

- (11) Patento numeris: **6700** (51) Int. Cl. (2020.01): **B44C 1/00**
- (21) Paraiškos numeris: **2018 020**
- (22) Paraiškos padavimo data: **2018-06-22**
- (41) Paraiškos paskelbimo data: **2019-12-27**
- (45) Patento paskelbimo data: **2020-02-10**
- (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:
Orestas ULČINAS, LT
Titas GERTUS, LT
Antanas URBAS, LT
- (73) Patento savininkas:
UAB „Altechna R&D“, Mokslininkų g. 6A, LT-08412 Vilnius, LT
- (74) Patentinis patikėtinis/atstovas:
Vitalija BANAITIENĖ, UAB TARPINĖ, A.P.Kavoliuko g. 24-152, LT-04328 Vilnius, LT

- (54) Pavadinimas:
Erdviškai moduluotų banginių plokštelių gamybos būdas
- (57) Referatas:

Išradimas yra susijęs su tūrinio skaidrių medžiagų savybių modifikavimo būdais, naudojančiais ultratrumpuosius lazerio impulsus. Didelio skaidrumo erdviškai moduluotų banginių plokštelių gamybos būdas apima ultratrumpų nuo 500 fs iki 2000 fs lazerinių impulsų sekos iš pluošto su Gauso skirstiniu fokusavimą skaidrioje lazerio šviesai medžiagoje taip, kad joje susidaro saviorganizuojančios nanoplokštumų struktūros. Medžiagos ruošinys judinamas struktūrą kuriančio lazerio pluošto židinio atveju pagal užduotą liniją trimis koordinatėmis. Sufokusuoto pluošto židinio ploto, impulsų pasikartojimo dažnio, jų energijos bei ruošinio slinkimo greičio kombinacija parenkama taip, kad susidariusios nanoplokštumų struktūros ruošinio medžiagos erdvėje išsidėstytų ir jos veiktų, kaip dvejetainiai optiniai elementai, turintys jiems būdingą fazės delną. Medžiagą veikiančių impulsų energija viršija nanoplokštumų susidarymo slenkstį tik dalyje židinio srities, apribotoje nuokrypiu intensyvumo maksimumo tarp $-\sigma/2$ ir $+\sigma/2$, kur σ yra vidutinis Gauso funkcijos nuokrypis. Kurianti nanoplokštumų struktūrą impulsų energija yra sukaupiama minėtoje dalyje per seką nuo 1000 iki 2000 impulsų ir neviršija 0,2-0,3 μJ .

Technikos sritis

Išradimas yra susijęs su tūrinio skaidrių medžiagų savybių modifikavimo būdais, naudojančiais ultratrumpuosius lazerio impulsus. Konkrečiau, jis susijęs su lazerine erdviškai moduluotų banginių plokštelių gamyba.

Technikos lygis

Yra žinoma (žr. Pvz., Sudrie L., et al., „Study Of Damage In Fused Silica By Ultra-Short IR Laser Pulses,” *Optics Communications*, t. 191, pp. 333-339, 2001.), kad, veikiant lydytą kvarcą bei kai kuriuos stiklus ultratrumpais (80-500 fs trukmės) impulsais, esant tinkamai impulso trukmės ir jo energijos kombinacijai, juose susidaro periodinės lūžio rodiklio pokyčio struktūros (Hirao, K., Miura, K., „Writing Waveguides And Gratings in Silica And Related Materials by a Femtosecond Laser,” *J. Non-Crystalline Solids*, t. 239, pp. 91-95, 1998., Davis, K. M., et al., „Writing Waveguides in Glass With a Femtosecond Laser,” *Opt. Lett.*, t. 21, pp. 1729-1731, 1996., Hnatovsky c., et al., „Pulse duration dependence of femtosecond-laser-fabricated nanogratings in fused silica,” *Appl. Phys. Lett.*, t. 87, nr. 014104, pp. 1-3, 2005.), pasižyminčios mažais matmenimis, kelis kartus mažesniais už veikiančios šviesos bangos ilgį, bei dvejopo šviesos lūžimo atsiradimu. Lūžio rodiklių paprastajai ir nepaprastajai bangai dydžių skirtumas įprastai yra 10^{-2} eilės. Tos struktūros yra ištęstos veikiančios šviesos sklaidimo kryptimi ir turi formą periodinės gardelės, statmenos veikiančios šviesos poliarizacijos vektoriui (Shimotsuma, Y., et al., „Self-Organized Nanogratings in Glass Irradiated by Ultrashort Light Pulses,” *Phys. Rev. Lett.*, t. 91, nr. 24, pp. 1-4, 2003.; Bhardwaj, V.R., et al., „Optically Produced Arrays of Planar Nanostructures inside Fused Silica,” *Phys. Rev. Lett.*, t. 96, nr. 10 February, pp. 1-4, 2006.), o dvejopalūžiškumo greitoji ašis yra lygiagreti tam vektoriui (Bricchi, E., et al., „Form Birefringence and Negative Index Change Created by Femtosecond Direct Writing in Transparent Materials,” *Opt. Lett.*, t. 29, pp. 119-121, 2004.; Champion, A., et al., „Stress Distribution Around Femtosecond Laser Affected Zones: Effect of Nanogratings Orientation,” *Opt. Express*, t. 21, pp. 24942-24951, 2013.). Struktūros susidarymas yra slenkstinis procesas, reikalaujantis, kad medžiagą veikiančios šviesos intensyvumas viršytų reikšmę, būdingą tai medžiagai (R. e. a. Taylor, „Fabrication of Long Range Periodic Nanostructures in Transparent or Semitransparent Dielectrics“. US Patentas 7438824B2, 21 Oct 2008. Shimotsuma, Y., et al., „Self-Organized Nanogratings in Glass Irradiated by Ultrashort Light

Pulses," *Phys. Rev. Lett.*, t. 91, nr. 24, pp. 1-4, 2003.; Bhardwaj, V.R., et al., „Femtosecond Laser-induced Refractive Index Modification in Multicomponent Glasses," *J. Appl. Phys.*, t. 97, nr. 083102, pp. 1-12, 2005. ; M. Li, „Method of Precise Laser Nanomachining With UV Ultrafast Laser Pulses". US Patentas 7057135B2, 6 Jun 2006). Taip pat sukurtas poveikis stiprėja, pakartotinai veikiant tą sritį vienas po kito sekanciais lazerio impulsais, t. y., stebimas kaupimo efektas. (Bonse, J., Krueger, J., „Pulse Number Dependence of Laser-Induced Periodic Surface Structures for Femtosecond Laser Irradiation of Silicon," *J. Appl. Phys.*, t. 108, nr. 034903, pp. 1-5, 2010.; Zimmermann, F., et al., „Ultrashort laser pulse induced nanogratings in borosilicate glass," *Applied Physics Letters*, t. 104, nr. 211107, pp. 1-5, 2014.; Richter S., et al., „Nanogratings in fused silica: Formation, control, and applications," *J. Laser Appl.*, t. 24, nr. 4, pp. 042008-1-8, 2012). Nanostruktūrų susidarymas yra aiškinamas veikiančios šviesos sąveika su indukuotos plazmos bangomis, kurių gyvavimo trukmė yra apie 100-150 fs (Petite G., et al., „Conduction electrons in wide-bandgap oxides: A subpicosecond time-resolved optical study," *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B*, t. 107, pp. 97-101, 1996.; Martin, P., et al., „Subpicosecond study of carrier trapping dynamics in wide-band-gap crystals," *Phys. Rev. B*, t. 55, pp. 5799-5810, 1997.). Teigiama (Taylor, R., Hnatovsky, C, Simova, E., „Applications of femtosecond laser induced self-organized planar nanocracks inside fused silica glass," *Laser Photonics Rev.*, t. 2, pp. 26-46, 2008. ; Lancry, M., et al., „Compact Birefringent Waveplates Photo-Induced in Silica by Femtosecond Laser," *Micromachines*, t. 5, pp. 825-838, 2014.), kad dėka tos sąveikos susidaro atsitiktinai išsidėstę plazminės nanosferos, kurios dėl lauko stiprinimo jų kraštuose jungiasi į plokšteles, orientuotas statmenai poliarizacijos plokštumai, o jos, trumpą laiką pasižymėdamos metalinėmis savybėmis, savo ruožtu įtakoja šviesos sklaidimą. Tos plazminės sferos, sąveikaudamos su apšviečiama medžiaga, sukuria nanometrų eilės dydžio ertmes (Lancry, M., et al., „Compact Birefringent Waveplates Photo-Induced in Silica by Femtosecond Laser," *Micromachines*, t. 5, pp. 825-838, 2014.), kuriose stebimi medžiagos gardelės defektų įtakoti lūžio rodiklio pokyčiai ir dvejetainiškumo atsiradimas. Pokyčiai susidaro, kaupiantis šviesos sukurtiems efektams medžiagos gardelėje ir tai pasireiškia tiek sukurto efekto dydžio didėjimu, tiek atstumų tarp atomų (gardelės periodo) sumažėjimu (Richter S., et al., „Nanogratings in fused silica: Formation, control, and applications," *J. Laser Appl.*, t. 24, nr. 4, pp. 042008-1-8, 2012.). Kaupiama kritusi į bandinį šviesos energija, t. y.,

norint pasiekti tą patį proceso slenkstį (Rajeev, P.P, et al., „Memory in nonlinear ionization of transparent solids,” *Phys. Rev. Lett.*, t. 97, p. 253001, 2006.) arba indukuotų defektų centrų kiekį (Richter, S. et al., „The role of self-trapped excitons and defects in the formation of nanogratings in fused silica,” *Opt. Lett.*, t. 37, pp. 482-484, 2012.) reikalingas maždaug pastovus impulso energijos ir efektą kuriančių impulsų kiekis (Richter S., et al., „Nanogratings in fused silica: Formation, control, and applications,” *J. Laser Appl.*, t. 24, nr. 4, pp. 042008-1-8, 2012.). Kaupimuisi yra svarbus tarpas tarp ateinančių vienas paskui kitą impulsų. Yra pastebėta, kad periodinių struktūrų susidarymo efektyvumas ryškiai sumažėja, atskyrus impulsus toliau negu tam tikra slenkstinė reikšmė, priklausanti nuo impulso energijos, pvz., 115 nJ impulsams tai yra ~20 ps, o 452 nJ - ~100ps tarpas. Tačiau periodinių struktūrų susidarymas stebimas iki impulso pasikartojimo dažnio $R \sim 0,1$ Hz, t. y. tarpas tarp impulsų ~10 s (Richter S., et al., „Nanogratings in fused silica: Formation, control, and applications,” *J. Laser Appl.*, t. 24, nr. 4, pp. 042008-1-8, 2012.). Tai rodo, kad efekto kaupimasis yra susijęs su keliais fizikiniais procesais, turinčiais ryškiai skirtingas charakteringas trukmes. Visų pirma, šviesos impulso elektrinis laukas generuoja laisvus elektronus. Susidariusios tokiu būdu elektrono-skylės poros (eksitonai) susiriša su medžiagos gardelės svyravimais (fononais), yra pagaunami ties gardelės nereguliarumais ar pačių eksitonų sukurtomis lauko deformacijomis (save pagavę eksitonai – self-trapped excitons, STE) (Williams, R., Song, K., „The self trapped exciton,” *J. Phys. Chem. Solids*, t. 51, pp. 679-716, 1990.). Šie procesai vyksta labai sparčiai, greičiau, negu per 150 fs (Petite G., et al., „Conduction electrons in wide-bandgap oxides: A subpicosecond time-resolved optical study,” *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B*, t. 107, pp. 97-101, 1996.; Martin, P., et al., „Subpicosecond study of carrier trapping dynamics in wide-band-gap crystals,” *Phys. Rev. B*, t. 55, pp. 5799-5810, 1997.), todėl akivaizdu, efekto kaupimuisi įtakos neturi. Kambario ir aukštesnėse temperatūrose STE relaksuoja nespinduliniu būdu, sukurdami nuolatinius ar ilgalaikius defektus (Stathis, S., Kastner, M., „Time-resolved photoluminescence in amorphous silicon dioxide,” *Phys. Rev. B*, t. 39, pp. 11183-11186, 1989.), tokius, kaip E'-centrai ir laisvų deguoninių jungčių skylių centrai (nonbridging oxygen hole centers NBOHC) (Petite G., et al., „Conduction electrons in wide-bandgap oxides: A subpicosecond time-resolved optical study,” *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B*, t. 107, pp. 97-101, 1996., Stathis, S., Kastner, M., „Time-resolved photoluminescence in amorphous silicon dioxide,” *Phys. Rev. B*, t. 39, pp.

11183-11186, 1989.). Šių relaksacinių kanalų charakteringa trukmė yra apie 400 ps (Wortmann, D., Ramme, M., Gottmann, J., „Refractive index modification using fs-laser double pulses,” *Opt. Express*, t. 15, pp. 10149-10153, 2007.), kas atitinka stebimas kaupimo trukmes. E'-centrais vadinamos atpalaiduotos silicio jungtys ($\equiv\text{Si}\bullet$), tuo tarpu NBOHC yra atpalaiduota deguonies jungtis ($\equiv\text{Si-O}\bullet$). Abiejų tipų defektai gali tarpusavyje rekombinuoti ar pavirsti kito tipo defektais (Nishikawa, H., et al., „Decay kinetics of the 4,4-eV photoluminescence associated with the two states of oxygen-deficient-type defect in amorphous SiO_2 ,” *Phys. Rev. Lett.*, t. 72, pp. 2101-2104, 1994.). Pavyzdžiui, įsiterpiant deguonies atomui, NBOHC gali virsti peroksidiniu radikalų ($\equiv\text{Si-O-O}\bullet$) (Skuja, L., et al., „Defects in oxide glasses,” *Physica Status Solidi C*, t. 2, pp. 15-24, 2005.). Bet kuriuo atveju, tokių defektų buvimas pakeičia medžiagos tankį aplink juos, tuo pačiu keičiasi ir medžiagos optinės savybės tokios kaip tiek izotropinis, tiek anizotropinis lūžio rodiklis, t.y., atsiranda dvejopālūžiškumas. Lydytas kvarcas, medžiaga, kurioje nanoplokštumos kuriamos efektyviausiai, yra sudarytas iš n narių $(\text{Si-O})_n$ oksido žiedų. Tuo metu, kai lydytas kvarcas daugiausiai yra sudarytas iš žiedų su $n \approx 6-7$, atpalaiduotų jungčių defektų atsiradimas gali sumažinti vidutinį žiedo dydį iki $n \approx 3-4$. Tai lydi kampų tarp jungčių sumažėjimas, vedantis prie medžiagos sutankėjimo, kas stebima po femtosekundinių impulsų poveikio (Chan, J.W., et al., „Modification of the fused silica glass network associated with waveguide fabrication using femtosecond laser pulses,” *Appl. Phys. A: Mater. Sci. Process.*, t. 76, pp. 367-372, 2003.) Zonose su minėtais defektais jonizacijos energija yra mažesnė, negu išeities medžiagoje, todėl kiekvienas sekantis impulsas sukuria vis daugiau defektų. Iš kitos pusės, periodinių struktūrų susidarymo efektyvumo priklausomybė nuo impulso intensyvumo iš dalies gali būti paaiškinama STE susidarymo priklausymu nuo impulso galios tankio (Tsai, T.E., et al., „Experimental evidence for excitonic mechanism of defect generation in high-purity silica,” *Phys. Rev. Lett.*, t. 67, pp. 2517-2520, 1991.)

Periodinių struktūrų iš nanoplokštumų užrašymo metodas išsamiai aprašytas JAV patente US 7,438,824 B2. Jame nurodoma, kad periodinės nanoplokštumų struktūros susidaro, veikiant impulsui su trukme tarp 5-200 fs ($5 \times 10^{-15} \text{ s} \div 200 \times 10^{-15} \text{ s}$). Taip pat nurodoma, kad stabiliam struktūros įrašymui impulso energija turi žymiai viršyti slenkstinę energiją (E_{sl}) šiam efektui, bent jau nuo $4 \times E_{sl}$, fokusuojant pluoštą trumpo židinio ($NA=0,65$) optiniu elementu, kas leidžia sutelkti energiją į $\sim 2-5 \mu\text{m}$

skersmens dėmelę. Ruošinys slenkamas lazerio pluošto židinio atžvilgiu greičiu ne didesniu, negu $100 \mu\text{m/s}$ ir kartojant lazerio impulsus dažniu apie 250 kHz , kas reiškia, kad į $5 \mu\text{m}$ skersmens plotą sukaupiama 12.500 impulsų energija. Pavienio impulso energija turi būti tarp $75\text{--}300 \text{ nJ}$, t.y., į minėtą plotą sukaupiama nuo $0,94 \text{ mJ}$ iki $3,75 \text{ mJ}$ lazerinės spinduliuotės pluošto impulsų energijos.

Optinių elementų gamybos metu naudojant patente US 7,438,824 B2 aprašytą parametrų rinkinį, stebima žymi pagaminto elemento optinio pralaidumo priklausomybė nuo lazerinės spinduliuotės bangos ilgio, o pralaidumas ties daugelio lazerių generuojamomis pagrindinėmis harmonikomis ($1000\text{--}1100 \text{ nm}$) neviršija 80% , o ties antros harmonikos bangos ilgiu ($500\text{--}550 \text{ nm}$) tesiekia apie 50% .

Todėl aprašytu būdu pagaminti optiniai elementai neturi pakankamo pralaidumo, reikalingo efektyviam medžiagų apdirbimui. Tokių elementų naudojimas reikalauja bent du kartus galingesnio lazerio, negu būtų reikalingas norimam efektui pasiekti, o tai žymiai pabrangina įrangą. Be to, dideli šviesos nuostoliai elemente dėl sugerties ir sklaidos trumpina jo darbo trukmę ir keičia elemento savybes darbo eigoje, kas reikalauja įrangos perderinimo dėl pluošto formavimo pokyčių, atsiradusių senėjant elementui.

Išradimu sprendžiama problema

Išradimu siekiama padidinti erdviškai moduluotų banginių plokštelių, skirtų šviesos pluoštų modifikavimui, pralaidumą. Tuo tikslu siekiama pagaminti iš nanoplokštumų sudarytas erdviškai moduluotas bangines plokšteles, kurių optinis pralaidumas būtų ne mažesnis negu 75% bangų ilgių srityje nuo 320 nm iki 2000 nm .

Išradimo esmės atskleidimas

Uždavinio sprendimo esmė pagal pasiūlytą išradimą yra ta, kad erdviškai moduluotų banginių plokštelių gamybos būde, apimančiame tiesiškai poliarizuotų ultratrumpųjų impulsų lazerinės spinduliuotės (UTILS) pluošto su Gauso intensyvumo skirstiniu fokusavimą ruošinio medžiagoje, kuri yra skaidri UTILS pluoštui, minėto skaidrios medžiagos ruošinio valdomą perkėlimą fokusuojamo UTILS pluošto židinio atžvilgiu pagal iš anksto užduotą dėsnį, tuo pačiu metu keičiant UTILS poliarizacijos kryptį ruošinio medžiagoje priklausomai nuo UTILS pluošto židinio vietos koordinatų ruošinyje, nanoplokštumų susidarymą fokusuojamos UTILS pluoštu paveiktose

ruošinio medžiagos vietose ir jų saviorganizaciją į periodines struktūras su periodu, mažesniu už UTILS bangos ilgį, kur susidariusios periodinės struktūros yra orientuotos statmenai UTILS poliarizacijai ir UTILS plitimo kryptimi ruošinio medžiagoje užima sritį, kuri yra ilgesnė už minėtos UTILS bangos ilgį daugiau negu 100 kartų, sufokusuoto UTILS pluošto židinio ploto, impulsų pasikartojimo dažnio, jų energijos ir ruošinio slinkimo greičio parinkimą taip, kad susidariusios nanoplokštumų struktūros ruošinio medžiagos erdvėje išsidėstytų ir jos veiktų, kaip dvejetainiai optiniai elementai, turintys jiems būdingą fazės delną, kur ruošinio medžiagoje fokusuojami UTILS impulsų trukmė yra nuo 500 fs iki 2000 fs, jų pasikartojimo periodas yra nuo 1 ps iki 50 ps, o sufokusuoto UTILS pluošto impulso energijos tankis viršija veikiamos medžiagos savybių sąlygojamą slenkstį tik židinio srities dalyje, minėtus tiesiškai poliarizuotus UTILS pluošto impulsus į ruošinį paduoda sekomis, kur impulsų skaičius minėtoje sekoje parenkamas toks, kad užtikrintų ruošinio medžiagoje nanoplokštumų struktūros susidarymą.

Židinio srities dalis, kurioje UTILS pluošto impulso energijos tankis viršija veikiamos medžiagos savybių sąlygojamą slenkstį, apibrėžia intensyvumo skirstinio nuokrypis nuo maksimumo padėties ir minėtas nuokrypis yra ribose nuo $-\sigma/2$ iki $\sigma/2$.

Seką sudarančių UTILS pluošto impulsų energija, sukaupta minėtoje židinio srities dalyje, kurioje susidaro periodinė nanoplokštumų struktūra, yra tarp 0,2 ir 0,3 μJ .

Nanoplokštumų struktūros susidarymui tiesiškai poliarizuotų UTILS impulsų skaičių sekoje parenka ribose nuo 1000 iki 2000.

Išradimo naudingumas

Pagal išradimą pasiūlytas erdviškai moduluotų banginių plokštelių gamybos būdas leidžia padidinti jų pralaidumą šviesai ir pasiekti optinį pralaidumą ne mažesnį negu 75 % bangų ilgių srityje nuo 320 nm iki 2000 nm. Sumažėjus šviesos nuostoliams erdviškai moduluotoje banginėje plokštelėje, ją galima panaudoti formuojant bent du kartus didesnio intensyvumo pluoštus. Dėka to, kad pralaidumas siekia daugiau, negu 75 % plačioje bangos ilgių srityje, tie patys elementai gali būti panaudojami formuoti lazerio šviesos pluoštus tiek jo pagrindiniam dažniui, tiek ir antrai ir net trečiai jos harmonikai. Tokiu būdu nereikia gaminti kelių erdviškai moduluotų banginių plokštelių tam pačiam efektui pasiekti skirtingose lazerio

spinduliuotės harmonikose. Be to, stabiliam nanoplokštumų struktūros susidarymui UTILS impulso energijos tankis viršija slenkstinę energiją (E_{sl}) ne daugiau 15%, kas leidžia suformuoti optinį elementą, kurio optinis pralaidumas nežymiai skiriasi nuo pralaidumo medžiagos, iš kurios jis pagamintas.

Detaliau išradimas paaiškinamas brėžiniuose, kur

Fig.1 pavaizduota įrenginio principinė blokinė schema, naudojama pasiūlytam erdviškai moduluotų banginių plokštelių gamybos būdai realizuoti;

Fig.2 pavaizduotas sufokusuoto UTILS pluošto intensyvumo skirstinys, priklausomai nuo nukrypimo nuo pluošto ašies; koordinatei nukrypus nuo ašies per $0,5\sigma$, kur σ yra vidutinis nuokrypis, intensyvumas sudaro 0,88 nuo maksimumo ašyje.

Fig.3 pavaizduota sufokusuoto UTILS pluošto intensyvumo skirstinio dalis, reikalinga periodinių struktūrų susidarymui iš nanoplokštelių;

Fig. 4 pavaizduotas UTILS impulsų energijos kaupimo medžiagos defektuose efektas;

Fig.5 pavaizduotas spektrinis pralaidumas optinio elemento, užrašyto šioje paraiškoje siūlomą būdą, viršijant periodinių struktūrų susidarymo slenkstį 10% ir kaupiant 1000 impulsų energiją ir pralaidumas ultravioletinio stiklo UVFS, iš kurio padarytas matuoto elemento ruošinys;

Fig.6 pavaizduotas optinis elementas, pagamintas paraiškoje siūlomą būdą, kurio spektrinis pralaidumas atvaizduotas Fig. 5.

Pasiūlyto išradimo realizavimo pavyzdys

Pasiūlytą erdviškai moduluotų banginių plokštelių gamybos būdas apima šią operacijų seką: ultratrumpųjų impulsų lazerio modos TEM_{00} spinduliuotės pluoštą (UTILS), turintį intensyvumo pasiskirstymą pagal Gauso dėsnį ir tiesinę poliarizaciją, sufokusuoja į skaidrios minėtam pluoštui medžiagos ruošinį. Papildomais elementais užduoda poliarizacijos vektoriaus kryptis. Ruošinio medžiagoje fokusuojamos UTILS impulso trukmę parenka ribose nuo 500 fs iki 2000 fs, o jų pasikartojimo periodą parenka ribose nuo 1 μ s iki 50 μ s. Pavienių impulsų energija ir židinio sąsmaukos plotas parenkami taip, kad tik mažoje židinio srities dalyje būtų viršijamas struktūrų iš nanoplokštumų susidarymo slenkstis. Šių impulsų energijos tankis ne daugiau kaip 15% viršija veikiamos medžiagos savybių sąlygojamą slenkstį minėtoje židinio srities

dalyje, kuri apibrėžiama intensyvumo skirstinio nuokrypiu nuo maksimumo padėties ribose nuo $-\sigma/2$ iki $\sigma/2$. Ruošinys perkliamas židinio atžvilgiu pagal užduotą trajektoriją, kiekviename tos trajektorijos taške užduodant reikalingą fokusuojamos UTILS poliarizacijos kryptį ir suorientuojant nanoplokštumų struktūras. Sufokusuoto UTILS pluošto židinio plotą, impulsų pasikartojimo dažnį, jų energijos ir ruošinio slinkimo greitį parenka taip, kad susidariusios nanoplokštumų struktūros ruošinio medžiagos erdvėje išsidėstytų ir jos veiktų, kaip dvejetainiai optiniai elementai, turintys jiems būdingą fazės delną. Tokiu būdu užrašomas vienas ar keli sluoksniai nanoplokštumų. Impulsų energija sukaupia minėtoje židinio srities dalyje, kurioje susidaro periodinė nanoplokštumų struktūra yra ribose nuo 0,2 iki 0,3 μJ . Nanoplokštumų struktūros susidarymui reikalingas tiesiškai poliarizuotų UTILS impulsų seka, kurioje impulsų skaičius yra ribose nuo 1000 iki 2000.

Fig.1 pavaizduota įrenginio principinė blokinė schema, naudojama pasiūlytam erdviškai moduluotų banginių plokštelių gamybos būdui realizuoti. Įrenginys apima lazerinį šaltinį 1, generuojantį ultratrumpųjų impulsų lazerinės spinduliuotės Gauso intensyvumo skirstinio pluoštą 2, kurio optiniame kelyje išdėstyta pusbangė ($\lambda/2$) fazinė plokštelė 3, skirtą užduoti poliarizacijos vektoriaus kryptį UTILS pluošte. Už plokštelės 3 išdėstyta fokusuojanti optika 4, skirta nukreipti lazerinės spinduliuotės pluoštą 2 į medžiagos, skaidrios UTILS pluoštui, ruošinį 5, kuriame sukuriama susiorganizuojančios periodinės struktūros iš nanoplokštumų 6, išdėstytos užduotoje trajektorijoje 7. Numatytas pozicionavimo įrenginys, skirtas perkelti ruošinį trimis erdvės kryptimis 8.

Pagal išradimą pasiūlytame erdviškai moduluotų banginių plokštelių gamybos būde medžiagoje kuriami defektai kaupiami, juos kuriant impulsais kurių intensyvumas sufokusuoto pluošto židinyje yra pasiskirstęs pagal Gauso (normalinį) dėsnį 9, o energija tik nežymiai (ne daugiau, kaip 15%) viršija nanoplokštumų susidarymo ir susiorganizavimo slenkstį 10. Tokio intensyvumo impulsai nukreipiami į skaidrios veikiančią šviesos bangai medžiagos ruošinį ir periodiškai kartojami, kol susidaro reikiamo optinio aktyvumo nanoplokštumų struktūra. Kartojimo periodas parenkamas toks, kad per laiką tarp impulsų pasibaigtų visi procesai, susiję su defektų susidarymu: elektronų išlaisvinimas - eksitonų susidarymas, eksitonų savaiminis pagavimas (STE susidarymas), energijos perdavimas gardelei (šiluminiai procesai) ir silicio-deguonies jungčių atpalaidavimas. Visiems šiems procesams

pasibaigti reikia ne mažiau, kaip 1 μ s, t.y., lazerio impulsų pasikartojimo dažnis neturi viršyti 1 MHz. Optinio elemento veikimas yra pagrįstas nanoplokštumų struktūrų išdėstymu erdvėje, kai kiekviename elemento taške nanoplokštumos yra suorientuojamos pagal dėsni, užduodamą reikalavimų lazerinės spinduliuotės energijos bei fazės skirstiniui lazerio pluošte. Energijos dalis 11, esanti žemiau nanoplokštumų struktūros susidarymo slenkščio, įtakoja aprašytų efektų, tokių kaip centrų susidarymas, kaupimasi, bet dvejopas šviesos laužimas atsiranda tik dėka impulso viršūnėlės 12, kurios plotas neviršija Gauso skirstinio dalies, apribotos puse vidutinio nuokrypio $\sigma/2$. Kad galėtume suorientuoti nanoplokštumų struktūrą, efektyviausiai veikiančią tą pluoštą, turime visų pirma prikaupti medžiagos defektų kuriamos struktūros vietoje 13, o tada, nukreipę į tą vietą energiją 11, viršijančią slenkstį 10, pasiekiame, kad taikinyje susidarytų ir susiorganizuotų nanoplokštumų struktūrą, kurios kryptis yra statmena poliarizacijai impulso, viršijančio minėtą slenkstį. Tai yra pasiekama, slenkant ruošinį pluošto židinio atžvilgiu. Tada paeiliui sekančių impulsų su Gauso pasiskirstymą atitinkančia gaubtine 14 energija pradžioje augančia tvarka kaupia medžiagoje reikalingus defektus, kol ant taikinio srities 15 užslenka impulsas, viršijantis struktūros susidarymo ir susiorganizavimo slenkstį 10, ir tokių impulsų seka 16 sukuria pageidaujamos krypties ir efektyvumo nanoplokštumų struktūrą. Vėliau sekantys lazerio impulsai mažėjančia tvarka dar kaupia defektus, padidinančius struktūros optinį efektyvumą. Svarbu tai, kad šių liekamųjų efektų neprisikauptų per daug, nes dėl to atsiranda nepageidaujami šviesos sugerties ir sklaidos centrai. Tinkamas struktūrų efektyvumas, nedidinant nuostolių jose, pasiekiamas, kai struktūrą formuojančių impulsų skaičius yra nuo 1000 iki 2000. Parenkant tinkamą šviesos sufokusavimo ploto, impulsų pasikartojimo dažnio, jų energijos ir ruošinio slinkimo greičio kombinaciją, galima pasiekti, kad sukurtos nanoplokštumų struktūros maksimaliai efektyviai veiktų kaip dvejopalūžės, o šviesos sklaida ir sugertis būtų minimalūs. Tokio užrašymo efektyvumą parodo kreivės optinio elemento, užrašyto šioje paraiškoje siūlomu būdu, viršijant periodinių struktūrų susidarymo slenkstį 10% ir kaupiant 1000 impulsų energiją, spektrinis pralaidumas 17 ir ultravioletinio stiklo UVFS, iš kurio padarytas matuoto elemento ruošinys, pralaidumas 18 ir optinio elemento, pagaminto paraiškoje siūlomu būdu, vaizdas 19.

IŠRADIMO APIBRĖŽTIS

1. Erdviškai moduluotų banginių plokštelių gamybos būdas, apimantis:

tiesiškai poliarizuotų ultratrumpųjų impulsų lazerinės spinduliuotės (UTILS) pluošto su Gauso intensyvumo skirstiniu fokusavimą ruošinio medžiagoje, kuri yra skaidri UTILS pluoštui,

minėto skaidrios medžiagos ruošinio valdomą perkėlimą fokusuojamo UTILS pluošto židinio atžvilgiu pagal iš anksto užduotą dėsnį, tuo pačiu metu keičiant UTILS poliarizacijos kryptį ruošinio medžiagoje priklausomai nuo UTILS pluošto židinio vietos koordinatų ruošinyje,

nanoplokštumų susidarymą fokusuojamos UTILS pluoštu paveiktose ruošinio medžiagos vietose ir jų saviorganizaciją į periodines struktūras su periodu, mažesniu už UTILS bangos ilgį, kur susidariusios periodinės struktūros yra orientuotos statmenai UTILS poliarizacijai ir UTILS plitimo kryptimi ruošinio medžiagoje užima sritį, kuri yra ilgesnė už minėtos UTILS bangos ilgį daugiau negu 100 kartų,

sufokusuoto UTILS pluošto židinio ploto, impulsų pasikartojimo dažnio, jų energijos ir ruošinio slinkimo greičio parinkimą taip, kad susidariusios nanoplokštumų struktūros ruošinio medžiagos erdvėje išsidėstytų ir jos veiktų, kaip dvejetainiai optiniai elementai, turintys jiems būdingą fazės delną,

b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad ruošinio medžiagoje fokusuojami tiesiškai poliarizuotų UTILS pluošto impulsų trukmė yra nuo 500 fs iki 2000 fs, o jų pasikartojimo periodas yra nuo 1 μs iki 50 μs, kur

sufokusuoto UTILS pluošto impulso energijos tankis viršija veikiamos medžiagos savybių sąlygojamą slenkstį tik dalyje židinio srities,

minėtus tiesiškai poliarizuotus UTILS pluošto impulsus į ruošinį paduoda sekomis, kur impulsų skaičius minėtoje sekoje parenkamas toks, kad užtikrintų ruošinio medžiagoje nanoplokštumų struktūros susidarymą.

2. Būdas pagal 1 punktą, besiskiriantis tuo, kad židinio srities dalį, kurioje UTILS pluošto impulsų energijos tankis viršija veikiamos medžiagos savybių sąlygojamą slenkstį, apibrėžia intensyvumo skirstinio nuokrypis nuo maksimumo padėties ir minėtas nuokrypis yra ribose nuo $-\sigma/2$ iki $\sigma/2$.

3. Būdas pagal 1 arba 2 punktą, besiskiriantis tuo, kad seką sudarančių

UTILS pluošto impulsų energija, sukaupia minėtoje židinio srities dalyje, kurioje susidaro periodinė nanoplokštumų struktūra, yra tarp 0,2 ir 0,3 μJ .

4. Būdas pagal bet kurį iš 1-3 punktų, besiskiriantis tuo, kad nanoplokštumų struktūros susidarymui tiesiškai poliarizuotų UTILS impulsų skaičių sekoje parenka ribose nuo 1000 iki 2000.

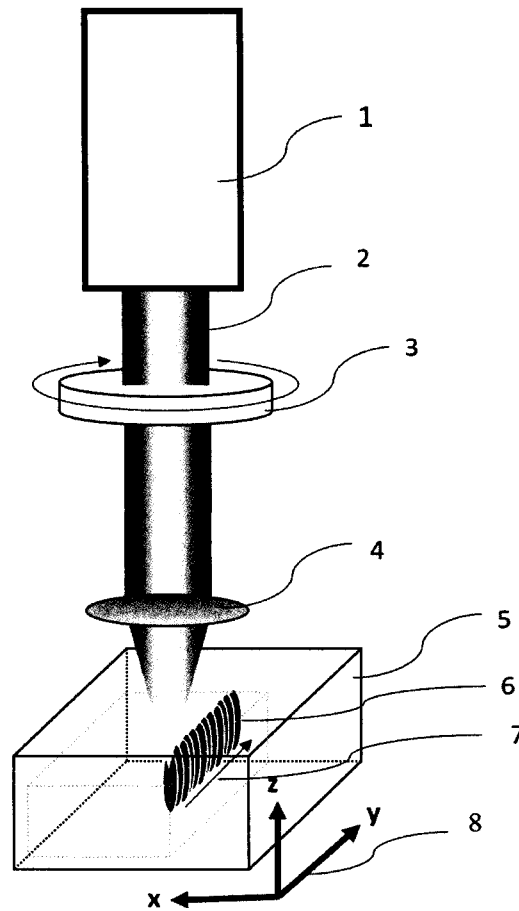


Fig.1

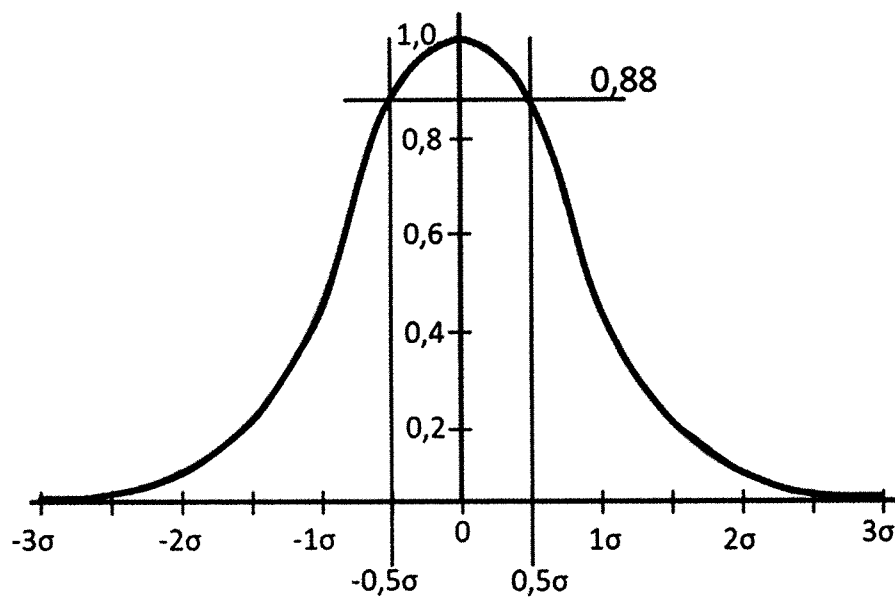


Fig.2

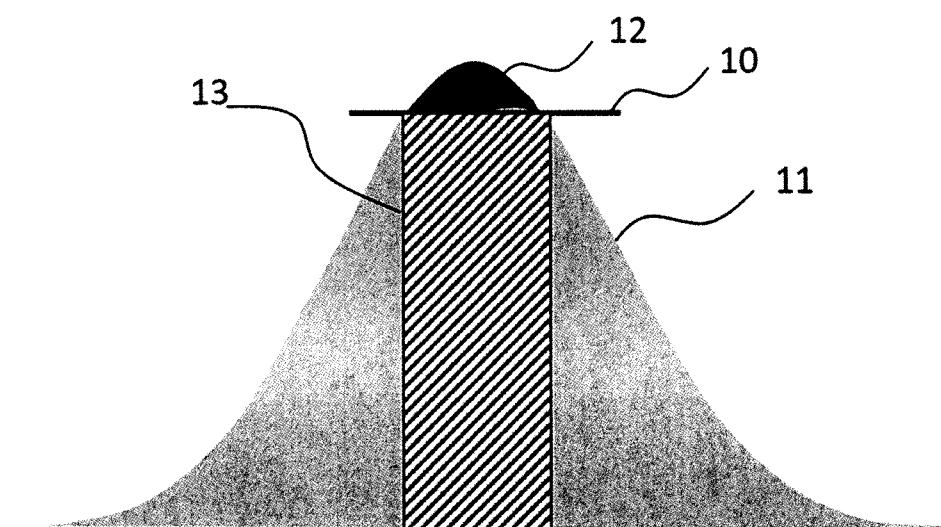


Fig.3

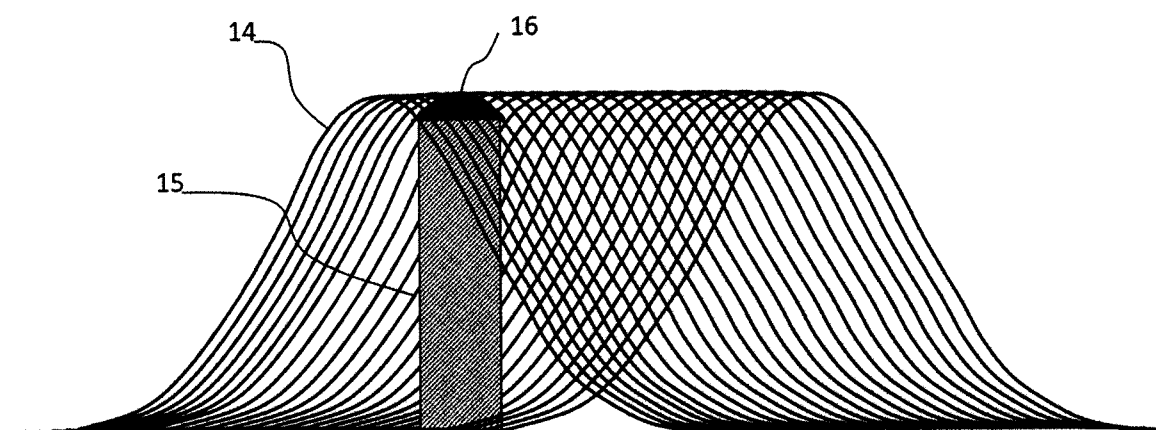


Fig. 4

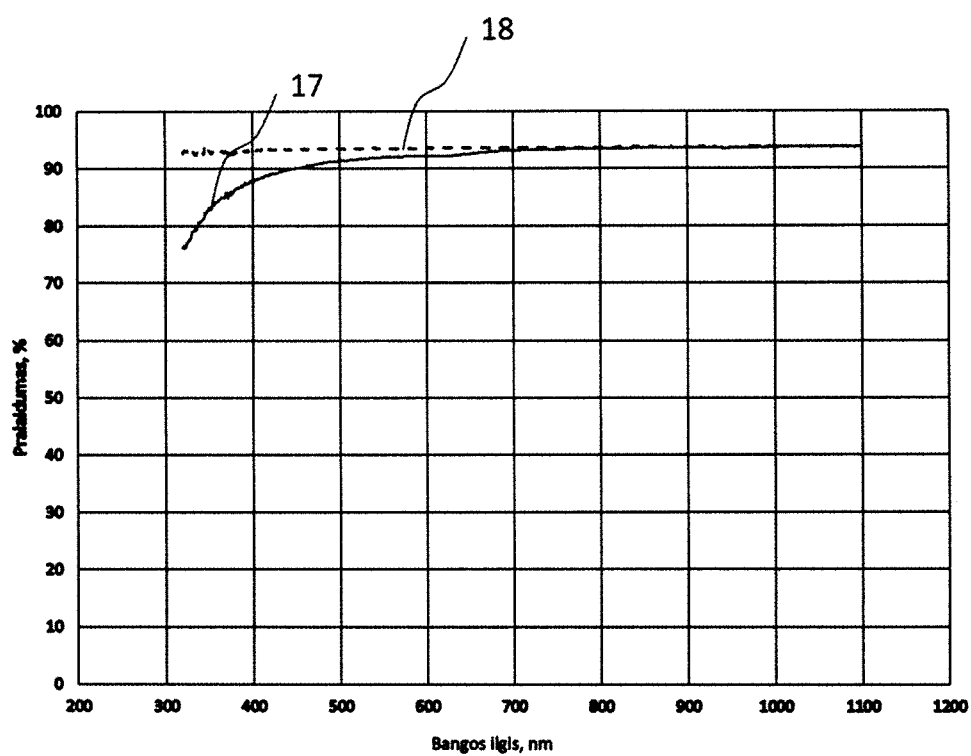


Fig. 5

LT 6700 B

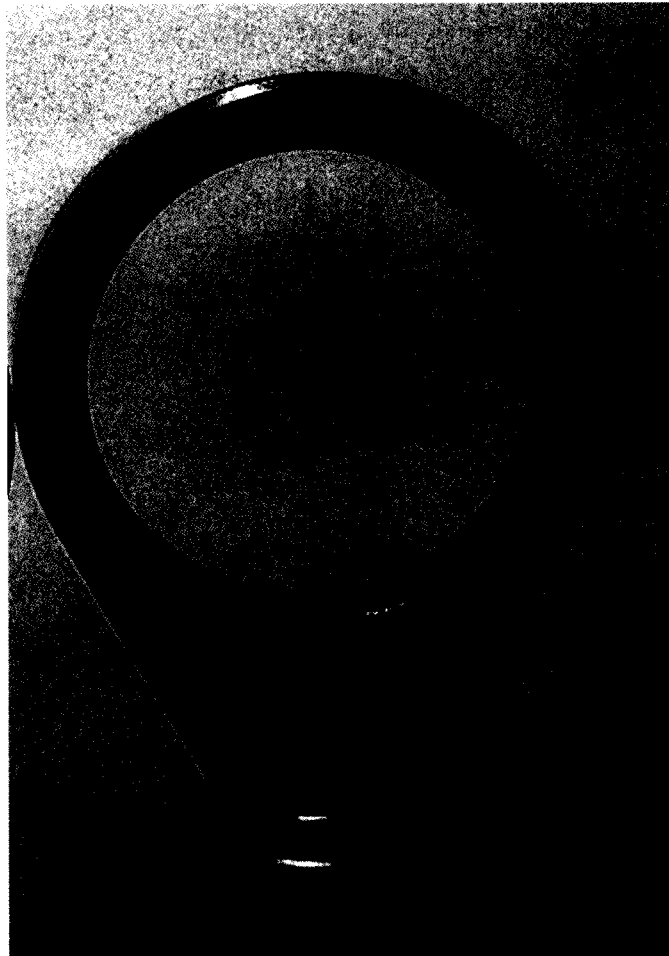


Fig.6