

- (11) Patent numeris: **6544** (51) Int. Cl. (2018.01): **B23K 26/00**
- (21) Paraiškos numeris: **2016 534**
- (22) Paraiškos padavimo data: **2016-12-20**
- (41) Paraiškos paskelbimo data: **2018-06-25**
- (45) Patent paskelbimo data: **2018-07-25**
- (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:
Gediminas RAČIUKAITIS, LT
Mindaugas GEDVILAS, LT
Saulius MIKALAUSKAS, LT
- (73) Patent savininkas:
Valstybinis mokslinių tyrimų institutas Fizinių ir technologijos mokslų centras,
Savanorių pr. 231, LT-02300 Vilnius, LT
ELAS, UAB, Savanorių pr. 231, 12300 Vilnius, LT
- (74) Patentinis patikėtinis/atstovas:
Virgina Adolfina DRAUGELIENĖ, UAB TARPINĖ, A.P.Kavoliuko g. 24-152, LT-04328
Vilnius, LT

- (54) Pavadinimas:
Skaidrių medžiagų apdorojimo būdas ir įrenginys
- (57) Referatas:

Išradimas yra susijęs su skaidrių terpių pjovimu arba skėlimu, panaudojant lazerinę spinduliuotę, veikiančią impulsų paketų režimu, suformuojant pjovimo/skilimo plokštumoje viena šalia kitos reikiamą skaičių pažaidos sričių. Pasiūlytas būdas apima skaidrios medžiagos apdirbamo ruošinio ir lazerinės spinduliuotės pluošto, veikiančio impulsų paketų režimu, valdomą perstūmimą vienas kito atžvilgiu, tam, kad minėtame ruošinyje lazerinės spinduliuotės pluoštas suformuotų viena šalia kitos reikiamą skaičių vientisų pažaidos sričių, suformuojant ruošinio pjovimo/skilimo plokštumą. Siekiant padidinti apdirbimo našumą ir greitį bei pagerinti pjovimo/skilimo kokybę lazerinės spinduliuotės pluoštą fokusuoja apdirbamo ruošinio apatinėje dalyje, suformuojant dalinę pažaidos sritį, tuo pačiu metu vykdo skaidrios medžiagos ruošinio perstūmimą lazerinės spinduliuotės pluošto atžvilgiu taip, kad lazerinės spinduliuotės impulsų paketų suformuotos dalinės pažaidos sritys, išsidėsto viena greta kitos taip, kad kiekvienos dalinės srities apatinė dalis susilieja su prieš ją suformuotos dalinės pažaidos srities viršutine dalimi, suformuojant link ruošinio paviršių tįstančią ir perstūmimo kryptimi pasvirusią vientisą pažaidos sritį. Toliau perstūmiant ruošinį analogiškai formuojamos kitos ištisinės pažaidos sritys, kurios sudaro pjovimo/skilimo plokštumą.

Technikos sritis

Išradimas yra susijęs su skaidrių terpių pjovimu arba skėlimu, panaudojant lazerinę spinduliuotę, veikiančią impulsų paketų režimu, suformuojant pjovimo/skilimo plokštumoje viena šalia kitos reikiamą skaičių pažaidos sričių.

Technikos lygis

Tarptautinėje patentinėje paraiškoje WO 2009114375 A2, publikuotoje 2009 rugsėjo 17-ąją, aprašytas skaidrių terpių apdirbimas, naudojant ultratrumpus impulsus generuojantį šviesos spinduliuotės šaltinį. Išradimo aprašyme yra aprašyti būdai, įrenginiai ir sistemos skaidrioms terpėms apdirbti ultratrumpų impulsų lazeriais, taikant juos raižymui, suvirinimui, sujungimui ir žymėjimui. Pavyzdžiui, ultratrumpų impulsų lazeris vienu praėjimu per medžiagą suformuoja apdirbamoje skaidrioje medžiagoje popaviršines įraižas. Šiek tiek pakeitus ultratrumpų impulsų lazerinio apdirbimo sąlygas, suformuojamos ir popaviršinės žymės. Tinkamai parinkus apdirbimo sąlygas, šios žymės yra ryškiai matomos, esant tam tikram apšvietimui. Valdant apdirbimo parametrus, galima suformuoti ir atspindinčias žymes. Apdirbama medžiaga gali būti bet kokia skaidri terpė, pavyzdžiui stiklas. Kai kuriuose skaidrių terpių apdirbimo pavyzdžiuose yra naudojamas lazerio pluošto formotuvas, kuris vienu metu suformuoja keletą pluoštų, kurie yra fokusuojami skirtingose apdirbamos medžiagos plokštumose, taip ženkliai padidinant apdirbimo greitį. Išradimo apibrėžtyje minimas pjovimas, naudojant impulsų paketus, pavyzdžiui dviejų impulsų paketą. Minimas galimas laikinis atstumas tarp sub-impulsų poroje gali būti nuo 1ns iki 10ns.

Tarptautinėje patentinėje paraiškoje Nr. WO2012006736A2, publikuotoje 2012 sausio 19-ąją, aprašytas skaidraus padėklo apdirbimo būdas, naudojantis šviesos gijų formavimosi reiškinių. Išradime aprašomas skaidrios medžiagos padėklo vidinio apdirbimo būdas, skirtas skaidriam padėklui skaldyti. Terpė yra apšvitinama sufokusuotu impulsinio lazerio spinduliuotės pluoštu, kurio impulso energija ir trukmė yra pasirenkami taip, kad būtų pakankami šviesos gijų inicijuotoms pažaidoms apdirbamoje skaidrioje terpėje sukelti. Skaidri terpė gali slinkti lazerio pluošto atžvilgiu taip suformuojant papildomas šviesos gijų inicijuotas pažaidas, kurios savo ruožtu suformuoja skilimo plokštumą. Lazerio pluošto parametrai gali būti keičiami, norint pakeisti šviesos gijų sukeltų pažaidų ilgį ir vietą ir tinkamiausiu atveju

suformuoti V-formos kanalus ar griovelius, sukuriant nuožulnias skilimo briaunas. Tinkamiausiu atveju yra naudojama didelio impulsų pasikartojimo dažnio generuojama lazerinė spinduliuotė tam, kad būtų sumažinamas šviesos gijų formavimuisi reikalingos energijos slenkstis, padidinamas pažaidų ilgis, pakaitinama šviesos gijų sukeltomis pažaidomis modifikuota sritis sumažinant aplinkinį pažeidimą, pagerinamas proceso atsikartojamumas ir padidinamas apdirbimo greitis, lyginant su mažo pasikartojimo dažnio lazeriais.

Europos patentinėje paraiškoje EP2898982A2 publikuotoje 2015 liepos 29 ają, aprašytas būdas ir įrenginys, skirtas šviesos gijų inicijuotoms pažaidoms gauti silicio padėkle naudojant ultratrumpų impulsų lazerį, generuojantį impulsų paketus. Būde aprašomas medžiagos, kuri pasižyminčią Kero efektu, sulietimas su silicio pagrindu, kad atsirastų lietimosi plokštuma tarp šių dviejų medžiagų. Lazerio pluoštas veikiantis impulsų paketų režimu ir turintis mažiausiai vieną sub-impulsą pakete nukreipiamas į minėtą medžiagą, kurioje pasireiškia Kero efektas. Lazerio pluoštas praėjęs fokusuojantį objektyvą sklinda link Kero efektu pasižyminčios medžiagos. Pirminis lazerio bangos ilgis yra modifikuojamas minėtoje Kero medžiagoje, todėl atsiranda daugybė antrinių bangos ilgių, iš kurių kai kurie yra veiksmingi silicio apdirbimui. Foto akustinis suspaudimo silicio apdirbimas gaunamas antrinių bangos ilgių spinduliuotės sugeneruotų dėl Kero efekto. Antriniai bangos ilgiai patiria savifokusavimo reiškinių silicyje ir jame formuojasi šviesos gijų sukeltos pažaidos.

JAV patentinėje paraiškoje US20150034613A1 publikuotoje 2015 vasario 5-ają, aprašytos lazerinės sistemos, skirtos skaidriose medžiagose gauti šviesos gijas ir jų sukeltas pažaidas. Išradime aprašomi sistemos ir metodai, skirti skaidriose medžiagose formuoti nenutrūkstančias pažaidas šviesos gijomis. Ultratrumpų lazerio impulsų paketų pluoštas yra fokusuojamas taip, kad pluošto sąsmauka yra suformuota apdirbamos medžiagos išorėje ir plazmos kanalas medžiagos viduje nesiformuoja, o yra parenkamas pakankamas energijos tankis, kad būtų formuojamos šviesos gijos per visą medžiagos storį, nesukeliant optinio skaidrios medžiagos pažeidimo. Pagal šį metodą suformuotų gijų ilgis gali siekti iki 10 mm. Kai kuriais atvejais, siekiant pakeisti fokusavimo sąsmaukos padėtį, yra naudojamas optinis išderinimo elementas ir fokusavimo sąsmauka gali būti perkeliama į apdirbamos medžiagos vidų. Išradime yra aprašytos įvairios sistemos, skirtos skaidriuose padėkluose formuoti matricoms sudarytoms iš pažaidų inicijuotų šviesos

gijomis, kurios naudojamos padėklų raižymui/atskyrimui ir/arba ženklavimui.

Žinomi aukščiau aprašyti skaidrių padėklų lazerinio raižymo ir pjovimo būdai ir įrenginiai naudojantys lazerinės spinduliuotės fokusavimą skaidrios medžiagos viduje ir/arba paviršiuje, taip pat skaidrių padėklų apdirbimui naudojantys lazerinius spinduliuotės šaltinius generuojančius impulsų paketus. Dažniausiai lazerinė spinduliuotė sudaryta iš impulsų paketų naudojama tam, kad suformuotų nenutrūkstamas pažaidas šviesos gijomis skaidrios medžiagos tūryje. Slenkant bandinį pluošto atžvilgiu būtų formuojamas pažaidų rinkinys, medžiagoje suformuojantis skilimo plokštumą.

Žinomi skaidrių terpių lazeriniai pjaustymo būdai ir įrenginiai neleidžia pasiekti pakankamai didelio pjovimo greičio, bei ženkliai sumažina skilimo plokštumos skaidrumą.

Sprendžiama techninė problema

Išradimu siekiama padidinti skaidrių medžiagų apdorojimo našumą ir greitį tuo pačiu pagerinti skaidrių medžiagų apdorojimo kokybę skaldant ar pjaunant skaidrias medžiagas.

Išradimo esmės atskleidimas

Pagal pasiūlytą išradimą skaidrių medžiagų apdirbimo būde, apimančiame šiuos etapus:

- lazerinės spinduliuotės pluošto, suformuoto iš impulsų paketų, nukreipimą į apdirbamą ruošinį, kur ruošinio medžiaga yra skaidri į ją krentančiam lazerinės spinduliuotės bangos ilgiui,

- minėtos lazerio spinduliuotės pluošto fokusavimą apdirbamo ruošinio tūryje,

- lazerio spinduliuotės paketą sudarančių impulsų trukmės, pasikartojimo dažnio ir energijos parinkimą taip, kad kiekvienas minėtas impulsų paketas apdirbamo ruošinio medžiagoje viršytų optinės pažaidos slenkstį ir suformuotų pažaidos sritį, kuri tęsiasi minėto lazerinio pluošto sklaidimo kryptimi,

- minėto apdirbamo ruošinio ir lazerinės spinduliuotės pluošto, veikiančio impulsų paketų režimu, valdomą perstūvimą vienas kito atžvilgiu, tam kad minėtame ruošinyje lazerinės spinduliuotės pluoštas suformuotų vieną šalia kitos reikiamą skaičių vientisų pažaidos sričių, suformuojant ruošinio pjovimo/skilimo plokštumą,

kuriame lazerinės spinduliuotės pluoštą fokusuoja apdirbamo ruošinio apatinėje dalyje, kur kiekvienas lazerio spinduliuotės impulsų paketas ruošinio tūryje suformuoja pasirinkto ilgio dalinę pažaidos sritį ir tuo pačiu metu vykdo skaidrios medžiagos ruošinio perstūmimą atžvilgiu lazerinės spinduliuotės pluošto taip, kad lazerinės spinduliuotės impulsų paketų suformuotos dalinės pažaidos sritys, išsidėsto viena po kitos ir greta viena kitos taip, kad kiekvienos dalinės pažaidos srities apatinė dalis susilieja su prieš ją suformuotos dalinės pažaidos srities viršutine dalimi, suformuojant link ruošinio paviršių tęstancią ir perstūmimo kryptimi pasvirusią vientisą pažaidos sritį.

Lazerinės spinduliuotės sub-impulsų skaičius pakete yra ne mažiau kaip du. Apdirbamas ruošinys yra optiškai skaidrios medžiagos, tokios kaip stiklas arba chemiškai grūdintas stiklas arba safyras arba kitokios kristalinės medžiagos. Lazerinės spinduliuotės paketų suformuota pasvirusios vientisos pažaidos srities matmuo spinduliuotės sklidimo kryptimi, statmena plokštelės viršutiniam ir apatiniam paviršiams, yra mažesnis už plokštelės pavidalo ruošinio storį ir nesisieja nei su apatiniu nei su viršutiniu plokštelės paviršiumi, arba pažaidos srities matmuo lazerinės spinduliuotės sklidimo kryptimi, statmena plokštelės minėtiems paviršiams, atitinka plokštelės pavidalo ruošinio storį ir siejasi su abiem apatiniu ir viršutiniu plokštelės paviršiais, arba pažaidos srities matmuo spinduliuotės sklidimo kryptimi, statmena plokštelės paviršiams, yra mažesnis už plokštelės pavidalo ruošinio storį ir siejasi su vienu iš minėtų paviršių. Laikinis atstumas tarp sub-impulsų pakete gali būti nuo kelių nanosekundžių iki kelių dešimčių nanosekundžių.

Suformuotos pasvirusios vientisos pažaidos srities pavidalą ir šių pažaidos sričių pasikartojimo dažnį pjovimo/skilimo plokštumoje keičia, keičiant apdorojamo ruošinio ir jame fokusuojamo lazerinės spinduliuotės pluošto perstūmimo vienas kito atžvilgiu greitį ir/arba sub-impulsų skaičių pakete.

Suformuota pasvirusi vientisa pažaidos sritis gali būti linijos arba laužtinės linijos arba lanko pavidalo priklausomai nuo pasirinkto minėto perstūmimo greičio ir/arba sub-impulsų skaičiaus minėtame pakete.

Pagal išradimo konstrukcinį išpildymą pasiūlytame skaidrių medžiagų apdirbimo įrenginyje, apimančiame lazerinės spinduliuotės šaltinį, generuojantį lazerinės spinduliuotės pluoštą, suformuotą iš impulsų paketų, optiką, skirtą lazerinės spinduliuotės pluoštui, suformuotam iš impulsų paketų, nukreipti į apdirbamą ruošinį,

kur ruošinio medžiaga yra skaidri į ją krentančiam lazerinės spinduliuotės bangos ilgiui, optinę sistemą, lokalizuojančią lazerinę spinduliuotę apdirbamame ruošinyje, kur lazerinės spinduliuotės paketą sudarančių sub-impulsų trukmė, pasikartojimo dažnis ir energija parinkti taip, kad kiekvienas minėtas impulsų paketas apdirbamo ruošinio medžiagoje viršija optinės pažaidos slenkstį ir suformuoja pažaidos sritį, kuri tęsiasi minėto lazerinio pluošto sklaidimo kryptimi, perstūmimo mechanizmą, skirtą minėtam apdirbamam ruošiniui ir lazerinės spinduliuotės pluoštui valdomai perstumti vienas kito atžvilgiu tam, kad minėtame ruošinyje lazerinės spinduliuotės impulsų paketai suformuotų viena šalia kitos reikiamą skaičių ištisinių pažaidos sričių, suformuojant ruošinio pjovimo/skilimo plokštumą, ir perkėlimo valdymui skirtą valdiklį, kur pažaidos sritys skaidrios medžiagos ruošinyje yra formuojamos būdu pagal bet kurį iš 1-7 apibrėžties punktų.

Išradimo naudingumas

Vientisos pažaidos srities formavimas iš dalinių pažaidos sričių dinaminio būdu, t. y. vykdant apdirbamo ruošinio ir lazerinės spinduliuotės pluošto, veikiančio impulsų paketų režimu, perstūmimą vienas kito atžvilgiu, kur suformuota vientisa pažaidos sritis tęsiasi nuo apdirbamo ruošinio apatinės dalies link viršutinės dalies ir yra pasvirusi ruošinio perstūmimo kryptimi bei gali būti linijos arba laužtinės linijos arba lanko pavidalo, priklausomai nuo pasirinkto minėto perstūmimo greičio ir/arba sub-impulsų skaičiaus minėtame pakete, leidžia žymiai padidinti skaidrių terpių lazerinio apdorojimo našumą ir greitį pjaunant ar skaldant skaidrios medžiagos ruošinį.

Pasiūlytame skaidrių terpių pjovimo būde ir įrenginyje, eksperimentiškai parenkant ir tarpusavyje derinant parametrus tokius kaip impulsų paketo dydis, lazerio vidutinė galia, perstūmimo greitis, apdirbamo skaidrios medžiagos ruošinio storis, pluošto diametras sąsmaukoje, pluošto fokuso padėties atstumas nuo skaidrios medžiagos dugno, leidžia padidinti ne tik apdorojimo greitį bet tuo pačiu pagerina skaidrių medžiagų apdorojimo kokybę skaldant ar pjaunant skaidrias medžiagas

Pasiūlytame skaidrių terpių pjovimo būde ir įrenginyje raižymo/atskyrimo greitis yra didesnis, lyginant su kitais pjovimo metodais, nes formuojant periodines pasvirusias pažaidas vienu lazerio pluošto praėjimu per medžiagą pažeidžiama didelė raižomo padėklo skilimo plokštumos dalis. Viena pasvirusi pažaida užima

maksimaliai didelį skilimo plokštumos dalį, nes prasideda nuo bandinio apačios ir, nekeičiant lazerio pluošto židinio padėties, pažaida savaime įstrižai kyla iki apdirbamos plokštelės viršaus. Tokiu būdu gaunamas didelis skaidrių terpių apdirbimo greitis. Raižant kitais pjovimo būdais vienu praėjimu pažeidžiama tik maža skaidrios plokštelės aukščio(storio) dalis, todėl dažnai reikalingi keli lazerio spinduliuotės praėjimai per medžiagą, kas kelis kart sumažina suminį apdorojimo greitį. Raižant šviesos gijų inicijuotomis statmenomis pažaidomis, kurių aukštis užima beveik visą bandinio storį, užtenka vieno praėjimo per medžiagą, tačiau filamentus tenka formuoti arti vienas kito, kas labai riboja apdorojimo greitį.

Pasiūlytame skaidrių terpių pjovimo būde ir įrenginyje apdirbimo kokybė yra pagerinama nes pažeistos/skilusios medžiagos skaldymo plokštumoje santykis yra labai mažas lyginant su kitais pjovimo būdais. Didelis sukilusios medžiagos plotas, turintis optinę kokybę, reikalingas vidaus atspindžio formavimui nuo šoninių apdirbtų paviršių ir geresniam šviesos išvedimui iš šviestukų. Mažas pažeistos medžiagos plotas naudingas, siekiant gauti kuo mažesnę šviesos išbarstymą šviestukuose nuo šoninių apdirbamo ruošinio paviršių. Todėl pasiūlytas skaidrių terpių pjovimo būdas ir įrenginys pagerina skaidrių medžiagų apdirbimo kokybę. Raižant kitais būdais, gretimos pažaidos formuojamos labai mažu atstumu viena nuo kitos, todėl pažeistos ir barstančios šviesą skilimo plokštumos plotas yra labai didelis, kas blogina šviestukų kokybę.

Trumpas brėžinių aprašymas

Detaliau išradimas paaiškinamas brėžiniais, kur

Fig.1 - pavaizduota skaidrių terpių lazerinio pjovimo įrenginio blokinė schema.

Fig.2 - pavaizduotos impulsų paketų intensyvumo, susieto su sub-impulsų skaičiumi impulsų pakete, priklausomybės nuo laiko keli variantai.

Fig.3 - pavaizduotas skaidrios medžiagos apdirbamo ruošinio skersinis pjūvis, kuriame parodyta vientisa pasvirusi linijinė pažaidos sritis suformuota iš dalinių pažaidos sričių, judant pasirinktu perstūmimo greičiu apdirbamam ruošiniui lazerinės spinduliuotės pluošto atžvilgiui.

Fig.4 - pavaizduota skaidrios terpės izometrinė projekcija, kurioje parodytos paeiliui išdėstytos viena šalia kitos vientisos pasvirusios linijinės pažaidos sritys,

suformuojančios ruošinio pjovimo/skilimo plokštumą.

Fig.5 - pavaizduoti dažniausiai gaunamų pavidalų vientisų pažaidos sričių seka.

Fig.6 - pavaizduoti keturi skirtingi lazerinės spinduliuotės pluošto vertikalios fokusavimo padėties atvejai ir su jais susiję skirtingi pažaidų sričių išsidėstymai pjovimo/skilimo plokštumoje.

Fig.7 – pasiūlytu būdu lazeriu perpjautos skaidrios medžiagos plokštelės skerspjūvio vaizdas.

Geresniam šio išradimo esmės supratimui pateikiame pasiūlyto įrenginio, veikimo principą, realizuojantį pasiūlytą pjovimo būdą. Pateikiami pavyzdžiai neriboja patento apsaugos, tačiau leidžia geriau suprasti šio išradimo įgyvendinimą.

Išradimo realizavimo pavyzdžiai

Fig.1 pavaizduotas lazerinio pjovimo įrenginys. Lazerinis spinduliuotės šaltinis 1, galintis generuoti lazerinės spinduliuotės pluošto impulsų paketus. Kryptingas lazerinės spinduliuotės pluoštas 2 veidrodžių 3 ir 4 pagalba nukreipiamas skaidraus apdirbamo ruošinio, pavyzdžiui skaidrios medžiagos plokštelės 5 link. Lazerinės spinduliuotės pluošto 2 kelyje išdėstytas pluošto diametro plėstuvus arba teleskopas 6, skirtas reguliuoti lazerinės spinduliuotės pluošto diametrą ant fokusuojančio lęšio arba objektyvo 7. Lazerinės spinduliuotės pluošto diametro plėstuvus 6 gali būti bet kokia glaudžiamųjų, sklaidomųjų ar kitų lęšių sistema, galinti padidinti lazerinės spinduliuotės pluošto diametrą norimą skaičių kartų, priklausomai nuo pluošto plėstuvo parametrų ir/arba pakeisti pluošto skėstį. Šio išradimo pateikiamoje skaidrių terpių pjovimo sistemoje pluošto diametro plėstuvus 6 yra išdėstomas prieš optinę fokusavimo priemonę 7. Optinė fokusavimo priemonė 7, gali būti lęšis arba lęšių sistema, arba optinis objektyvas, kuris yra skaidrus arba dalinai skaidrus lazerinės spinduliuotės bangos ilgiui. Lazerinės spinduliuotės pluoštas 2 optine fokusavimo sistema 7 yra fokusuojamas skaidrios medžiagos plokštelės 5 tūryje bet kurioje pasirinktoje jos vietoje į pakankamai mažą dėmę 8, kad išaugtų lazerio spinduliuotės intensyvumas ir apdirbamos plokštelės 5 skaidrioje medžiagoje viršytų optinės pažaidos slenkstį, kuris gali pasireikšti kaip jonizacija, savaiminis fokusavimasis, šviesos gijų formavimasis, daugiafotonė sugertis ir kiti. Šis išradimas yra visiškai arba iš dalies susijęs su keliais iš minėtų efektų, tarp jų ir netiesinė

sugertimi. Netiesinės sugerties metu lazerio spinduliuotė sugerama apdirbamos skaidrios medžiagos plokštelės 5 lokalizuotame taške 8, sufokusuoto pluošto židinio aplinkoje. Tame taške inicijuojamas tūrinis skaidrios terpės pažeidimas. Apdirbama skaidrios medžiagos plokštelė 5 juda kryptimi 9 tam tikru greičiu lazerinės spinduliuotės pluošto 2 atžvilgiu ir skaidrios apdirbamos plokštelės tūryje formuojasi lazerio inicijuotų išdėstytų viena po kitos vientisų pažaidų seka, suformuojanti apdirbamos skaidrios medžiagos pjovimo/skilimo plokštumą.

Fig.2 pavaizduotas lazerio generuojamų lazerinės spinduliuotės impulsų paketų laikinės intensyvumo charakteristikos, kur koordinatinių ašyse 10, abscisių ašyje atidėtas laikas 11 ir ordinačių ašyse intensyvumas 12. Lazerinis impulsų paketas 13, gali būti sudarytas iš vieno impulso 14, bet geriau iš dviejų sub-impulsų 15, arba trijų sub-impulsų 16, arba keturių sub-impulsų 17 ir t.t. Sub-impulsų skaičius impulsų pakete gali būti nuo kelių iki kelių dešimčių. Impulsų pakete laikinis atstumas tarp sub-impulsų gali būti įvairus, nuo kelių nanosekundžių iki kelių dešimčių nanosekundžių. Impulsų paketai periodiškai kartojasi ir po pirmo impulsų paketo 13 seka antras analogiškas impulsų paketas 18. Tarpas tarp impulsų paketų gali būti labai įvairus, nuo milisekundžių iki mikrosekundžių, jis priklauso nuo lazerio impulsų pasikartojimo dažnio.

Fig.3 pavaizduotas skaidrios medžiagos apdirbamos skaidrios medžiagos plokštelės 5 skersinis pjūvis, kuriame parodyta vientisa pasvirusi linijinė pažaidos sritis, suformuota iš dalinių pažaidos sričių judant pasirinktu perstūmimo greičiu apdirbamai skaidrios medžiagos plokštei 5 lazerinės spinduliuotės pluošto 2 atžvilgiu. Lazerinei spinduliuotei skaidrios medžiagos plokštelė 5, turinti viršutinį paviršių 19 ir apatinį paviršių 20 yra stumiama tam tikru greičiu kryptimi 9 į jį krintančio lazerinės spinduliuotės pluošto 2 atžvilgiu. Stūmimo kryptis 9 yra statmena į skaidrios medžiagos plokštelę 5 krintančio lazerinės spinduliuotės pluošto kryptį 2. Plokštelės 5 judėjimo kryptis 9 yra lygiagreti viršutiniam plokštelės paviršiui 19 ir apatiniui plokštelės paviršiui 20. Lazerinės spinduliuotės pluoštas 2 sufokusuojamas taške 8 nedideliu atstumu nuo plokštelės 5 apatinio paviršiaus 20. Nei vertikali nei horizontali pluošto fokusavimo padėtis pažaidos sričių formavimo metu nekeičiama. Skaidrios medžiagos plokštei 5 judant pasirinktu greičiu kryptimi 9 stacionaraus lazerinės spinduliuotės pluošto 2 atžvilgiu, lazerinės spinduliuotės impulsų paketai 13, 18 ir t.t. apšvitina vis kitą plokštelės 5 tūrio vietą išilgai slinkimo krypties 9, nes

plokštelė 5 dėl judėjimo pasislenka lazerinės spinduliuotės pluošto 2 atžvilgiu. Pirmasis lazerinės spinduliuotės pluošto impulsų paketas 13 pažeidžia skaidrios medžiagos plokštelės 5 turį arti plokštelės apatinio paviršiaus 20 ir suformuoja pirmą dalinę pažaidos sritį 21. Vėlesnis impulsų paketas 18 pasiekia plokštelę šiek tiek pasislinkęs į dešinę pusę pirmojo impulsų paketo padarytos dalinės pažaidos srities 21 atžvilgiu, kadangi plokštelė 5 juda tam tikru greičiu kryptimi 9 į kairę pusę. Antras impulsų paketas 18 pažeidžia skaidrią terpe tam tikrame aukštyje virš pirmojo paketo padarytos dalinės pažaidos srities 21, nes antrasis impulsų paketas 18 yra sugeriamas pirmojo paketo 13 suformuotos dalinės pažaidos srities 21, todėl antrojo impulsų paketo 18 suformuotos dalinės pažaidos srities 22 apatinė dalis susilieja su pirmojo impulsų paketo 13 suformuotos dalinės pažaidos srities 21 viršutine dalimi. Dviejų impulsų paketų 13 ir 18 suformuotos pažaidos dalinės sritys 21 ir 22 yra dalinai persiklojusios ir tarpusavyje susiliejusios. Trečias impulsų paketas suformuoja dalinę pažaidą 23 ir analogiškai jos apatinė dalis atitinkamai persikloja ir susilieja su pažaidos srities 22 viršutine dalimi. Vėlesni impulsų paketai analogiškai plokštelės 5 tūryje formuoja greta ir vis aukščiau kitas dalines pažaidos sritis 24, 25 ir besijungiančių dalinių pažaidų formavimo procesas tęsiasi tol, kol dalinė pažaidos sritis, pavyzdžiui 25 suformuojama prie plokštelės 5 viršutinio paviršiaus 19, taip suformuojant link plokštelės viršutinio paviršiaus 19 įtįstančią ir perstūmimo kryptimi 9 pasvirusią pirmąją vientisą pažaidos sritį 26, sudarytą iš susijungusių dalinių pažaidos sričių 21, 22, 23, 24 ir 25. Toliau slenkant skaidrios medžiagos plokštei 5, dalinė pažaidos sritis viršutinėje dalyje nebesusiformuoja, nes lazerinės spinduliuotės pluoštas 2 prie plokštelės viršutinio paviršiaus 19 yra išsifokusavęs ir nebeužtenka energijos tankio impulsų pakete pažeisti plokštelės 5 skaidrios medžiagos tūrį, todėl dalinių pažaidos sričių formavimo procesas vėl kartojasi, pradedant nuo skaidrios medžiagos plokštelės 5 apatinės dalies, suformuojant joje dalinę pažaidos sritį 27 ir analogiškai aukščiau aprašytu būdu formuojant kitas dalines pažaidos sritis taip suformuojant analogiškai pirmajai kitas pasvirusias vientisas pažaidos sritis, sudarytas iš susijungusių dalinių pažaidos sričių. Rodyklės 28 rodo vientisų pasvirusių pažaidos sričių 26, 29 formavimosi kryptį nuo plokštelės 5 apatinės dalies link viršutinės dalies ir pasibaigus formuotis vientisai pažaidai persikėlimo kryptį nuo plokštelės viršutinės dalies iki apatinės dalies. Vientisa pažaida formuojasi plokštumoje 30, kurioje guli lazerinės spinduliuotės pluošto 2 sklidimo krypties vektorius ir skaidrios medžiagos plokštelės 5 judėjimo krypties vektorius 9.

Fig.4 pavaizduota skaidrios medžiagos plokštelės 5 su viršutiniu paviršiumi 19 ir apatiniu paviršiumi 20 izometrinė projekcija, kurioje parodytos vientisos pasvirusios pažaidos sritys 29 periodiškai suformuotos plokštelei 5 judant tam tikru greičiu kryptimi 9 atžvilgiu lazerinės spinduliuotės pluošto 2, kur judėjimo kryptis 9 yra statmena lazerinės spinduliuotės pluošto 2 sklidimo kryptčiai. Kadangi pažaidos sričių formavimo procesas yra periodinis, formuojasi identiškos arba beveik identiškos pažaidos 29. Jos sukuria skilimo plokštumą 30. Skilimo plokštumoje 30 guli plokštelės judėjimo krypties vektorius 9 ir lazerinės spinduliuotės pluošto 2 sklidimo krypties vektorius. Periodinių pažeidimų suformuotoje plokštumoje dėl susidariusių mechaninių įtempimų formuojasi skilimo plokštuma 30. Pridėjus išorinę jėgą skaidrios medžiagos plokštelė perskyla per minėtą plokštumą 30.

Fig. 5 pavaizduoti šeši dažniausiai pasitaikantys vientisų pavirsių periodiškai suformuotų pažaidos sričių 29 pavidalai 31, 32, 33, 34, 35 ir 36. Periodinių vientisų pasvirusių pažaidų pavidalas gali kisti, priklausomai nuo plokštelės 5 perstūmimo greičio ir/arba sub-impulsų skaičiaus pakete ir/arba lazerinės spinduliuotės pluošto 2 fokusavimo sąlygų. Periodiškai besikartojančios vientisos pasvirusios tiesios linijos pavidalo pažaidos sritys 29 su pastoviu pasvirimo kampu pavaizduotos schemose 31, 32. Schemoje 32 pavaizduotos periodinės pasvirusios tiesios linijos pavidalo pažaidos sritys 29, kurių pasvirimo kampas ir periodinio pasikartojimo periodas yra didesnis nei schemoje 31 pavaizduotų pažaidos sričių 29. Schemoje 33 pavaizduotos laužtinės linijos pavidalo pasvirusios vientisos periodinės pažaidos sritys 29. Laužtinės linijos pavidalo pažaidos srities apatinė dalis formuojasi mažesniu pasvirimo nuo vertikalės kampu nei viršutinioji jos dalis. Schemoje 34 pavaizduotos vientisos lanko pavidalo pasvirusios pažaidos sritys 29, kurių pasvirimo kampas priklauso nuo pažaidos srities formavimosi aukščio padėties. Šioje schemoje formuojasi lenktos formos periodinės pažaidos. Schemoje 35 pavaizduotos vientisos pasvirusios lanko pavidalo tarpusavyje susijungusios pažaidos sritys 29. Pažaida pradžioje turi kylančią į viršų, o vėliau žemyn besileidžiančią pažaidos dalį. Schemoje 36 pavaizduotos periodiškai besikartojančios lanko pavidalo vientisos tarpusavyje susijungusios pažaidos sritys, kurių vienos pažaidos srities pavidalas artima parabolės pavidalui. Parabolės formos pažaidos sritis turi pasvirusią kylančią pirmąją dalį ir besileidžiančią pasvirusią antrąją dalį. Besileidžianti pažaidos dalis prisijungia prie vėliau susidarančios pažaidos kylančios dalies ir taip susiformuoja vientisa

periodinė pažaidos sritis.

Fig.6 pavaizduoti keturi skirtingi lazerinės spinduliuotės pluošto 2 fokusavimo vietos 8 aukščiai atžvilgiu skaidrios medžiagos plokštelės 5 apatinio paviršiaus 20 ir su tuo susiję formuojamų ištisinių pažaidos sričių išsidėstymas padėtyse 37, 38, 39 ir 40. Padėtyje 37 lazerinės spinduliuotės pluošto 2 fokusavimo vieta 8 yra virš plokštelės 5 apatinio paviršiaus 20. Šiuo atveju pasivirusios vientisos periodinės pažaidos sritys 29 formuojamos skaidrios plokštelės 5 tūryje nesisieja nei su apatiniu plokštelės paviršiumi 20 nei su viršutiniu plokštelės paviršiumi 19 t.y. pažaidos sričių masyvas nepasiekia ir nepažeidžia nei viršutinio nei apatinio plokštelės 5 paviršių 19, 20. Padėtyje 38 lazerinės spinduliuotės pluošto 2 fokusavimo vieta 8 yra pakelta šiek tiek aukščiau virš apatinio plokštelės paviršiaus 20 nei padėtyje 37, todėl vientisos pasivirusios periodiškai besikartojančios pažaidos sritys 29 pasiekia ir pažeidžia skaidrios medžiagos plokštelės 5 viršutinį paviršių 19 bet nesisieja su apatiniu paviršiumi 20. Padėtyje 39 lazerinės spinduliuotės pluošto 2 fokusavimo vieta 8 sutampa arba yra žemiau apatinio skaidrios plokštelės 5 paviršiaus 20, todėl pasivirusios vientisos periodiškai besikartojančios pažaidos sritys 29 siejasi su plokštelės 5 apatiniu paviršiumi 20 ir jį pažeidžia, tačiau jos nesisieja ir nepažeidžia skaidrios medžiagos plokštelės 5 viršutinio paviršiaus 19. Padėtyje 40 lazerinės spinduliuotės pluošto fokusavimo vieta 8 sutampa arba yra žemiau skaidrios medžiagos plokštelės 5 apatinio paviršiaus 20. Pasivirusios vientisos periodiškai besikartojančios pažaidos sritys 29 siejasi ir pažeidžia plokštelės 5 apatinį paviršių 20 ir viršutinį paviršių 19. Pažaidų masyvas formuojasi per visą plokštelės 5 storį.

Fig. 7 Pasiūlytu būdu lazeriu perpjautos skaidrios plokštelės skerspjūvio optinio mikroskopo nuotrauka. Joje matomi: lazerio spinduliuotei 2 skaidrios medžiagos plokštelė 5 su viršutiniu paviršiumi 19 ir apatiniu paviršiumi 20 bei periodiškai suformuotos pažaidos sritys 29. Lazerio spinduliuotės suformuotos pažaidos sritys 29 yra identiškos. Periodiškai suformuotų pažaidos sričių plokštumoje dėl susidariusių mechaninių įtempimų formuojasi skilimo plokštuma 30. Pridėjus išorinę jėgą skaidrus padėklas greitai skyla per minėtą plokštumą 30.

IŠRADIMO APIBRĖŽTIS

1. Skaidrių medžiagų apdirbimo būdas, apimantis šiuos etapus:

- lazerinės spinduliuotės pluošto, suformuoto iš impulsų paketų, nukreipimą į apdirbamą ruošinį, kur ruošinio medžiaga yra skaidri į ją krentančiam lazerinės spinduliuotės bangos ilgiui,

- minėtos lazerio spinduliuotės pluošto fokusavimą apdirbamo ruošinio tūryje,

- lazerio spinduliuotės paketą sudarančių impulsų trukmės, pasikartojimo dažnio ir energijos parinkimą taip, kad kiekvienas minėtas impulsų paketas apdirbamo ruošinio medžiagoje viršytų optinės pažaidos slenkstį ir suformuotų pažaidos sritį, kuri tęsiasi minėto lazerinio pluošto sklidimo kryptimi,

- minėto apdirbamo ruošinio ir lazerinės spinduliuotės pluošto, veikiančio impulsų paketų režimu, valdomą perstūmimą vienas kito atžvilgiu, tam, kad minėtame ruošinyje lazerinės spinduliuotės pluoštas suformuotų viena šalia kitos reikiamą skaičių vientisų pažaidos sričių, suformuojant ruošinio pjovimo/skilimo plokštumą,

b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad

- lazerinės spinduliuotės pluoštą fokusuoja apdirbamo ruošinio apatinėje dalyje, kur kiekvienas lazerio spinduliuotės impulsų paketas ruošinio tūryje suformuoja pasirinkto ilgio dalinę pažaidos sritį,

tuo pačiu metu vykdo skaidrios medžiagos ruošinio perstūmimą lazerinės spinduliuotės pluošto atžvilgiu taip, kad lazerinės spinduliuotės impulsų paketų suformuotos dalinės pažaidos sritys, išsidėsto viena greta kitos taip, kad kiekvienos dalinės srities apatinė dalis susilieja su prieš ją suformuotos dalinės pažaidos srities viršutine dalimi, suformuojant link ruošinio paviršių tįstančią ir perstūmimo kryptimi pasvirusią vientisą pažaidos sritį.

2. Būdas pagal 1 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad lazerinės spinduliuotės sub-impulsų skaičius pakete yra ne mažiau kaip du.

3. Būdas pagal 1 arba 2 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad apdirbamas ruošinys yra optškai skaidrios medžiagos, tokios kaip stiklas arba chemiškai grūdintas stiklas arba safyras arba kitokios kristalinės medžiagos.

4. Būdas pagal bet kurį iš 1-3 punktų, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad lazerinės spinduliuotės impulsų paketų suformuota pasvirusios vientisos pažaidos srities matmuo spinduliuotės sklidimo kryptimi, statmena plokštelės viršutiniam ir apatiniam paviršiams, yra mažesnis už plokštelės pavidalo ruošinio storį ir nesisieja nei su apatiniu nei su viršutiniu plokštelės paviršiumi,

arba pažaidos srities matmuo lazerinės spinduliuotės sklidimo kryptimi, statmena plokštelės minėtiems paviršiams, atitinka plokštelės pavidalo ruošinio storį ir siejasi su abiem apatiniu ir viršutiniu plokštelės paviršiais, arba pažaidos srities matmuo spinduliuotės sklidimo kryptimi, statmena plokštelės paviršiams, yra mažesnis už plokštelės pavidalo ruošinio storį ir siejasi su vienu iš minėtų paviršių.

5. Būdas pagal bet kurį iš 1-4 punktų, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad laikinis atstumas tarp sub-impulsų pakete gali būti nuo kelių nanosekundžių iki kelių dešimčių nanosekundžių.

6. Būdas pagal bet kurį iš 1-5 punktų, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad suformuotos pasvirusios vientisos pažaidos srities pavidalą ir šių pažaidos sričių pasikartojimo dažnį pjovimo/skilimo plokštumoje keičia, keičiant apdorojamo ruošinio ir jame fokusuojamo lazerinės spinduliuotės pluošto perstūmimo vienas kito atžvilgiu greitį ir/arba impulsų skaičių pakete.

7. Būdas pagal 6 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad suformuota pasvirusi vientisa pažaidos sritis gali būti linijos arba laužtinės linijos arba lanko pavidalo priklausomai nuo pasirinkto minėto perstūmimo greičio ir/arba impulsų skaičiaus minėtame pakete.

8. Skaidrių terpių lazerinio pjovimo įrenginys, apimantis lazerinės spinduliuotės šaltinį, generuojantį lazerinės spinduliuotės pluoštą, suformuotą iš impulsų paketų,

- optiką, skirtą lazerinės spinduliuotės pluoštui, suformuotam iš impulsų paketų, nukreipti į apdirbamą ruošinį, kur ruošinio medžiaga yra skaidri į ją krentančiam lazerinės spinduliuotės bangos ilgiui,

- optinę sistemą, lokalizuojančią lazerinę spinduliuotę apdirbamame ruošinyje, kur lazerinės spinduliuotės paketą sudarančių impulsų trukmė, pasikartojimo dažnis ir energija parinkti taip, kad kiekvienas minėtas impulsų paketas apdirbamo ruošinio medžiagoje viršija optinės pažaidos slenkstį ir suformuoja

pažaidos sritį, kuri tęsiasi minėto lazerinio pluošto sklaidimo kryptimi,

- perstūmimo mechanizmą, skirtą minėtam apdirbamam ruošiniui ir lazerinės spinduliuotės pluoštui valdomai perstumti vienas kito atžvilgiu tam, kad minėtame ruošinyje lazerinės spinduliuotės impulsų paketai suformuotų viena šalia kitos reikiamą skaičių pažaidos sričių, suformuojant ruošinio pjovimo/skilimo plokštumą, ir perkėlimo valdymui skirtą valdiklį,

b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad pažaidos sritys skaidrios medžiagos ruošinyje yra formuojamos būdu pagal bet kurį iš 1-7 apibrėžties punktų.

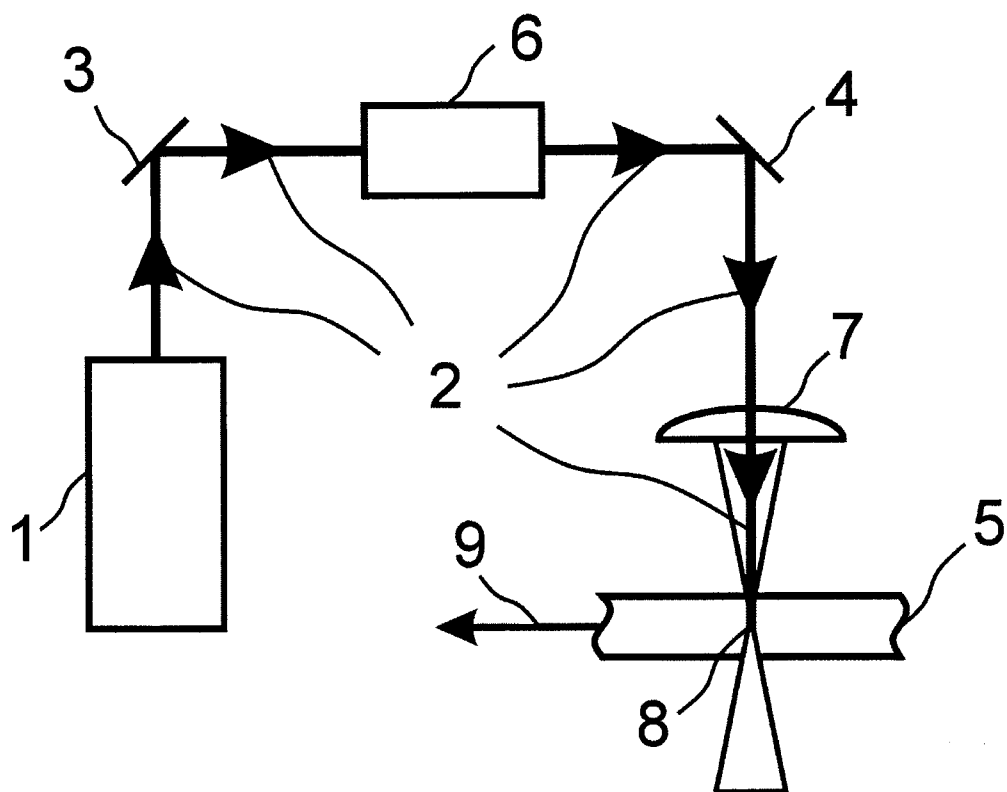


Fig. 1

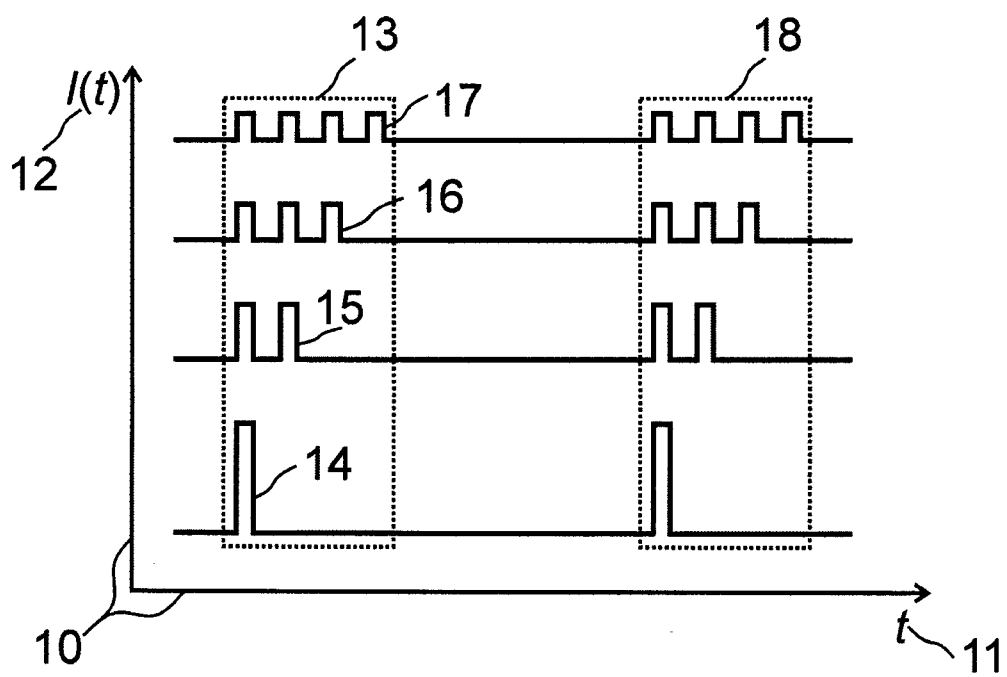


Fig. 2

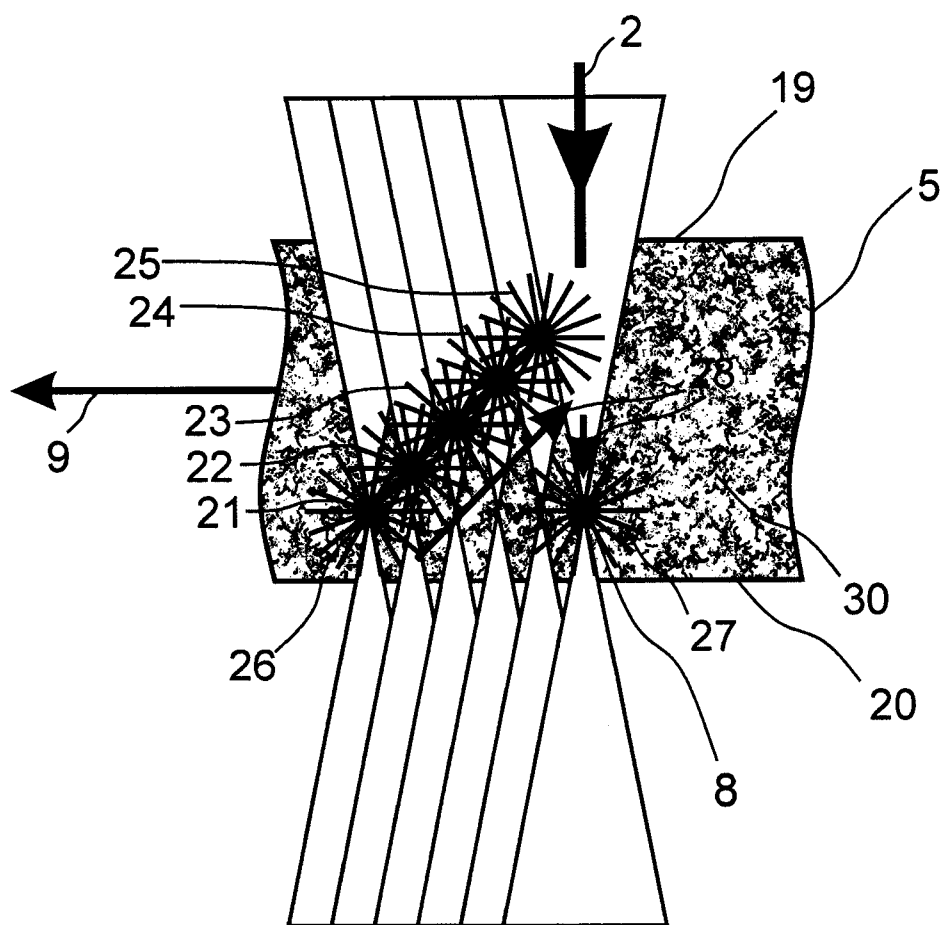


Fig. 3

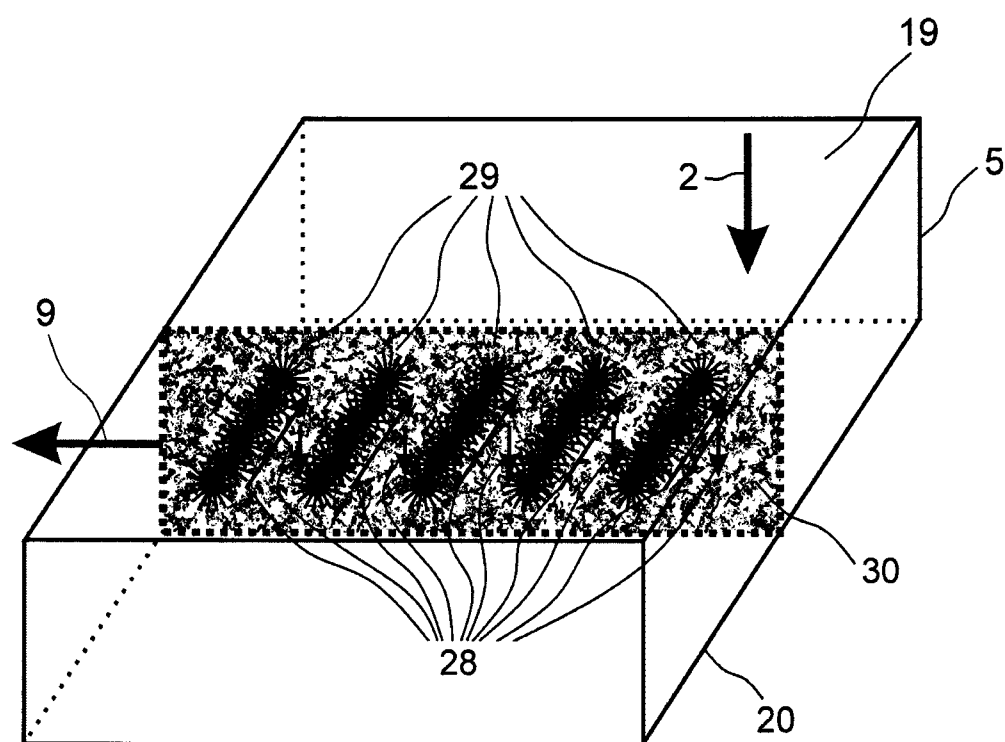


Fig. 4

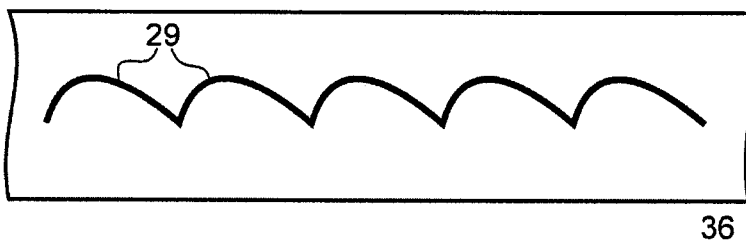
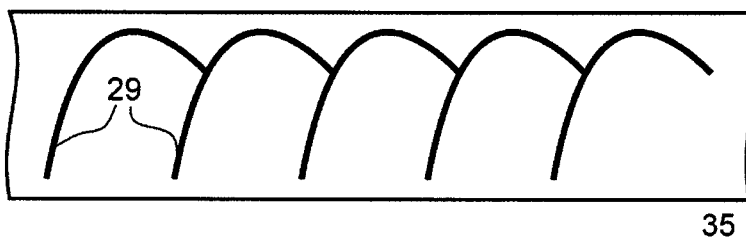
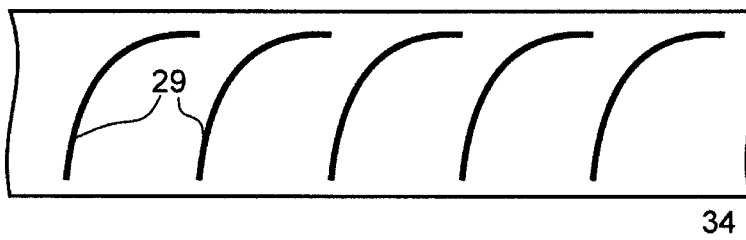
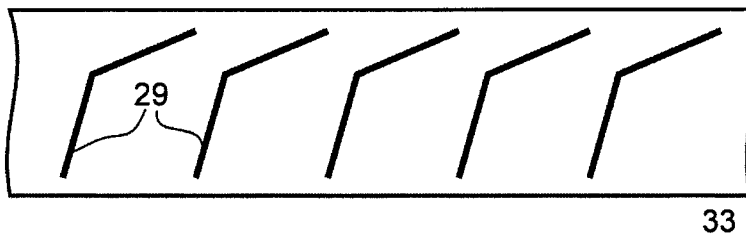
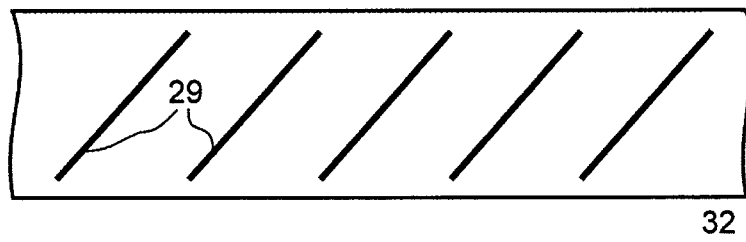
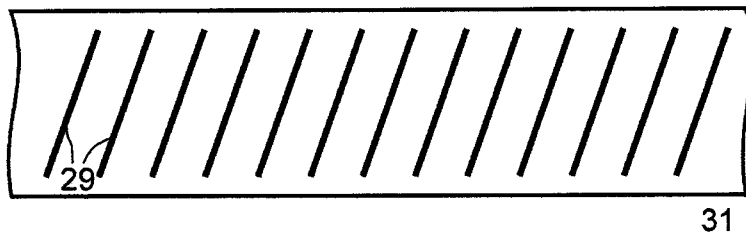


Fig. 5

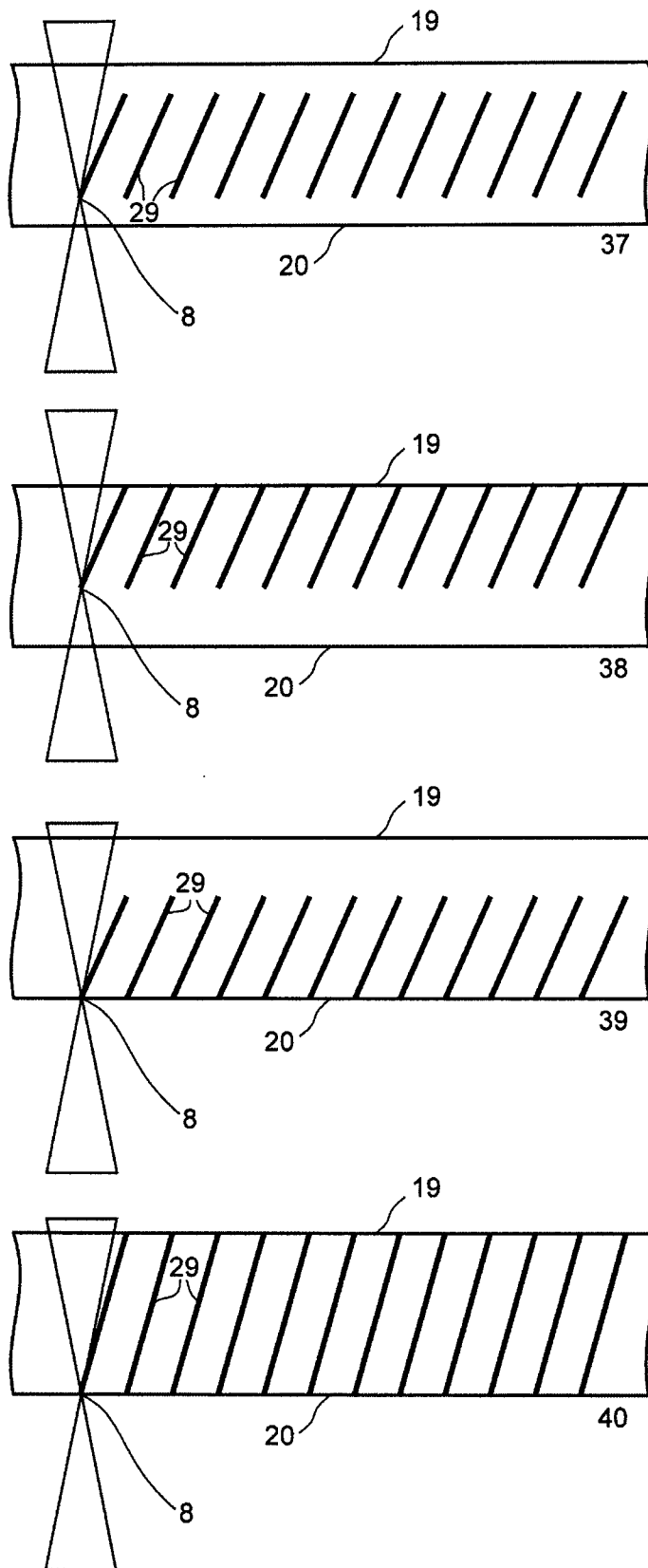


Fig. 6

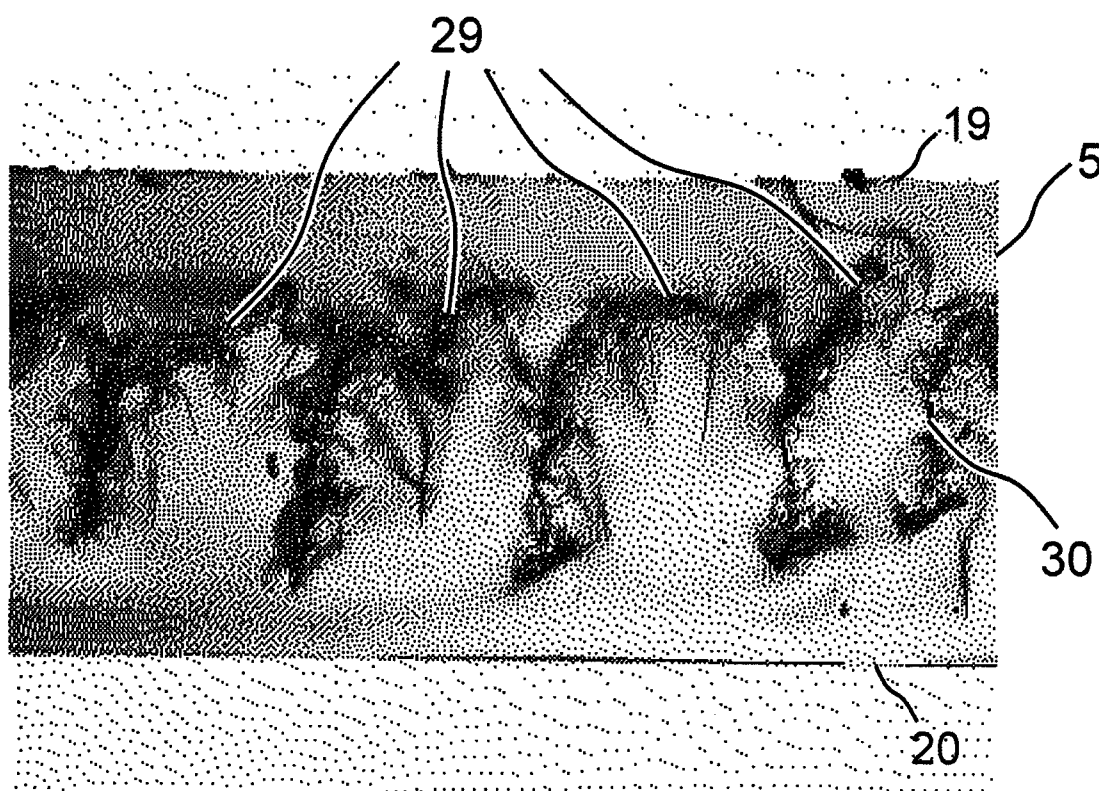


Fig. 7