

(19)



(10) **LT 2014 504 A**

(12) **PARAIŠKOS APRAŠYMAS**

(21) Paraiškos numeris: **2014 504**

(51) Int. Cl. (2015.01): **B23K 26/00**

(22) Paraiškos padavimo data: **2014 05 16**

(41) Paraiškos paskelbimo data: **2015 11 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: —

(71) Pareiškėjas:

**Valstybinis mokslinių tyrimų institutas Fizinių ir technologijos mokslų centras,
Savanorių pr. 231, LT-02300 Vilnius, LT
UAB „ELAS“, Savanorių pr. 231, LT-02300 Vilnius, LT**

(72) Išradėjas:

**Gediminas RAČIUKAITIS, LT
Mindaugas GEDVILAS, LT
Valdemar STANKEVIC, LT**

(74) Patentinis patikėtinis/atstovas:

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

(54) Pavadinimas:

Skaidrių terpių lazerinis pjovimo būdas ir įrenginys

(57) Referatas:

Išradimas yra susijęs su skaidrių terpių lazeriniu pjovimu, pagrįstu dviejų ultra-trumpų impulsų lazerinės spinduliuotės bangos ilgių panaudojimu ir jų laikiniu ir/arba erdvinio suderinimu. Pasiūlytas būdas apima dviejų skirtingų bangos ilgių impulsinės lazerio spinduliuotės pluošto fokusavimą apdirbamos skaidrios terpės viduje jos pjovimo srityje skirtingose fokusavimo plokštumose pagal apdirbamos terpės gylį, kur minėtų skirtingų bangos ilgių lazerio spinduliuočių impulsai į jų fokusavimo plokštumas ateina skirtingu laiku, kur ilgesnio bangos ilgio lazerio spinduliuotės impulsai yra užvėlinėti trumpesnės bangos ilgio spinduliuotės impulsų atžvilgiu. Pjovimo greitį ir kokybę valdo eksperimentiškai parenkant minėtų skirtingų bangos ilgių lazerio spinduliuočių impulsų užvėlinimo laiką, jų fokusavimo plokštumų erdvinę padėtį viena kitos atžvilgiu bei skirtingų bangos ilgių spinduliuočių impulsų energijų santykį.

SKAIDRIŲ TERPIŲ LAZERINIS PJOVIMO BŪDAS IR ĮRENGINYS

Išradimas yra susijęs su skaidrių terpių pjovimu. Konkrečiai, šis išradimas yra susijęs su skaidrių terpių lazeriniu pjovimu, pagrįstu dviejų ultra-trumpų impulsų lazerinės spinduliuotės bangos ilgių panaudojimu ir jų laikiniu ir/arba erdviu suderinimu.

Lazeriniam skaidrių terpių pjovimui arba raizymui naudojama daug būdų. Šiems būdams realizuoti naudojamos tiek optinės sistemos, kurias sudaro iš esmės vieno bangos ilgio lazerinis šaltinis su palyginti paprastu optiniu keliu bei fokusavimo optika, tiek ir sudėtingos, kuriose naudojami daugiau negu vienas lazerinis šaltinis arba lazeris, galintis vienu metu spinduliuoti kelių bangos ilgių spinduliuotę, kuri fokusuojama apdirbamos medžiagos paviršiuje ir/arba jos viduje (tūryje).

Pagrindiniu fokusavimo medžiagos viduje privalumu laikoma tai, kad medžiaga suskaldoma arba suraizoma negeneruojant nuolaužų, kurios galėtų užteršti arba pažeisti padėklo paviršiuje suformuotas puslaidininkio struktūras. Taip pat, atliekant pjūvį tūryje, pjūvio kokybė dažniausiai būna geresnė - tai prailgina puslaidininkinio prietaiso naudojimo trukmę, šviesos diodų atveju - sumažina šviesos išvedimo nuostolius ir pan.

Puslaidininkių ir ypač šviesos diodų pramonėje kaip padėklai dažniausiai naudojamos safyro arba silicio karbido plokštelės, kurios pasižymi geromis šiluminio laidumo savybėmis bei kristaline struktūra, tinkama auginti puslaidininkių kristalus. Skaidrių medžiagų pjaustymas lazeriu taip pat aktualus mobiliųjų telefonų, kompiuterių bei vaizduoklių pramonės šakoms. Dažnai tenka pjauti grūdinto stiklo plokštes. Čia taip pat svarbi pjūvio kokybė, kuri tiesiogiai lemia stiklo ruošinio gyvavimo trukmę ir atsparumą išoriniam mechaniniam poveikiui.

Daugumos skaidrių terpių pjaustymo sistemų veikimas yra pagrįstas lazerinio šaltinio generuojamo šviesos pluošto fokusavimu skaidrios terpės paviršiuje arba tūryje, tokiu būdu skaidrioje terpėje suformuojant mikro-įtrūkimą, dėl kurio skaidri terpė skyla arba yra sulaužoma, paveikus išorine jėga. Sudėtingesnėse sistemose pjovimui yra naudojami du lazerinės spinduliuotės bangos ilgiai, kurie yra derinami vienas kito atžvilgiu, siekiant paspartinti pjovimą ir pagerinti pjūvio kokybę. Tarptautinė patentinė paraiška Nr. WO02094528, publikuota 2002 lapkričio 28-ąją, aprašo lazerinį laminuotų

puslaidininkinių padėklų pjovimo būdą, kai naudojami du lazeriniai šaltiniai. Abu lazerių generuojami spinduliuotės pluoštai yra sufokusuojami iš esmės padėklo paviršiaus plokštumoje; pirmasis pluoštas yra skenuojamas paviršiuje tam kad suformuotų pjovimo linijas apsauginiame sluoksnyje, o antrasis pluoštas fokusuojamas pačios puslaidininkinės medžiagos paviršiuje, tačiau skenuojamas per pirmojo lazerio suformuotas pjovimo linijas taip, kad perpjautų medžiagą. Pjovimo sistemą sudaro pirmasis lazeris, kurio tam tikro bangos ilgio spinduliuotė fokusuojama ant apsauginio sluoksnio paviršiaus, ir antrasis lazeris, kurio kitokio bangos ilgio negu pirmojo spinduliuotė fokusuojama ant pačios puslaidininkinės medžiagos paviršiaus. Apsauginis sluoksnis pasižymi pirmuoju sugerties koeficientu, kuris yra susijęs su pirmojo lazerio spinduliuotės bangos ilgiu, o puslaidininkinė medžiaga pasižymi antruoju sugerties koeficientu, kuris yra mažesnis negu pirmasis. Pirmojo lazerio pluošto energiją sugeria apsauginis sluoksnis - taip suformuojamos pjovimo linijos, o antrojo lazerio pluoštas perpjauna puslaidininkinę medžiagą per minėtas pjovimo linijas.

Singapūro patentas Nr. SG108262, publikuotas 2005 sausio 28-ąją, aprašo keletą sluoksnių medžiagos pjovimo būdą ir įrenginį, panaudojant dviejų lazerinių šaltinių spinduliuotę. Išradime naudojami du lazerinio spinduliuotės šaltiniai, vienas yra fokusuojamas pirmajame medžiagos sluoksnyje, kitas fokusuojamas antrajame medžiagos sluoksnyje tam kad abu sluoksniai būtų abliuojami vienu metu. Lazerinių šaltinių bangos ilgiai ir kiti parametrai yra pasirenkami taip, kad būtų tinkamiausi apdirbti abliuojamas medžiagas. Šis išradimas daugiausia taikomas puslaidininkinių plokštelių pjovimui.

Pietų Korėjos patentas Nr. KR20020043314, publikuotas 2002 birželio 10-ąją aprašo stiklo pjovimo būdą ir įrenginį. Stiklo pjovimo būdas apima šiuos etapus: naudojant pirmąjį šviesos pluošto generatorių, kurio spinduliuotės bangos ilgis yra nuo 100 nm iki 600 nm arba CO₂ lazerio bangos ilgis, stikle išraižo linijas; sukelia terminį pažeidimą ir valdo pjovimą, naudojant kitokios galios lazerį; stiklą kaitina palei išraižytą liniją, naudojant rakto skylutės formos pluoštą, kurį spinduliuoja antrasis šviesos pluošto generatorius; įkaitusio stiklo šaldymą, naudojant kietą, greitai garuojančią aušinimo terpę, pavyzdžiui sausą ledą; ant stiklo likusios šaldymo terpės pašalinimą, naudojant orinį

šildytuvą; vykdo antrąjį pjovimą palei išraižytą liniją, naudojant trečiąjį šviesos pluošto generatorių; pakartotinai kaitina, kurio metu vyksta stiklo terminis skilimas.

Jungtinių Amerikos Valstijų patentinė paraiška Nr. US20070202619, publikuota 2007 rugpjūčio 30-ąją, aprašo lazerinį medžiagų apdirbimo įrenginį ir būdą. Lazerinis įrenginys apima šviesos spinduliuotės šaltinį, kuris vienu metu generuoja dviejų bangos ilgių spinduliuotę. Abiejų pluoštų fokusavimo padėtys plokštelėje yra skirtingos. Yra suformuojamos trys modifikuotų medžiagos vietų grupės. Vieną grupę sudaro du sluoksniai, vienu metu gali būti suformuojama tik viena grupė. Modifikuotų medžiagos vietų grupės yra atskirtos, sujungtos arba persiklojančios palei iš anksto nustatytą pjovimo liniją.

Tarptautinė patentinė paraiška Nr. WO2009114375, publikuota 2009 rugsėjo 17-ąją, aprašo skaidrių terpių apdirbimą, naudojant ultra-trumpus impulsus generuojantį šviesos spinduliuotės šaltinį. Išradimo aprašyme yra aptariami būdai, įrenginiai ir sistemos skaidrioms terpėms apdirbti ultra-trumpų impulsų lazeriais, taikant juos raižymui, suvirinimui, sujungimui ir žymėjimui. Pavyzdžiui ultra-trumpų impulsų lazeris vienu praėjimu per medžiagą suformuoja įraižas po medžiagos paviršiumi. Šiek tiek pakeitus ultra-trumpų 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 formotuvai, kuris vienu metu suformuoja keletą pluoštų, kurie yra fokusuojami skirtingose apdirbamos medžiagos plokštumose, taip ženkliai padidinant apdirbimo greitį. Išradimo apibrėžtyje minimas pjovimas, naudojant keletą lazerinės spinduliuotės bangos ilgių.

Tarptautinė patentinė paraiška Nr. WO2012006736A2, publikuota 2012 sausio 19-ąją, aprašo medžiagos apdirbimo būdą, naudojant filamentacijos reiškinių. Išradime aprašomas skaidrios terpės vidinio apdirbimo būdas, ruošiantis skaldymo žingsniui. Terpė yra eksponuojama sufokusuotu impulsiniu lazerio spinduliuotės pluoštu, kurio impulsų energija ir trukmė yra pasirenkami, kad būtų pakankami sukelti filamentacijos reiškinių apdirbamoje skaidrioje terpėje. Skaidri terpė gali slinkti lazerio pluošto atžvilgiu tam, kad

vienoje ar keliose terpės vietose būtų suformuojamas papildomas filamentas. Minėti filamentai sudaro rinkinį, kuris nusako kelią, per kurį terpė gali būti perskeliama. Lazerio pluošto parametrai gali būti keičiami, norint pakeisti filamento 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 filamento formavimuisi reikalingos energijos slenkstis, padidinamas filamento ilgis, pakaitinama filamento modifikuota sritis sumažinant aplinkinį pažeidimą, pagerinamas proceso atkartojamumas ir padidinamas apdirbimo greitis, lyginant su mažo pasikartojimo dažnio lazeriais.

Žinomi aukščiau aprašyti skaidrių terpių lazerinio pjovimo būdai ir įrenginiai naudoja lazerinės spinduliuotės fokusavimą skaidrios medžiagos viduje ir/arba paviršiuje, taip pat skaidrių terpių apdirbimą vykdo skirtingų bangos ilgių dviem ar daugiau lazerinėmis spinduliuotėmis vienu metu. Dažniausiai kelių bangos ilgių spinduliuotė naudojama tam, kad praėjusios fokusavimo optiką, skirtingos spinduliuotės komponentės fokusuotųsi skirtingame aukštyje, pjaunamos medžiagos tūryje.

Žinomi skaidrių terpių lazeriniai pjaustymo būdai ir įrenginiai neleidžia pasiekti pakankamai didelio pjovimo greičio ir kokybės.

Išradimu siekiama padidinti skaidrių terpių lazerinio pjovimo greitį ir kokybę.

Išradimo esmė yra ta, kad skaidrių terpių lazeriniame pjovimo būde, apimančiame dviejų skirtingų bangos ilgių impulsinės lazerio spinduliuotės pluoštų nukreipimą į apdirbamą skaidrią terpę ir fokusavimą jos viduje pjovimo srityje skirtingose fokusavimo plokštumose pagal apdirbamos terpės gylį, bei pjovimo greičio ir kokybės valdymą, eksperimentiškai parenkant minėtų skirtingų bangos ilgių lazerio spinduliuočių parametrus. Minėti skirtingų bangos ilgių lazerio spinduliuočių impulsai į jų fokusavimo plokštumas ateina skirtingu laiku, kur ilgesnio bangos ilgio lazerio spinduliuotės impulsai yra užvėlinėti trumpesnio bangos ilgio spinduliuotės impulsų atžvilgiu. Minėtų spinduliuočių bangos ilgius ir minėtų impulsų užvėlinimo laiką parenka priklausomai nuo konkrečios apdirbamos terpės taip, kad mažesnės bangos spinduliuotės impulsai apdirbamoje terpėje dėl optinio sužadinimo sukurtų didesnės sugerties sritį, o užvėlinėti

ilgesnio bangos ilgio spinduliuotės impulsai kristų į jau sukurtą minėtą didesnės sugerties sritį bei sukeltų apdirbamoje terpėje kryptingą skilimą pjovimo plokštumoje. Pjovimo greitį ir kokybę valdo, eksperimentiškai parenkant minėtų skirtingų bangos ilgių spinduliuočių impulsų tarpusavio užvėlinimo laiką, jų fokusavimo plokštumų erdvinę padėtį viena kitos atžvilgiu bei skirtingų bangos ilgių spinduliuočių impulsų energijų santykį. Ilgesnio bangos ilgio lazerio spinduliuotės pluoštas yra parenkamas iš artimosios infraraudonosios spektro srities, o trumpesnio bangos ilgio lazerio spinduliuotės pluoštas yra parenkamas iš tolimosios ultravioletinės spektro srities. Geriau, kai ilgesnio bangos ilgio lazerio spinduliuotės pluoštas yra iš regimosios spektro srities, o trumpesnio bangos ilgio lazerio spinduliuotės pluoštas yra iš mėlynosios arba ultravioletinės spektro srities. Taip pat gerai, kai trumpesnio bangos ilgio lazerio spinduliuotė yra antroji arba trečioji arba ketvirtoji ilgesnio bangos ilgio lazerio spinduliuotės harmonika. Ilgesnio bangos ilgio lazerio spinduliuotės pluošto energija yra maždaug nuo 2 iki 10 kartų didesnė už trumpesnės bangos ilgio lazerio spinduliuotės pluošto energiją. Ilgesnio bangos ilgio lazerio spinduliuotės pluošto fokusavimo plokštuma pagal apdirbamos terpės gylį yra arčiau jos įvadinio paviršiaus nei trumpesnio bangos ilgio lazerio spinduliuotės pluošto fokusavimo plokštuma. Ilgesnio bangos ilgio lazerio spinduliuotės pluoštas gali būti fokusuojamas apdirbamos terpės viduje taip, kad sukeltų netiesinį filamentacijos efektą.

Pasiūlytas skaidrių terpių pjovimo būdas pagrįstas pagrindinių parametų tinkamu parinkimu ir tarpusavio derinimu, kur pagrindiniai parametrai yra minėtas skirtingų bangos ilgių spinduliuočių impulsų tarpusavio suvėlinimo laikas, skirtingų bangos ilgių spinduliuočių impulso energijų santykis bei fokusavimo plokštumų erdvinis išdėstymas.

Privalumą turintis konstrukcinis pasiūlyto išradimo išpildymas yra skaidrių terpių lazerinio pjovimo įrenginys, apimantis lazerio šaltinį, generuojantį dviejų bangos ilgių impulsinę spinduliuotę, optinę fokusavimo priemonę, skirtą minėtas skirtingų bangos ilgių spinduliuotės pluoštus sufokusuoti apdirbamos terpės viduje skirtingose fokusavimo plokštumose pagal apdirbamos terpės gylį, ir optines priemones, skirtas minėtų skirtingų bangos ilgių spinduliuočių parametrams keisti, kuriame numatyta optinė užvėlinimo priemonė, patalpinta ilgesnio bangos ilgio spinduliuotės optiniame kelyje, skirta ilgesnio

bangos ilgio spinduliuotės impulsams užvėlinti trumpesnio bangos ilgio spinduliuotės impulsų atžvilgiu bei optinė priemonė, skirta keisti pagal apdirbamos terpės gylį vieno bangos ilgio spinduliuotės fokusavimo plokštumos padėtį kito bangos ilgio spinduliuotės fokusavimo plokštumos atžvilgiu, patalpinta bent viename lazerio spinduliuočių optiniame kelyje prieš minėtą optinę fokusavimo priemonę. Minėtas lazerio šaltinis, generuojantis bent dviejų bangos ilgių impulsinę spinduliuotę apima pirminį lazerio šaltinį, kurio spinduliuotės kelyje patalpintas bent dviejų bangos ilgių lazerio spinduliuočių formuotuvus ir optinė priemonė, skirta keisti minėtų dviejų bangos ilgių lazerio spinduliuočių energijų santykį.

Privalumą turinčiame pirmame pasiūlyto įrenginio variante minėtas dviejų bangos ilgių lazerio spinduliuočių formuotuvus apima poliarizacinį pluošto daliklį, kuris dalija pirminio lazerio šaltinio spinduliuotės pluoštą į dvi dalis, kurias nukreipia atitinkamai į du optinius kelius, viename iš kurių yra patalpintas harmonikų generatorius, skirtas pakeisti spinduliuotės bangos ilgį.

Kitame konstrukciniame išpildyme dviejų bangos ilgių lazerio spinduliuočių formuotuvus yra pirminio lazerio šaltinio spinduliuotės kelyje patalpintas keitiklis, konvertuojantis į jį įeinančios pirminio lazerio šaltinio spinduliuotės dalį į trumpesnio bangos ilgio spinduliuotę.

Optinė priemonė, skirta keisti minėtų dviejų bangos ilgių spinduliuočių energijų santykį apima pirminio lazerinio šaltinio spinduliuotės pluošto kelyje patalpintą pasukamą pusės bangos ilgio fazinę plokštelę. Optinė priemonė, skirta keisti vieno bangos ilgio spinduliuotės fokusavimo plokštumos padėtį kito bangos ilgio spinduliuotės fokusavimo plokštumos atžvilgiu yra lazerio spinduliuotės pluošto diametro plėstuvus patalpintas bent viename iš minėtų lazerio spinduliuočių optiniame kelyje prieš minėtą optinę fokusavimo priemonę.

Kitas privalumą turintis konstrukcinis pasiūlyto išradimo išpildymas yra skaidrių terpių lazerinio pjovimo sistema, apimanti pasiūlytą ir aukščiau aprašytą lazerinį pjovimo būdą ir/arba įrenginį.

Pagal išradimą pasiūlytas skaidrių terpių lazerinis pjovimo būdas ir įrenginys palyginus su žinomais turi daugiau parametų, kuriuos keičiant bei tarpusavyje derinant galima

pasiekti geresnių rezultatų, būtent skirtingų bangos ilgių lazerio spinduliuočių impulsų fokusavimas apdirbamos terpės pjovimo srityje skirtingose plokštumose taip, kad į fokusavimo plokštumas skirtingo bangos ilgio spinduliuočių impulsai ateitų skirtingu laiku, kur ilgesnio bangos ilgio lazerio spinduliuotės impulsai yra užvėlinami trumpesnio bangos ilgio spinduliuotės impulsų atžvilgiu bei konkrečiai apdirbamai medžiagai, keičiant minėtų impulsų užvėlinimo laiką, fokusavimo plokštumų erdvinę padėtį viena kitos atžvilgiu bei fokusuojamų spinduliuočių energijų santykį, leidžia eksperimentiškai juos suderinti ir parinkti optimaliausią minėtų parametrų derinį, kuriam esant žymiai padidėja skaidrių terpių pjovimo greitis ir kokybė.

Detaliau išradimas paaiškinamas brėžiniais, kur

Fig. 1 – pavaizduota skaidrių terpių lazerinio pjovimo įrenginio blokinė schema (pirmas variantas).

Fig. 2 – pavaizduotas skaidrios terpės skersinis pjūvis, kuriame pažymėta trumpesnės bangos spinduliuotės sukurta didesnės sugerties sritis ir ilgesnio bangos ilgio spinduliuotės sukeltas kryptingas pažeidimas bei terpės lūžio linija.

Fig. 3 - pavaizduota skaidrios terpės izometrinė projekcija, kurioje parodyti paeiliui padaryti pažeidimai, kurie suformuoja pjovimo (lūžio) liniją.

Fig. 4 - pavaizduota skaidrių terpių lazerinio pjovimo įrenginio blokinė schema (kitas variantas).

Pasiūlytas skaidrių terpių lazerinis pjovimo būdas apima šią operacijų seką. Du skirtingų bangos ilgių impulsinės lazerio spinduliuotės pluoštus fokusuoja apdirbamos terpės viduje pjovimo srityje skirtingose fokusavimo plokštumose pagal apdirbamos terpės gylį taip, kad minėti skirtingų bangos ilgių lazerio spinduliuočių impulsai į jų fokusavimo

plokštumas ateitų skirtingu laiku, kur ilgesnio bangos ilgio lazerio spinduliuotės impulsai užvėlinami trumpesnio bangos ilgio spinduliuotės impulsų atžvilgiu. Minėtų spinduliuočių bangos ilgius ir minėtą impulsų užvėlinimo laiką parenka priklausomai nuo konkrečios apdirbamos terpės taip, kad mažesnės bangos spinduliuotės impulsai apdirbamoje terpėje dėl optinio sužadavimo sukurtų didesnės sugerties sritį, o užvėlinti ilgesnio bangos ilgio spinduliuotės impulsai kristų į jau sukurtą minėtą didesnės sugerties sritį bei sukeltų apdirbamoje terpėje kryptingą skilimą pjovimo plokštumoje. Pjovimo greitį ir kokybę reguliuoja, eksperimentiškai parenkant minėtų skirtingų bangos ilgių lazerio spinduliuočių impulsų užvėlinimo laiką vienas kito atžvilgiu, jų fokusavimo plokštumų erdvinę padėtį viena kitos atžvilgiu bei skirtingų bangos ilgių spinduliuočių impulsų energijų santykį.

Fig. 1 pavaizduotas šio išradimo realizavimo įrenginio pirmas variantas, kuriame lazerio šaltinis, generuojantis bent dviejų bangos ilgių impulsinę spinduliuotę apima pirminį lazerinio šaltinį 1, kurio spinduliuotės pluošto optiniame kelyje patalpintas poliarizacinis pluošto daliklis 2, dalijantis jo spinduliuotę į du spinduliuotės pluoštus, kurie atitinkamai nukreipiami į du optinius kelius, kur pirmame optiniame kelyje 18 lazerio spinduliuotės bangos ilgis nepakinta, o antrajame optiniame kelyje 19 bangos ilgis keičiamas harmonikų generatoriumi 13 į trumpesnio bangos ilgio spinduliuotę. Pirminis lazerio šaltinis 1, tinkamiausiu atveju, generuoja artimosios infraraudonosios srities (IR) bangos ilgio, ultra-trumpuosius impulsus, t.y trumpesnius nei 10 pikosekundžių trukmės, lazerinę spinduliuotę. Minėtas harmonikų generatorius 13 keičia lazerio spinduliuotės bangos ilgį taip, kad gautą spinduliuotę apdirbama medžiaga labiau sugertų. Dažniausiai skaidrių medžiagų sugertis didėja ultravioletinėje (UV) spektro srityje. Pirminis lazerinis šaltinis 1 gali būti bet koks prietaisas, generuojantis lazerio spinduliuotę, kurios intensyvumo pakanka pažeisti arba modifikuoti skaidrią terpę 11 jos tūryje. Tinkamiausiu atveju, generuojamos spinduliuotės bangos ilgis yra artimojoje infraraudonoje spektro srityje (IR) ir parenkamas taip, kad apdirbama terpė būtų iš esmės skaidri šiai spinduliuotei ir būtų galima pažeidimą arba modifikaciją 14 suformuoti medžiagos tūryje, nepažeidžiant paviršiaus. Daugelis puslaidininkių pramonėje naudojamų padėklų bei vaizduokliuose naudojamų stiklų yra skaidrūs infraraudonojo diapazono spinduliuotei, todėl lazeriniai šaltiniai su neodimio, iterbio, titano jonais legiruotomis aktyviosiomis terpėmis, gali būti

pritaikomi. Lazerinis šaltinis gali būti vienas iš Nd:YAG, Yb:KGW, Yb:YAG, Ti:safyras aktyvių terpių pagrindu veikiančių ar panašaus tipo impulsinių lazerių. Lazerinio šaltinio 1 parinkimas neriboja šio išradimo apsaugos ribų, jei tik lazerinis šaltinis generuoja pakankamos smailinės galios impulsus regimojo arba artimojo infraraudonojo spektro ruože. Lazero galios turėtų pakakti aukštesnės harmonikos generavimui bei pakankamam poveikiui medžiagai sukelti. Tinkamiausiu atveju, lazerinis šaltinis turi generuoti pikosekundinės arba subpikosekundinės trukmės impulsus. Pikosekundinės (ypač mažiau nei 10 ps) arba subpikosekundinės trukmės impulsai dar yra vadinami ultra-trumpaisiais impulsais. Rinkoje prieinamų ultra-trumpųjų impulsų lazerių smailinė galia dažnai yra gigavatų eilės. Taip yra todėl, kad impulso smailinė galia yra atvirkščiai proporcinga impulso trukmei, taigi kuo mažesnė impulso trukmė, tuo didesnė jo smailinė galia, jei išlaikoma ta pati impulso energija. Ultra-trumpieji impulsai pasižymi tokiais didelėmis smailinėmis galiomis, kad sąveikoje su medžiaga yra praleidžiama lydymosi fazė ir iškart pereinama į garavimo fazę. Medžiagos apdirbimas ją garinant - vadinamoji abliacija - pasižymi dideliu tikslumu, o pjovimo procesų metu tai leidžia sumažinti užvartų formavimąsi pjūvio kraštuose.

Esant dideliems intensyvumams medžiagoje reiškiasi netiesiniai optiniai efektai, t.y. daugiafotonė sugertis, jonizacija, fokusavimasis, šviesos gijų formavimasis - filamentacija ir kiti. Tinkamiausiu atveju šis išradimas yra visiškai arba iš dalies susijęs su keliais iš minėtų efektų, t.y. sufokusuota trumpesniojo bangos ilgio spinduliuotė yra sugerama skaidrios terpės tūryje ir gali sukelti jonizacijos efektą, kuris pasireiškia plazmos generavimu, o pakankamo intensyvumo ilgesniojo bangos ilgio spinduliuotė gali sukelti filamentacijos efektą. Dėl fokusavimosi reiškinio, spinduliuotė sklinda skaidria terpe siūlo pavidalo gija, t.y. nesiskėsdama. Tokiu būdu galima tolygiai paveikti skaidrios terpės padėklą per visą jo storį ar bent pakankamai didelę jo dalį. Toks selektyvus didelės energijos poveikis gali paskatinti tolygų ir tiesų skilimą norimoje vertikalioje pjovimo plokštumoje.

Pirmajame optiniame kelyje 18 yra patalpinta vėlinimo linija (4, 3, 5), pluošto diametro plėstuvai 7 ir optinė fokusavimo priemonė (8, 10) nukreipianti lazerio spinduliuotės norima kryptimi į apdirbamos terpės 11 tūrį. Pradinio lazerio šaltinio 1 spinduliuotės kelyje prieš poliarizacinę galios daliklį 2 yra patalpintas skirtingų bangos ilgių lazerio

spinduliuočių energijų santykio keitiklis, kuriuo gali būti pasukama fazinės plokštelė 20. Sukant fazinę plokštelę 20 poliarizacinio daliklio 2 atžvilgiu, keičiamas tiesiai praėjusios ir stačiu kampu atspindėtos spinduliuotės galių santykis. Tiesiai praėjusi spinduliuotė toliau sklinda pirmuoju optiniu keliu 18, o stačiu kampu atspindėta spinduliuotė toliau sklinda antruoju optiniu keliu 19. Lazerio pluošto galia, tenkanti vienam optiniam keliui turi būti parenkama pagal optimalius skaidrios terpės pjovimo parametrus. Vietoj poliarizuojančio kubo gali būti naudojamas ir plonos-plėvelės poliarizatorius, Nikolio, Volastono prizmė ar pan. Poliarizuotos spinduliuotės išskaidymas norimu santykiu ir nukreipimas skirtingais optiniais keliais yra bendrojo lygio žinios šios srities specialistams, tad šio mazgo realizavimas neriboja patento apimties.

Harmonikų generatorius 13, keičiantis lazerio spinduliuotės bangos ilgį, gali būti sudarytas iš netiesinių kristalų, tokių kaip BBO, LiNbO_3 , KDP ir panašių bei fokusuojančių lęšių. Antros harmonikos generavimui pakankama naudoti vieną netiesinį kristalą, o generavimo efektyvumui, prieš šį kristalą yra patalpinamas glaudžiamasis lęšis, kuris padidina spinduliuotės intensyvumą, krentantį į šį kristalą. Trečios harmonikos generavimui reikėtų papildomai naudoti suminio-dažnio generavimo principą dar viename netiesiniame kristale, kur būtų sumuojamos fundamentinės harmonikos ir antrosios harmonikos spinduliuotės. Kristalų bei kitos optikos tipas, matmenys ar išdėstymas neriboja šio išradimo apsaugos, kol krintančios lazerinės spinduliuotės bangos ilgis pakeičiamas į mažesnį, t.y. generuojama antra, trečia ar aukštesnės harmonikos. Vėlinimo linija (4, 3, 5) gali būti sudaryta iš dviejų stacionariai įrengtų veidrodinių paviršių (4, 5) ir ant tiesinės pavaros įrengto retroreflektoriaus (3). Patalpinus šią sistemą į vieną iš optinių kelių, tinkamiausiu atveju, į tą optinį kelią 18, kuriuo sklinda fundamentinės harmonikos t.y. ilgesnio bangos ilgio lazerio spinduliuotė, minėto optinio kelio 18 ilgis būtų keičiamas, tokiu būdu vėlinant fundamentinės harmonikos spinduliuotės impulsus optiniame kelyje 18, t.y. lazerio spinduliuotė keliauja ilgiau negu antruoju optiniu keliu 19. Pastebėta, kad pavėlinus IR arba matomosios srities spinduliuotės impulsus UV spinduliuotės impulsų atžvilgiu, galima keisti apdirbimo režimą ir jo našumą, kaip aprašyta toliau. Vėlinimo linijos komponentų parinkimas ar montavimas neriboja šio išradimo apsaugos tol, kol vėlinimo linija atlieka savo funkciją -

pavėlina laike spinduliuotę, sklindančią vienu iš optinių kelių, šiuo atveju, - minėtu pirmuoju optiniu keliu 18.

Pluošto diametro plėstuvas 7 gali būti bet kokia glaudžiamųjų, sklaidomųjų ar kitų lęšių sistema, galinti padidinti lazerinio pluošto diametrą norimą skaičių kartų, priklausomai nuo pluošto plėstuvo parametrų ir/arba pakeisti pluošto skėstį. Šio išradimo pateikiamoje skaidrių terpių pjovimo sistemoje pluošto plėstuvas 7 yra išdėstomas prieš optinę fokusavimo priemonę 10. Norint keisti fokusavimo plokštumų erdvinę padėtį viena kitos atžvilgiu, pakanka pakeisti pluošto skėstį prieš fokusavimo priemonę 10. Jei sistemoje vieno bangos ilgio spinduliuotė fokusuojama visada tame pačiame taške, tai antrojo bangos ilgio spinduliuotės fokusavimo plokštumą pluošto diametro plėstuvu 7 galime keisti. Didinant pluošto skėstį, fokuso plokštuma stumiasi tolyn nuo fokusavimo optikos, o mažinant skėstį, artėja prie jos. Papildomas lęšis 8 gali būti naudojamas fokusavimo plokštumų suderinimui vietoje pluošto diametro plėstuvo išderinimo.

Tinkamai suderinus erdvėje UV ir IR spinduliuotės fokusavimo plokštumų padėtis, galima žymiai padidinti skaidrios terpės pjovimo greitį ir kokybę. Parenkant atstumą tarp fokusavimo plokštumų, reikėtų remtis keliais pagrindiniais kriterijais:

- įvertinti, kaip apdirbimą lemia medžiagos savybės - pralaidumas, priemaišų tipas ir tankis, paviršiaus kokybė, lūžio rodiklis ir jo fliktuacijos ir pan.;
- įvertinti, kokius netiesinius efektus patiria lazerio spinduliuotė, sklisdama skaidrios terpės tūryje;
- įvertinti, kokį poveikį medžiagai daro skirtingų bangos ilgių ir skirtingų intensyvumų spinduliuotė (šiluminį, elektrodinaminį, akustinį, t.t.).

UV ir IR ar regimojo spektro spinduliuočių fokusavimo plokštumų pozicijos ir jų tarpusavio atstumo parinkimas neriboja šio išradimo apsaugos ir šios srities specialistas turėtų šį parametą parinkti taip, kad geriausiai atitiktų turimo ruošinio savybes ir lazerio sistemos parametrus.

Lazerio spinduliuotės pluoštas sklindantis antruoju optiniu keliu 19 yra fokusuojamas skaidrios terpės 11 tūryje ir sukelia tūrinį pažeidimą 14, kaip parodyta Fig.2. Pavėlintas IR srities bangos ilgio pluoštas fokusuojamas greta UV spinduliuotės sukulto pažeidimo

(14), tinkamiausiu atveju, šiek tiek aukščiau šio pažeidimo (14) ir sukelia tūrinį kryptingą pažeidimą(15) .

Nuo lazerio spinduliuotės pluošto formavimo priklauso ir kitos savybės, pavyzdžiui, diametras į kurį fokusavimo sistema gali sufokusuoti lazerio pluoštą yra atvirkščiai proporcingas įvadinio pluošto diametrai, t.y. kuo didesnio diametro yra įvadinis pluoštas, tuo mažesnio diametro dėmę galima gauti. Spinduliuotės intensyvumas – tai spinduliuotės galia, tenkanti ploto vienetui. Šis parametras yra tiesiškai proporcingas spinduliuotės galiai ir atvirkščiai proporcingas plotui, į kurį pluoštas fokusuojamas. Kitaip tariant, suformavus didesnio diametro pluoštą prieš fokusavimo optiką, gauname mažesnio diametro dėmę fokuso plokštumoje ir gerokai didesnę intensyvumą.

Optinė fokusavimo priemonė 10 gali būti bet koks lęšis ar lęšių sistema, galinti sufokusuoti pluoštą į pakankamai mažo diametro dėmę. Fokusuojant išauga spinduliuotės intensyvumas židinio taške ir dėl to apdirbamoje medžiagoje pradeda reikštis netiesiniai optiniai efektai. Fokusavimo optika, tinkamiausiu atveju, turi būti skaidri abiems naudojamiems spinduliuotės bangos ilgiams, pavyzdžiui UV ir artimajai IR spinduliuotei, jei tokio bangos ilgio spinduliuotės yra naudojamos šio išradimo pateikiamoje skaidrių terpių apdirbimo sistemoje. Fokusavimo optika tinkamiausiu atveju turi būti sumontuota taip, kad būtų galima keisti jos padėtį koordinačių ašyje, einančioje statmenai apdirbamos medžiagos paviršiui. Esant ruošinio ar jo pozicionavimo sistemos netikslumams, fokusavimo optika gali kompensuoti šiuos netikslumus ir išlaikyti spinduliuotės fokusavimo poziciją terpės tūryje, tam tikru atstumu nuo jo paviršiaus.

Antruoju optiniu keliu 19 sklindantys UV spinduliuotės impulsai ir laike pavėlinti pirmuoju optiniu keliu 18 sklindantys IR spinduliuotės impulsai yra skenuojami per skaidrią terpę 11, tam kad būtų suformuota pjovimo linija 17, kaip pavaizduota Fig. 3, per kurią skaidri terpė lūžta arba yra perlaužiama. Spinduliuotės skenavimas pasiekiamas, skaidrią terpę pritvirtinant ant mikro-/nano-metrinio tikslumo pozicionavimo įrangos ir keičiant įrangos padėtį krintančios spinduliuotės atžvilgiu. Priklausomai nuo apdirbamos skaidrios terpės parametrų yra parenkamas tam tikras pažeidimų suformavimo žingsnis pjovimo linijoje. Tinkamiausiu atveju spinduliuotė per skaidrią terpę 11 yra skenuojama vieną kartą, tačiau skenavimo skaičiaus parinkimas neturėtų riboti šio išradimo apsaugos,

svarbiausia, kad minėta skaidri terpė būtų perpjaunama. Skenavimų skaičius priklauso ir nuo ruošinio storio.

Fig. 4 pavaizduotas kitas lazerinio pjovimo įrenginio variantas, kuriame dviejų bangos ilgių lazerio spinduliuočių formuotuvą pirminio lazerio šaltinio 1 spinduliuotės kelyje patalpintas keitiklis, geriau harmonikų generatorius 13, konvertuojantis į jį įeinančios pirminio lazerio šaltinio 1 spinduliuotės dalį į trumpesnį bangos ilgį spinduliuotę. Šiuo atveju impulsinio artimosios infraraudonosios IR spektro srities pirminio lazerinio šaltinio 1 pluoštas yra nukreipiamas per pusės bangos ilgio fazinę plokštelę 20 į harmonikų generatorių 13, kuriame dalis spinduliuotės konvertuojama į mažesnio bangos ilgio spinduliuotę UV, kuri kartu su likusia nekonvertuota IR arba regimojo spektro spinduliuote toliau sklinda apdirbimo zonos link tuo pačiu optiniu keliu. Šiame įgyvendinimo variante taip pat galimas vieno iš bangos ilgių spinduliuotės impulsų laikinis vėlinimas. Tam gali būti naudojama vėlinimo linija (4,3,5), į kurią selektyviai nukreipama tik vieno iš naudojamų bangos ilgių spinduliuotė, geriau ilgesnio bangos ilgio spinduliuotė.

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

Fig.1 pavaizduoto įrenginio pirminio impulsinio lazerinio šaltinio 1, tinkamiausiu atveju generuojančio mažesnės nei 10 ps trukmės impulsus, 1064 nm bangos ilgio spinduliuotę, pluoštas yra nukreipiamas į pluošto daliklį 2. Pluošto daliklis 2 pagal tinkamiausius skaidrios terpės apdirbimo parametrus padalina pluoštą į dvi dalis ir nukreipia į du optinius kelius 18 ir 19. Antrajame optiniame kelyje 19 pluoštas patenka į trečiosios harmonikos generatorių 13, kuriame įvadinio lazerio spinduliuotės pluošto bangos ilgis yra sumažinamas tris kartus, iš artimojo infraraudonojo bangos ilgio (IR) į ultravioletinio bangos ilgį (UV), tinkamiausiu atveju į 355 nm. Pakeisto bangos ilgio ir fundamentinės harmonikos pluoštai yra nukreipiami į fokusavimo optiką 10, pavyzdžiui objektyvą ir yra fokusuojami apdirbamos skaidrios terpės tūryje. Fokusuojanti optika 10 gali būti lęšis, skaidrus tų bangos ilgių spinduliuotei, su kuria dirbama ir galintis sufokusuoti pluoštą į pakankamai mažą dėmę taip, kad spinduliuotės energijos pakaktų netiesiniams efektams

sukelti apdirbamoje skaidrioje terpėje. Minėta skaidri terpė turi turėti mažą sugertį IR arba regimojo spektro srityje tam kad apdirbimas vyktų tik dėl netiesinių efektų židinio taške, ir pakankamai didelę sugertį UV srityje. Šiam apdirbimo būdai tinkamos medžiagos yra safyras, stiklas, grūdintas stiklas, kvarcas ir panašios. Silicio karbido atveju, pirmasis bangos ilgis galėtų būti parenkamas iš bangos ilgių srities >800 nm, o antrasis pluoštas <500 nm. Fokusuojančio lęšio 10 padėtis gali būti keičiama, norint pakeisti abiejų pluoštų fokusavimo plokštumų padėtis apdirbamoje medžiagoje, taip stipriai paveikiant apdirbimo našumą.

Kadangi dažniausiai apdirbamos skaidrios terpės sugerties koeficientas yra didesnis UV srityje, pažeidimas terpės tūryje padaromas būtent UV spinduliuote. Tuo tarpu, 1064 nm spinduliuotę daugelis skaidrių terpių praleidžia gana gerai, todėl šia spinduliuote būtų gerokai sunkiau suformuoti pažeidimą medžiagos tūryje. Naudojant UV ir IR spinduliuotės impulsus vieną po kito, UV pluoštu padaromas pažeidimas arba sukuriamą stipriai sugerianti būseną (plazma) skaidrios terpes tūryje arti židinio, o tada daug geriau sugeriamas ir IR pluoštas, todėl gali sukelti skeliamąjį terminį poveikį ir tam užtenka sąlyginai nedidelės IR spinduliuotės galios. Atskiru atveju, IR pluoštas yra tokio intensyvumo, kad pasireškia netiesinis fokusavimosi efektas ir formuojasi filamentas, kuris sklinda iš esmės statmenai ruošinio paviršiui. UV sukeltas pažeidimas yra įtrūkimas skaidrios terpės tūryje. Dėl itin mažo dėmės diametro, į kurią yra sufokusuojamas pluoštas, esant pakankamai lazerinio šaltinio 1 impulsų energijai, ir dėl padidėjusios IR spinduliuotės sugerties UV pažeidimo ribose, pasireiškia netiesinis filamentacijos efektas. Filamentacija tai reiškiny, kurio metu lazerinė spinduliuotė gali sklisti skaidria medžiaga nepatirdama difrakcijos dėl fokusavimosi efekto. Filamentacijos metu yra formuojama šviesos gija - ištempto siūlo formos pažeidimas 15, galintis tęstis per visą skaidrios terpės aukštį, kuriam pasiekus UV spinduliuotės sukeltą pažeidimą 14 pjaunama skaidri terpė 11 skyla, lūžio linijos 16 pavaizduotos Fig. 2.

Laikas, kurį yra pavėlinami IR spinduliuotės impulsai nustatomas, atliekant eksperimentus su konkrečia medžiaga. Vienu atveju didžiausias efektyvumas pasiekiamas aukščiau aprašytu būdu, kada IR spinduliuotės impulsai sklinda per

padidintos sugerties zona, kurią suformuoja anksčiau kritęs UV spinduliuotės impulsas. Tokiu atveju, vėlinimas turėtų būti pakankamas, kad spėtų nugesti UV spinduliuotės suformuota plazma. Kitu atveju, IR spinduliuotės impulsas į didesnės sugerties zoną krenta dar tuo metu, kol vyksta UV spinduliuotės impulso sukeltas plazmos švytėjimas. Plazma pasižymi didele krentančios spinduliuotės sugertimi, todėl sąveika su medžiaga ir apdirbimo našumas gali skirtis nei pirmuoju atveju.

Vienos iš bangos ilgių spinduliuotės impulsų vėlinimo laikas neturėtų riboti šio išradimo apsaugos ir šios srities specialistas galėtų pritaikyti turimas žinias tinkamam vėlinimo trukmių parinkimui, atsižvelgiant į apdirbimo našumo pokytį konkrečioje medžiagoje.

Panaudojant aukščiau aprašytą būdą ir įrenginį, sudaromos sąlygos pjauti arba raižyti skaidrią terpę, panaudojant du lazerinės spinduliuotės bangos ilgius bei derinant skirtingo spektro spinduliuotės impulsų laikinį vėlinimą, fokusavimo plokštumų padėtį viena kitos atžvilgiu bei spinduliuočių energijų santykį bei eksperimentiškai parenkant šiuos parametrus konkrečiai apdirbamai medžiagai, galima žymiai padidinti skaidrių terpių pjovimo arba raižymo greitį ir kokybę.

IŠRADIMO APIBRĖŽTIS

1. Skaidrių terpių lazerinis pjovimo būdas, apimantis šią operacijų seką:

- į apdirbamą skaidrią terpę nukreipia dviejų skirtingų bangos ilgių impulsinės lazerio spinduliuotės pluoštus,
- minėtus skirtingų bangos ilgių lazerio spinduliuotės pluoštus fokusuoja apdirbamos skaidrios terpės viduje jos pjovimo srityje skirtingose fokusavimo plokštumose pagal apdirbamos terpės gyliį
- pjovimo greitį ir kokybę valdo, eksperimentiškai parenkant minėtų skirtingų bangos ilgių lazerio spinduliuočių parametrus, besiskiriantis tuo, kad
- minėtų skirtingų bangos ilgių lazerio spinduliuočių impulsai į jų fokusavimo plokštumas ateina skirtingu laiku, kur ilgesnio bangos ilgio lazerio spinduliuotės impulsai yra užvėlinėti trumpesnio bangos ilgio spinduliuotės impulsų atžvilgiu,
- minėtų spinduliuočių bangos ilgius ir minėtų impulsų užvėlinimo laiką parenka priklausomai nuo konkrečios apdirbamos terpės taip, kad trumpesnės bangos spinduliuotės impulsai apdirbamoje terpėje dėl optinio sužadavimo sukurtų didesnės sugerties sritį, o užvėlinėti ilgesnio bangos ilgio spinduliuotės impulsai kristų į jau sukurtą minėtą didesnės sugerties sritį bei sukeltų apdirbamoje terpėje kryptingą skilimą pjovimo plokštumoje,
- pjovimo greitį ir kokybę valdo, eksperimentiškai parenkant minėtų skirtingų bangos ilgių lazerio spinduliuočių impulsų užvėlinimo laiką, jų fokusavimo plokštumų erdvinę padėtį viena kitos atžvilgiu bei skirtingų bangos ilgių spinduliuočių impulsų energijų santykį.

2. Būdas pagal 1 punktą, besiskiriantis tuo, kad ilgesnio bangos ilgio lazerio spinduliuotės pluoštas yra parinktas iš artimosios infraraudonosios spektro srities, o trumpesnio bangos ilgio lazerio spinduliuotės pluoštas yra parinktas iš tolimosios ultravioletinės spektro srities.

3. Būdas pagal bet kurį iš 1-2 punktų, besiskiriantis tuo, kad ilgesnio bangos ilgio lazerio spinduliuotės pluoštas yra parinktas iš regimosios spektro srities, o trumpesnio bangos ilgio lazerio spinduliuotės pluoštas yra parinktas iš mėlynosios arba ultravioletinės spektro srities.

4. Būdas pagal bet kurį iš 1-3 punktų, besiskiriantis tuo, kad trumpesnio bangos ilgio lazerio spinduliuotė yra antroji arba trečioji arba ketvirtoji ilgesnio bangos ilgio lazerio spinduliuotės harmonika.

5. Būdas pagal bet kurį iš 1-4 punktų, besiskiriantis tuo, kad ilgesnio bangos ilgio lazerio spinduliuotės pluošto impulso energija yra maždaug nuo 2 iki 10 kartų didesnė už trumpesnės bangos ilgio lazerio spinduliuotės pluošto impulso energiją.

6. Būdas pagal bet kurį iš 1-5 punktų, besiskiriantis tuo, kad ilgesnio bangos ilgio lazerio spinduliuotės pluošto fokusavimo plokštuma pagal apdirbamos terpės gylį yra arčiau jos įvadinio paviršiaus nei trumpesnio bangos ilgio lazerio spinduliuotės pluošto fokusavimo plokštuma.

7. Būdas pagal bet kurį iš 1-6 punktų, besiskiriantis tuo, kad ilgesnio bangos ilgio lazerio spinduliuotės pluoštas yra fokusuojamas apdirbamos terpės viduje taip, kad sukeltų netiesinį filamentacijos efektą.

8. Skaidrių terpių lazerinio pjovimo įrenginys, apimantis lazerio šaltinį, generuojantį dviejų bangos ilgių impulsinę spinduliuotę, optinę fokusavimo priemonę, skirtą minėtas skirtingų bangos ilgių spinduliuotės pluoštus sufokusuoti apdirbamos terpės (11) viduje skirtingose fokusavimo plokštumose pagal apdirbamos terpės gylį, ir optines priemones, skirtas minėtų skirtingų bangos ilgių spinduliuočių parametrus keisti, besiskiriantis tuo, kad yra numatyta

- optinė užvėlinimo priemonė (3), patalpinta ilgesnio bangos ilgio spinduliuotės optiniame kelyje, skirta ilgesnio bangos ilgio spinduliuotės impulsams užvėlinti trumpesnio bangos ilgio spinduliuotės impulsų atžvilgiu,

- optinė priemonė, skirta keisti pagal apdirbamos terpės gylį vieno bangos ilgio spinduliuotės fokusavimo plokštumos padėtį kito bangos ilgio spinduliuotės fokusavimo plokštumos atžvilgiu, patalpinta bent viename lazerio spinduliuočių optiniame kelyje prieš minėtą optinę fokusavimo priemonę,

minėtas lazerio šaltinis, generuojantis dviejų bangos ilgių impulsinę spinduliuotę apima pirminį lazerio šaltinį (1), kurio spinduliuotės kelyje patalpintas dviejų bangos ilgių lazerio spinduliuočių formuotuvus ir optinė priemonė, skirta keisti minėtų dviejų bangos ilgių lazerio spinduliuočių impulsų energijų santykį.

9. Įrenginys pagal 8 punktą, besiskiriantis tuo, kad dviejų bangos ilgių lazerio spinduliuočių formuotuvus apima poliarizacinį pluošto daliklį (2), kuris dalija pirminio lazerio šaltinio (1) spinduliuotę į dvi dalis, kurias nukreipia į du optinius kelius (18, 19), viename iš kurių yra patalpintas harmonikų generatorius (13), skirtas pakeisti spinduliuotės bangos ilgį.

10. Įrenginys pagal 8 punktą, besiskiriantis tuo, tuo, kad dviejų bangos ilgių lazerio spinduliuočių formuotuvus yra pirminio lazerio šaltinio (1) spinduliuotės kelyje patalpintas keitiklis, konvertuojantis į jį įeinančios lazerio šaltinio (1) spinduliuotės dalį į trumpesnio bangos ilgio spinduliuotę.

11. Įrenginys pagal bet kurį iš 8-10 punktų, besiskiriantis tuo, kad optinė priemonė, skirta keisti minėtų dviejų bangos ilgių spinduliuočių impulsų energijų santykį apima pirminio lazerinio šaltinio (1) spinduliuotės pluošto kelyje patalpintą pasukamą pusės bangos ilgio fazinę plokštelę (20).

12. Įrenginys pagal bet kurį iš 8-11 punktų, besiskiriantis tuo, kad optinė priemonė, skirta keisti vieno bangos ilgio spinduliuotės fokusavimo plokštumos padėtį kito bangos ilgio spinduliuotės fokusavimo plokštumos atžvilgiu yra lazerio spinduliuotės pluošto diametro plėstuvus (7) patalpintas bent viename iš minėtų lazerio spinduliuočių optiniame kelyje (18, 19) prieš minėtą optinę fokusavimo priemonę.

13. Skaidrių terpių lazerinio pjovimo sistema, apimanti lazerinį pjovimo būdą ir/arba įrenginį pagal bet kurį iš 1-12 punktų.

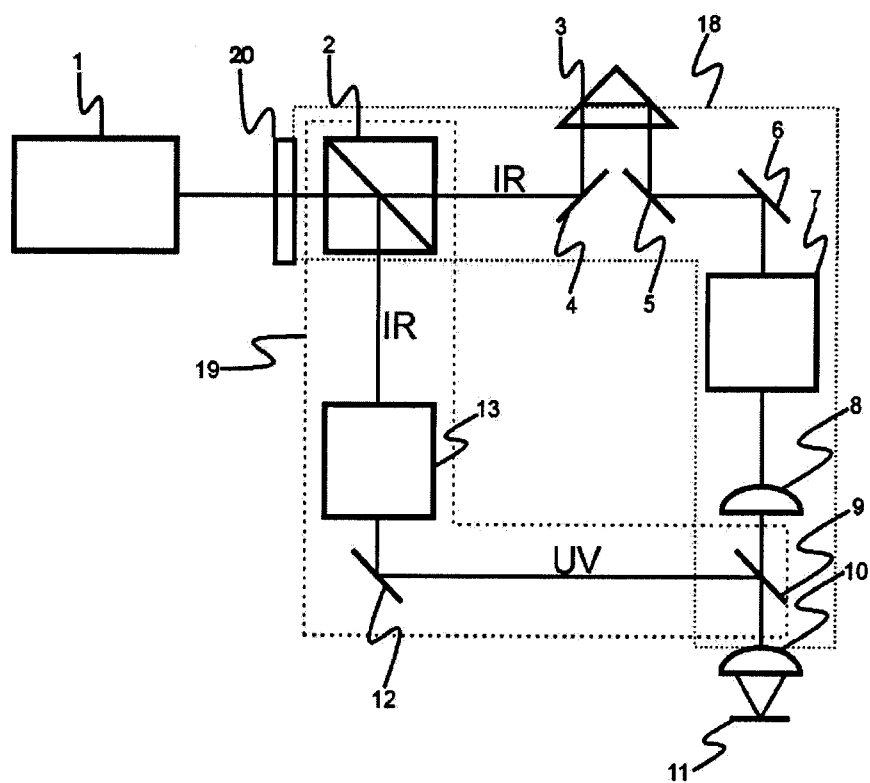


Fig.1

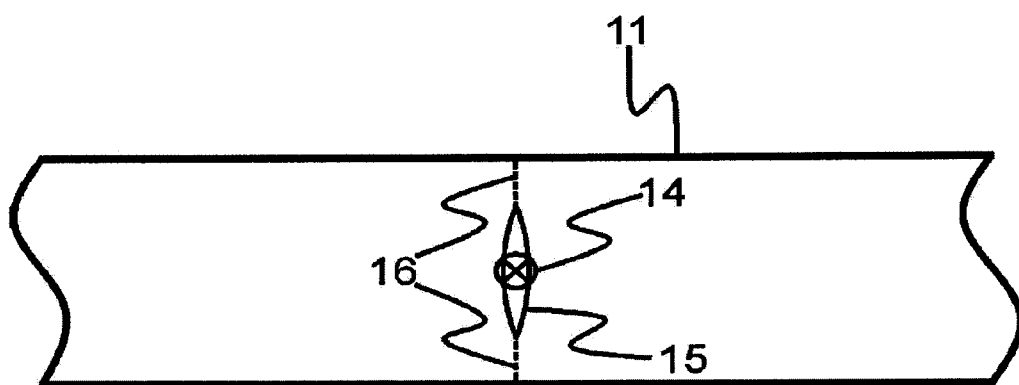


Fig.2

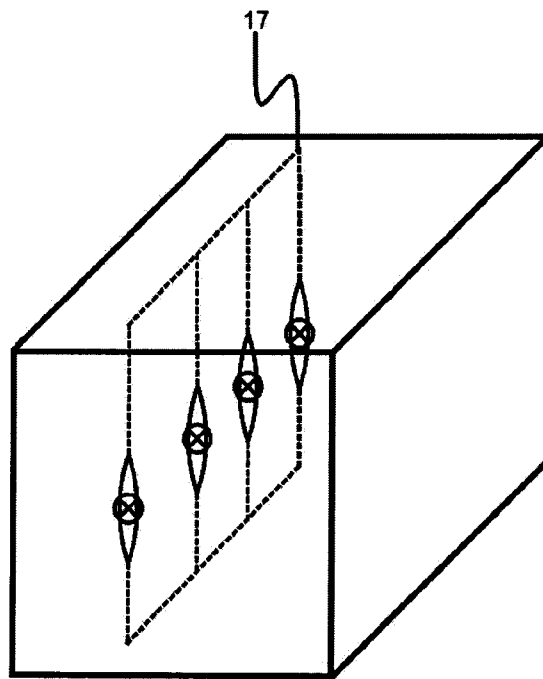


Fig.3

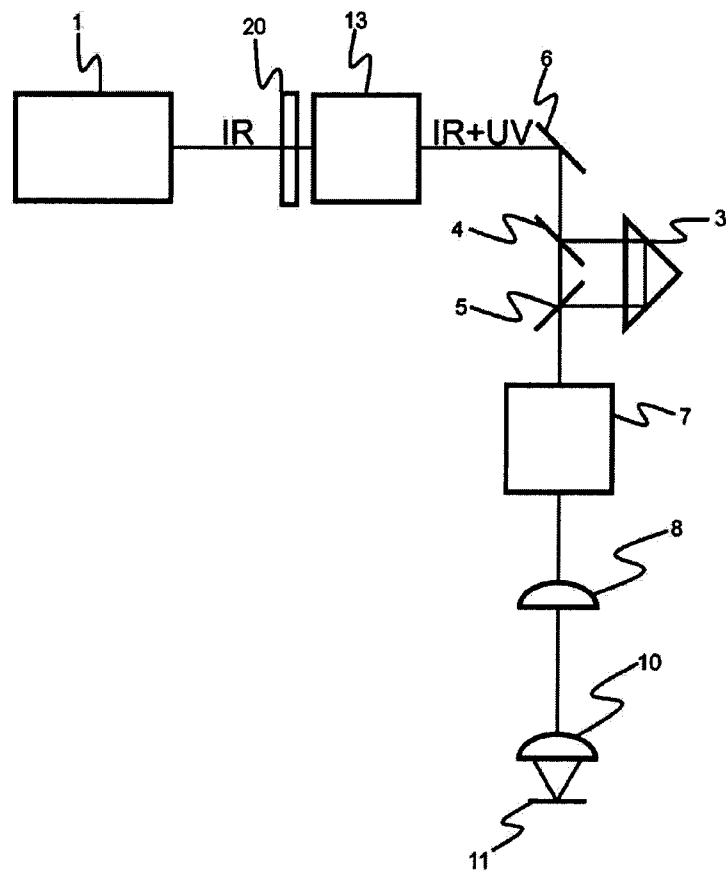


Fig.4