z_R$  yra Relėjaus (Rayleigh) ilgis, tai atstumas kurį nusklidęs pluoštas išplinta du kartus, o intensyvumas sumažėja  $2^{1/2}$  kartų. Lygiai taip pat sūkuriniam pluoštui nusklidus atstumą nuo  $-\infty$  iki  $z = 0$  jo intensyvumo nuliai pasisuka kampą  $\pi/2$ , o nusklidus atstumą nuo  $-z_R$  iki  $z = 0$

intensyvumo nulių pasisukimo kampas lygus  $\pi/4$ . Taigi, atstume nuo  $-\infty$  iki  $\infty$  sūkurinis pluoštas pasisuka kampu  $\pi$ , o pluošto sąsmaukoje atstume nuo  $-z_R$  iki  $z_R$  sūkurinis pluoštas pasisuka kampu  $\pi/2$ .

Fotodetektorius (7) detektuoja atspindėto sūkurinio pluošto pasisukimo kampą, priklausomai nuo atspindinčio paviršiaus padėties objektyvo židinio atžvilgiu. Sūkurinis šviesos pluoštas yra Lagero ir Gauso modų superpozicija, kurio kompleksinės amplitudės

išraiška yra:  $u(\vec{r}) = \sum_{j=1}^Q A_j u_{n_j, m_j}(\vec{r})$ , čia  $A_j$  yra  $j$ -sios modos kompleksinė amplitudė ir  $u_{n, m}$

yra Lagero ir Gauso moda,  $Q$  yra sūkurinį šviesos pluoštą sudarančių Lagero ir Gauso modų skaičius.

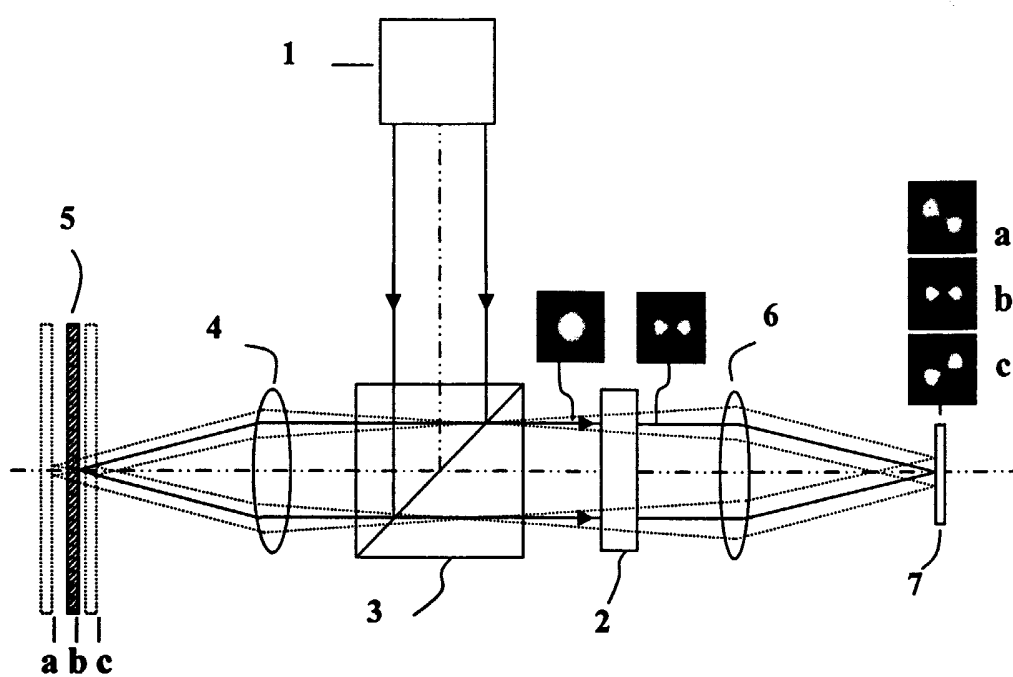
## IŠRADIMO APIBRĖŽTIS

1. Fokusavimo klaidos nustatymo būdas, kai į medžiagos paviršių nukreipiamas ir fokusuojamas koherentinės šviesos pluoštas, apimantis nuo minėto paviršiaus atspindėto koherentinio šviesos pluošto atskyrimą, fokusavimą bei erdvinio intensyvumo skirstinio registravimą, nustatant fokusavimo klaidą pagal registruojamo šviesos pluošto erdvinio intensyvumo skirstinio vaizdo pakitimus registravimo plokštumoje, besiskiriantis tuo, kad registruojamas koherentinės šviesos pluoštas yra transformuotas į sukurinį šviesos pluoštą, kurio intensyvumo skirstinys yra moduluotas azimutinės koordinatės kryptimi, o fokusavimo klaidą nustato registravimo plokštumoje pagal sukurinio šviesos pluošto erdvinio intensyvumo skirstinio pasisukimo kampą atžvilgiu pradinės azimutinės koordinatės, kur pasisukimo kampo vertė priklauso nuo fokusavimo tikslios padėties nukrypimo nuo medžiagos paviršiaus.
2. Fokusavimo klaidos nustatymo būdas pagal 1 punktą, besiskiriantis tuo, kad koherentinės šviesos pluoštą transformuoja į sukurinį pluoštą prieš nukreipiant jį į medžiagos paviršių.
3. Fokusavimo klaidos nustatymo būdas pagal 1 punktą, besiskiriantis tuo, kad koherentinės šviesos pluoštą transformuoja į sukurinį pluoštą po jo atspindėjimo nuo medžiagos paviršiaus.
4. Fokusavimo klaidos nustatymo įrenginys, kai į medžiagos paviršių (5) nukreipiamas ir fokusuojamas koherentinės šviesos pluoštas, apimantis atspindėtos nuo minėto paviršiaus (5) koherentinės šviesos pluošto kelyje esančią optinę sistemą, kuri turi šviesos daliklį (3), atskiriantį atspindėtą šviesos pluoštą bei nukreipiantį per fokusavimo priemonę (6) į šviesos pluošto erdvinio intensyvumo skirstinio registravimo priemonę (7), kuri nustato fokusavimo klaidą pagal registruojamo

šviesos pluošto erdvinio intensyvumo skirstinio vaizdo pakitimus registravimo plokštumoje, besiskiriantis tuo, kad koherentinės šviesos pluošto kelyje yra priemonė (2), transformuojanti šviesos pluoštą į sūkurinį šviesos pluoštą, kurio intensyvumo skirstinys yra moduluotas azimutinės koordinatės kryptimi, o fokusavimo klaidą nustato pagal registravimo plokštumoje sūkurinio šviesos pluošto erdvinio intensyvumo skirstinio pasisukimo kampą atžvilgiu pradinės azimutinės koordinatės, kur pasisukimo kampo vertė priklauso nuo fokusavimo tikslios padėties nukrypimo nuo medžiagos paviršiaus.

5. Fokusavimo klaidos nustatymo įrenginys pagal 4 punktą besiskiriantis tuo, kad minėta šviesos pluošto transformavimo į sūkurinį pluoštą priemonė (2) yra išdėstyta nukreipiamo į minėtos medžiagos paviršių (5) šviesos pluošto kelyje.
6. Fokusavimo klaidos nustatymo įrenginys pagal 4 punktą besiskiriantis tuo, kad minėta šviesos pluošto transformavimo į sūkurinį pluoštą priemonė (2) yra išdėstyta atspindėto nuo minėtos medžiagos paviršiaus (5) šviesos pluošto kelyje.
7. Fokusavimo klaidos nustatymo įrenginys pagal bet kurį iš 4 - 6 punktų besiskiriantis tuo, kad minėta šviesos pluošto transformavimo į sūkurinį pluoštą priemonė (2) yra holografinė plokštelė.
8. Fokusavimo klaidos nustatymo įrenginys pagal bet kurį iš 4 - 6 punktų besiskiriantis tuo, kad minėta šviesos pluošto transformavimo į sūkurinį pluoštą priemonė (2) yra fazinė plokštelė.





**Fig. 2**

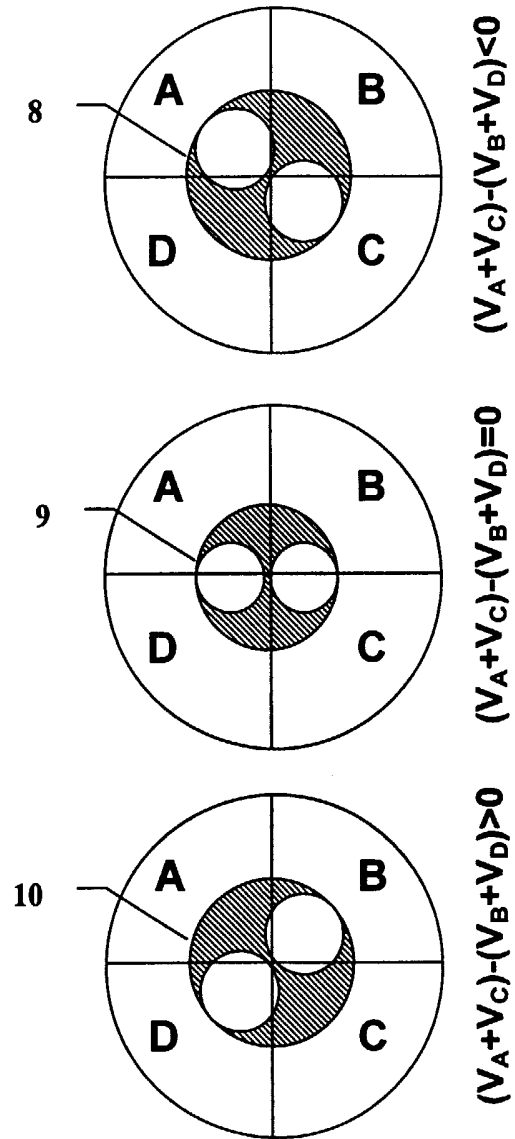
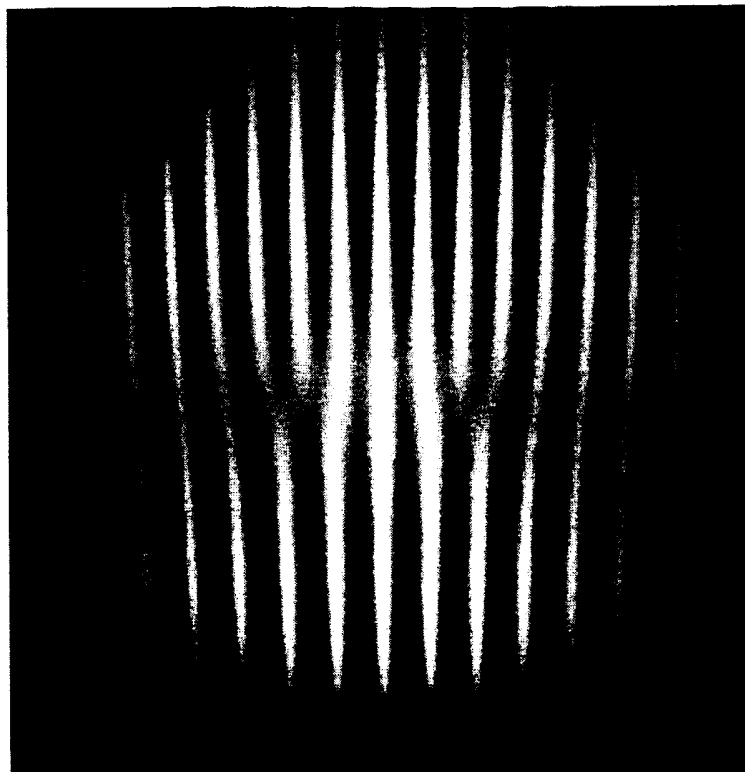


Fig. 3



**Fig. 4**

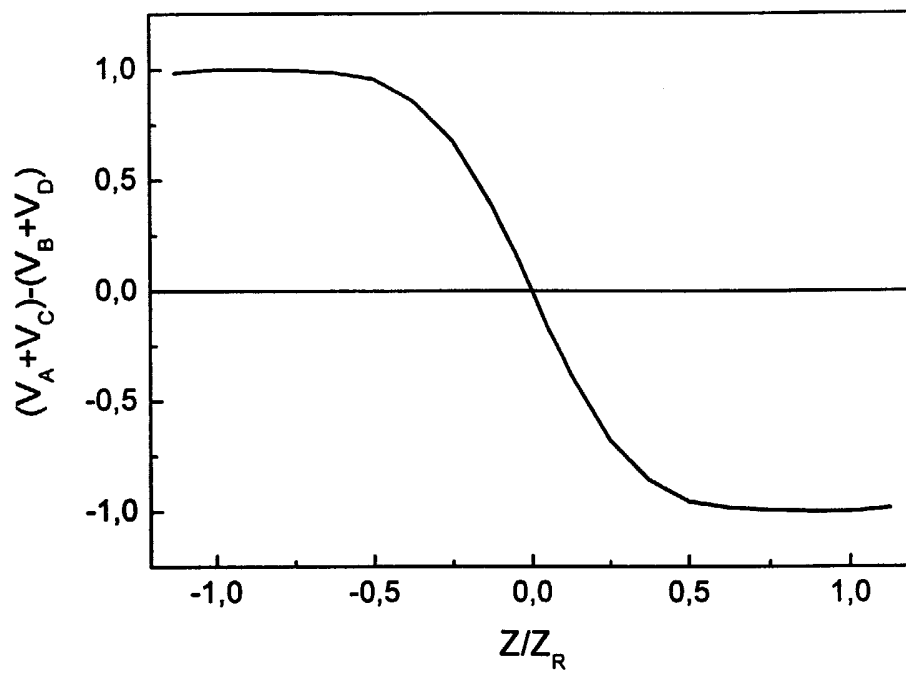
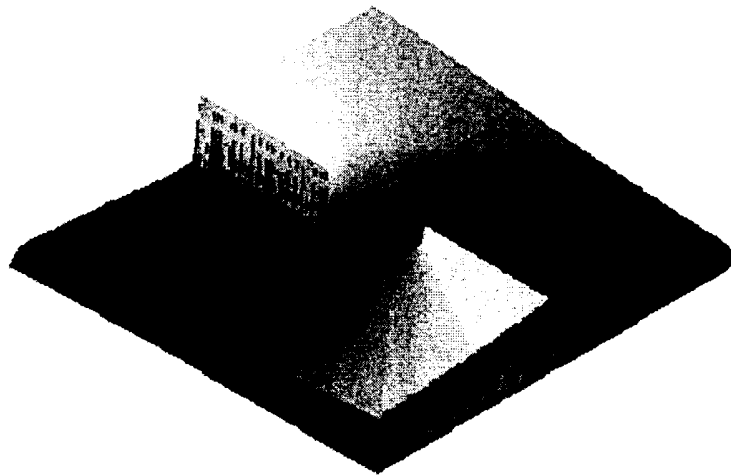


Fig. 5



**Fig. 6.**