

(19)



(10) **LT 6006 B**

(12) **PATENTO APRAŠYMAS**

- (11) Patent numeris: **6006** (51) Int. Cl. (2014.01): **G02B 6/00**
G02F 1/00
H01S 3/00
- (21) Paraiškos numeris: **2012 069**
- (22) Paraiškos padavimo data: **2012 07 25**
- (41) Paraiškos paskelbimo data: **2014 01 27**
- (45) Patent paskelbimo data: **2014 03 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:
Nerijus RUSTEIKA, LT
Andrejus MICHAILOVAS, LT
- (73) Patent savininkas:
UAB „EKSPLA“, Savanorių pr. 231, LT-02300 Vilnius, LT
- (74) Patentinis patikėtinis/atstovas:
Virgina Adolfina DRAUGELIENĖ, UAB TARPINĖ, A.P.Kavoliuko g. 24-152, LT-04328 Vilnius, LT

- (54) Pavadinimas:

**Išsotinantys sugėrikli, skirtas skaidulinių lazerių modų sinchronizacijai,
išsotinančios sugerties skaidulinis Brego veidrodis ir skaidulinis
sinchronizuotų modų lazeris**

- (57) Referatas:

Išradimas priklauso lazerių sričiai, tiksliau išsotinantiesiems sugėrikliams ir yra skirtas sinchronizuoti išilgines skaidulinio lazerio modus. Išradimas gali būti panaudotas ultratrumpųjų šviesos impulsų generacijai, kurie yra taikomi įvairiose srityse, tarp jų moksliniuose tyimuose, medžiagų apdirbime, medicinoje ir kitur. Išsotinantys sugėrikli, apima vienamodę optinę skaidulą, turinčią skaidulos dalį, kuri yra išploninta arba joje yra padaryta bent vienas išilginis griovelis arba skersinė kiaurymė. Minėta išploninta dalis yra padengta kompozitine išsotinančios sugerties medžiaga arba minėti grioveliai arba angos yra užpildyti minėta kompozitine medžiaga. Siekiant praplėsti sugėriklio panaudojimo sritį, prailginti jo tarnavimo laiką, minėta kompozitinė išsotinančios sugerties medžiaga apima neorganinę matricą, kurios lūžio rodiklis yra artimas minėtos skaidulos lūžio rodikliui, ir į ją įterptą medžiagą, pasižymintį netiesine šviesos sugertimi bei praskaidrejančią sklindant minėta skaidula intensyviai lazerio spinduliuotei, kurios intensyvumas yra ribose nuo 5 MW/cm² iki 500 MW/cm², o minėtos išplonintos skaidulos

dalies sąsmaukos skerspjūvis ir jos ilgis arba griovelių ar kiaurymių skaičius ir jų konfigūracija, parenkami tenkinant sąlygą, kad minėta skaidula sklindančios lazerio spinduliuotės nuostoliai, kuriuos įneša minėta kompozitinė įsisotinamos sugerties medžiaga, būtų ribose nuo 1% iki 50%. Pasiūlytas įsisotinant sugėrikis gali būti panaudotas skaidulinio sinchronizuotų modų lazerio rezonatoriuje arba inkorporuotas į įsisotinamos sugerties skaidulinio Brego veidrodžio konstrukciją.

Išradimas priklauso lazerių sričiai, tiksliau įsisotinantiems sugėrikliams, ir yra skirtas sinchronizuoti išilgines skaidulinio lazerio modas. Išradimas gali būti panaudotas ultratrumpųjų šviesos impulsų generacijai, kurie yra taikomi įvairiose srityse, tarp jų moksliniuose tyrimuose, medžiagų apdirbime, medicinoje ir kitur.

Šiame išradime aprašomas įsisotinantys sugėrikliai, skirtas skaidulinių lazerių modų sinchronizacijai. Jo veikimo principas pagrįstas medžiagos netiesinės optinės sugerties savybe. Modų sinchronizatorius yra patalpinamas į lazerio rezonatorių įnešant nuostolius, kurie priklauso nuo cirkuliuojančios spinduliuotės intensyvumo. Kuo didesnis spinduliuotės intensyvumas, tuo mažesni nuostoliai. Netgi nesant išorinių trikdžių, lazerio spinduliuotėje yra natūralios intensyvumo fluktuacijos. Kadangi didesnio intensyvumo pūpsniai dėl netiesinės sugerties patiria mažesnius nuostolius, jie laikui bėgant auga ir esant tinkamoms sąlygoms gali išaugti į stabilų ir trumpą impulsą, kuris cirkuliuoja rezonatoriuje. Toks lazerio veikimas vadinamas sinchronizuotų modų veikimu.

Kietakūniuose lazeriuose pasyvių modų sinchronizavimui pasiekti dažniausiai naudojami puslaidininkiniai įsisotinamos sugerties veidrodžiai (PĮSV) kurių atspindžio koeficientas didėja kylant krintančios šviesos intensyvumui. PĮSV gamybos technologija yra brandi ir leidžia optimizuoti įvairius jų parametrus (pvz. relaksacijos trukmę, soties intensyvumą), tačiau yra ribotai suderinama su skaiduline technologija. Šiuo metu naudojami puslaidininkiniai įsisotinantys sugėrikliai yra tiesiog mechaniškai prispaudžiami prie nupoliruoto skaidulos galo ir priklijuojami. Taip užtikrinamas optinis kontaktas tarp skaidulos šerdies ir PĮSV paviršiaus. Tačiau tokiu būdu realizuotas įsisotinantis sugėriklis apriboja skaidulinio lazerio rezonatoriaus konfigūracijos lankstumą. Be šio trūkumo, pati PĮSV gamyba yra sudėtinga ir pasaulyje yra tik keletas komercinių šios technologijos tiekėjų.

Tai pat yra žinomi įsisotinantys sugėrikliai su anglies nanovamzdeliais ir grafenu. Anglies nanovamzdeliai pasižymi keletu optinių savybių, kurios lemia jų kaip medžiagos su įsisotinamą sugertimi patrauklumą. Pirma, nanovamzdeliai pasižymi itin greita sužadavimo relaksacija ($\tau \approx 200$ fs), kas yra svarbu norint išgauti trumpesnius nei 1 ps impulsus. Antra, jų optinės sugerties maksimumas priklauso nuo nanovamzdelių skersmens, kuris gali būti keičiamas priklausomai nuo auginimo sąlygų. Trečia, jų įsisotinimo slenkstis dėl kvazi-vienmatės struktūros yra labai žemas. Grafas, gimininga medžiaga anglies nanovamzdeliams, pasižymi panašiomis charakteristikomis, o dėl ypatingai plačios sugerties juostos kai kuriais

atvejais gali būti ir patrauklesnis už anglies nanovamzdelius.

Lyginant su puslaidininkine technologija, anglies nanovamzdelių/grafeno bei optinių elementų, turinčių savyje anglies nanovamzdelius/grafeną, gamyba yra žymiai paprastesnė ir pigesnė. Bene didžiausias anglies nanovamzdelių/grafeno privalumas yra tai, kad jie gali būti inkorporuoti į skirtingas medžiagas stipriai nekeičiant jų optinių savybių. Tai leidžia panaudoti konfigūracijas, kurias sunku realizuoti naudojant PISV tipo įrenginius.

Yra žinomi anglies nanovamzdelių ar grafeno pagrindu veikiantys ir į optinę skaidulą inkorporuoti įsisotinantis sugėrikliai, kurie pagal inkorporavimo į skaidulą metodus gali būti suskirstyti į kelias grupes – (a) nanovamzdeliai/grafenas patalpinami į tiesioginį lazerinės spinduliuotės pluoštą, pvz., užnešant nanovamzdelių/grafeno sluoksnį ant nukirsto skaidulos galo ir sujungiant nukirstą galą su kita skaidula, (b) – kai sąveika su spinduliuote vyksta per paviršinį lauką, pvz., nupoliruojant skaidulą iki pat šerdies ir nupoliruotą sritį padengiant nanovamzdeliais/grafenu arba nanovamzdelių/grafeno ir polimerinės matricos kompozitu, ir (c) – tarpinio sąveikos tipo, pvz., skaiduloje suformuojant kiaurymę, einančią skersai skaidulos, bet nebūtinai per centrą, ir užpildant ją anglies nanovamzdeliais. Visi šie būdai yra naudojami praktikoje sinchronizuotų modų skaidulinuose lazeriuose su įvairiomis nanovamzdelių padengimo konfigūracijomis ir yra aprašyti literatūroje.

Vienas svarbiausių technologinių uždavinių anglies nanovamzdelių (ar grafeno) pagrindu veikiančių įsisotinantių sugėriklių gamyboje yra terpės, kurioje paskirstomi nanovamzdeliai, pasirinkimas. Grynai anglies nanovamzdeliai (ar grafenas) veikiami lazerio spinduliuotės ir aplinkos gali greitai degraduoti. Be to, be rišančiosios medžiagos anglies nanovamzdelių/grafeno danga nėra stabili mechaniškai.

T. R. Schibli *et al.*, Opt. Express 13, 8025 (2005) aprašytas įsisotinantis sugėriklis, kuriame naudojami nanovamzdeliai inkorporuoti į polimerinę matricą. Toks mišinys yra chemiškai stabilus ir juo nesunkiai galima padengti įvairias anksčiau minėtas struktūras (pvz., skaidulos galą, nupoliruotą skaidulos šoną), kad būtų realizuotas skaidulinis įsisotinantis sugėriklis. Tačiau polimerinės medžiagos neapsaugo anglies nanovamzdelių nuo aplinkoje esančio singletinio deguonies poveikio, o ir pati polimerinė medžiaga degraduoja nuo aplinkos deguonies. Be to,

anglies nanovamzdelių ir polimerinės matricos kompozitas yra neatsparus intensyviai spinduliuotės srautui, kas apriboja tokių prietaisų praktinį pritaikymą.

Yra žinomi įsisotinantys sugėrikliai, kuriuose įsisotinančios sugerties savybė pasižyminti medžiaga yra kompozitas, apimantis anglies nanovamdelius, paskirstytus neorganinėje matricoje [Y.-W. Song et al., Optics Communications 283, 3740-3742 (2010) ir H.-J. Kim et al., Opt. Express 19, 4762-4767 (2011)]. Žematemperatūros gamybos technologijos leidžia gauti anglies nanovamzdelių ir SiO_2 kompozitą, pasižymintį puikiomis savybėmis: SiO_2 matrica yra skaidri lazerinei spinduliuotei, chemiškai ir termiškai atspari, gerai nuveda anglies nanovamzdeliuose išsiskiriančią šilumą; iš kitos pusės, anglies nanovamzdeliai beveik neįtakoja kompozito lūžio rodiklio. Tad kompozitinės anglies nanovamzdelių/ SiO_2 medžiagos lūžio rodiklis yra labai artimas optinės skaidulos lūžio rodikliui. Minėtuose sprendimuose kompozitinės įsisotinančios sugerties medžiaga, pagaminta neorganinės matricos pagrindu, yra inkorporuota į optinę skaidulą, užnešant medžiagos sluoksnį ant nukirsto skaidulos galo ir sujungiant ją su kita skaidula. Lazerinė spinduliuotė sąveikauja su įsisotinančios sugerties medžiaga tiesioginiame praėjime, o sąveikos stiprumas valdomas tik parenkant sluoksnio storį ir anglies nanovamzdelių koncentraciją. Šių įsisotinančių sugėriklių trūkumas yra tas, kad dėl ribotos nanovamzdelių koncentracijos ir riboto sluoksnio storio sunku pasiekti didelį pradinį sugerties koeficientą, kas yra svarbu, kai įsisotinantis sugėriklis naudojamas lazeriuose, turinčiuose didelį stiprinimo koeficientą, pvz., kurių aktyvioji medžiaga yra legiruota iterbio jonais. Be to, įsisotinantis sugėriklis, suformuotas tarp dviejų skaidulų galų gali būti jautrus skaidulų sujungimo tikslumui ir išoriniams mechaniniams poveikiams (mažiau atsparus, negu kokia nors kita konfigūracija, kur skaidulos vientisumas nėra pažeistas).

JAV pat. paraiškoje nr. US2011280263 (K.Kieu, F.R.Wise) aprašytas įsisotinantis sugėriklis, kurį sudaro tempimu išploninta skaidula ir aplink sąsmauką užteptas polimero ir nanovamzdelių kompozitas. Šios konfigūracijos sugėriklius galima nesunkiai reguliuoti keičiant sąsmaukos parametrus (skersmenį, ilgį, formą), parenkant skirtingą kaitinimo temperatūrą, tempimo greitį, kaitinamos dalies ilgį. Šviesos sąveikos su nanovamzdeliais tūris yra gerokai didesnis nei tiesioginės sąveikos atveju, kai nanovamzdeliai yra patalpinami sklindačios šviesos kelyje. Tokiu būdu anglies nanovamzdelių sugertos energijos tankis yra žymiai mažesnis ir optinis

arba terminis pažeidimas mažiau tikėtinas. Tačiau paminėtas sugėriklis turi šiuos trūkumus. Norint pasiekti pakankamai stiprią šviesos ir nanovamzdelių sąveiką, skaidulos sąsmauka turi būti suploninta iki mažesnio nei 5 μm skersmens. Tokia struktūra yra mechaniškai labai silpna ir reikalauja specialios apsaugos, norint jos nepažeisti. Be to, esant dideliems generuojamos šviesos intensyvumams, polimerinės matricos ir nanovamzdelių kompozitas degraduoja ir įsotinama sugertis po kurio laiko sumažėja. Šio proceso priežastimi yra polimerinės matricos sąveika su lazerine spinduliuote bei singletinio deguonies fotocheminė reakcija su nanovamzdeliais. Nurodyti trūkumai siaurina įsisotinancio sugėriklio panaudojimo sritį bei sutrumpina jo tarnavimo laiką, ypač esant didelės galios spinduliuotei.

A. Martinez *et al.*, Opt. Express 16, 15425-15430 (2008), A. Martinez *et al.*, Opt. Express 18, 11008-11014 (2010) bei C. Mou *et al.*, Appl. Phys. Lett. 100, 101110 (2012) aprašyti įsisotinantis sugėrikliai, kuriuos sudaro optinės skaidulos, turinčios skaidulos dalį, kurioje yra suformuota kiaurymė, einanti skersai minėtos skaidulos dalies, ir kuri yra užpildyta įsisotinancios sugerties medžiaga. Įsisotinancios sugerties medžiagos ir lazerinės spinduliuotės sąveikos stiprumas ir tūris priklauso nuo kiaurymės matmenų ir padėties skaidulos centro atžvilgiu (tarpinis sąveikos tipas tarp tiesioginės sąveikos ir sąveikos per paviršinį lauką). Šiuose sprendimuose anglies nanovamzdeliai yra patalpinti tirpale, kas užtikrina jų pasiskirstymą tūryje ir šilumos nuvedimą. Visgi tirpaluose paskirstyti anglies nanovamzdeliai yra mažiau apsaugoti nuo optinio bei terminio pažeidimo nei stacionarioje matricoje paskirstyti nanovamzdeliai. Be to, ilgainiui tirpiklis gali išgaruoti. Toks sprendimas tinka tik laikinoms laboratorinėms sistemoms, o ne komercinių skaidulinių lazerių gamybai.

Išradimu siekiama praplėsti įsisotinancio sugėriklio, skirto skaidulinių lazerių modų sinchronizacijai, panaudojimo sritį bei prailginti jo tarnavimo laiką, ypač dirbant su didelės galios spinduliuote.

Pagal pasiūlytą išradimą įsisotinantis sugėriklis, skirtas skaidulinių lazerių modų sinchronizacijai, apima vienamodę optinę skaidulą, turinčią išplonintą skaidulos dalį, kuri yra padengta kompozitine įsisotinancios sugerties medžiaga, kur minėta kompozitinė įsisotinancios sugerties medžiaga susideda iš neorganinės matricos, kurios lūžio rodiklis yra artimas minėtos skaidulos lūžio rodikliui, ir į ją įterptos medžiagos, pasižyminčios netiesine šviesos sugertimi bei praskaidrėjančios sklindant minėta skaidula intensyviai lazerio spinduliuotei, kurios intensyvumas yra ribose nuo 5 MW/cm² iki 500 MW/cm², o minėtos išplonintos skaidulos dalies

sąsmaukos skerspjūvis ir jos ilgis, parenkami tenkinant sąlygą, kad minėta skaidula sklindančios lazerio spinduliuotės nuostoliai, kuriuos įneša minėta kompozitinė įsisotinančios sugerties medžiaga, būtų ribose nuo 1% iki 50%.

Kitame, pranašumą turinčiame šio išradimo konstrukciniame išpildyme įsisotinantis sugėriklis, skirtas skaidulinių lazerių modų sinchronizacijai, apimantis vienamodę optinę skaidulą, turinčią skaidulos dalį, kurioje yra suformuotas bent vienas griovelis arba kiaurymė, kur minėtoje skaidulos dalyje suformuoti minėti bent vienas griovelis arba kiaurymė yra užpildyti kompozitine įsisotinančios sugerties medžiaga, kur minėta kompozitinė įsisotinančios sugerties medžiaga susideda iš neorganinės matricos, kurios lūžio rodiklis yra artimas minėtos skaidulos lūžio rodikliui, ir į ją įterptos medžiagos, pasižyminčios netiesine šviesos sugertimi bei praskaidrėjančios sklindant minėta skaidula intensyviai lazerio spinduliuotei, kurios intensyvumas yra ribose nuo 5 MW/cm^2 iki 500 MW/cm^2 , o suformuotų minėtų griovelių ar kiaurymių skaičius ir jų konfiguracija parenkami tenkinant sąlygą, kad minėta skaidula sklindančios lazerio spinduliuotės nuostoliai, kuriuos įneša minėta kompozitinė įsisotinančios sugerties medžiaga, būtų ribose nuo 1% iki 50%.

Minėta kompozitinė įsisotinančios sugerties medžiaga gali būti pagaminta sol-gel technologijos būdu. Minėta neorganinė matrica gali būti SiO_2 matrica, pagaminta sol-gel technologijos būdu. Į minėtą neorganinę matricą įterpta medžiaga, pasižyminti netiesine šviesos sugertimi, gali būti nanovamzdeliai arba grafenas, arba puslaidininkiniai kvantiniai taškai.

Privalumą turintis kitas konstrukcinis išradimo išpildymas yra kai skaidulos dalis turi suformuotą bent vieną griovelį, kuris tęsiasi išilgai šios skaidulos dalies.

Dar kitame privalumą turinčiame konstrukciniame išpildyme skaidulos dalyje yra suformuota bent viena kiaurymė, kuri eina skersai šios skaidulos dalies.

Minėta išploninta skaidulos dalis padengta kompozitine įsisotinančios sugerties medžiaga arba skaidulos dalis, kurioje yra suformuotas bent vienas griovelis arba kiaurymė, užpildyti kompozitine įsisotinančios sugerties medžiaga, yra padengta polimeru.

Pasiūlytas privalumų turintis konstrukcinis skaidulinio sinchronizuotų modų lazerio išpildymas, kurio rezonatorius turi įsisotinantį sugėrikį pagal pasiūlytą išradimą.

Pasiūlytas privalumų turintis skaidulinis Brego veidrodis, skirtas skaidulinių

lazerių modų sinchronizacijai, kuris turi inkorporuotą pagal pasiūlytą išradimą įsisotinantį sugėrikį.

Skaidulinis Brego veidrodis, skirtas skaidulinių lazerių modų sinchronizacijai, turintis inkorporuotą pagal pasiūlytą išradimą įsisotinantį sugėrikį gali būti panaudotas kaip galinis veidrodis skaidulinio sinchronizuotų modų lazerio rezonatoriuje.

Įsisotinamos sugerties medžiagos ir skaidulos medžiagos lūžio rodiklių panašumas lemia gerą spinduliuotės įsiskverbimą į įsisotinamos sugerties medžiagos sluoksnį, kas sąlygoja stiprią netiesinę sugertį. Šio išradimo išplonintos skaidulos geometrijos sugėriklyje spinduliuotės sąveika su įsisotinamos sugerties medžiaga yra stipresnė, lyginant su žinomo išplonintos skaidulos geometrijos sugėriklio, panaudojančio polimerinės matricos pagrindu pagamintą kompozitinę įsisotinamos sugerties medžiagą. Padidėjęs sąveikos paviršiaus plotas sumažina sugertos energijos tankį ir dar labiau pagerina atsparumą didelės galios spinduliuotei. Kita vertus, galima laisviau pasirinkti sugėriklio geometrinius parametrus.

Išplonintos skaidulos geometrija paprastai turi tam tikrų apribojimų. Keičiant skaidulos geometriją, įtakojamos mechaninės ir bangolaidinės savybės. Tačiau šio išradimo įsisotinamame sugėriklyje, panaudojant minėtos neorganinės matricos pagrindu padarytą kompozitinę įsisotinamos sugerties medžiagą, išplonintos skaidulos dalies skersmuo ir ilgis gali būti parinkti laisviau, nesibaiminant mechaninių/bangolaidinių savybių pablogėjimo.

Esant geram spinduliuotės įsiskverbimui, galima pasirinkti tokius sugėriklio geometrinius parametrus, kad skaidulos mechaninės savybės beveik nepasikeistų.

Sukietėjusi minėta kompozitinė medžiaga, pagaminta neorganinės matricos pagrindu, yra puikus mechaninis stabilizatorius. Išploninta skaidula ar skaidula su grioveliais/kiaurymėmis, užpildyta kieta kompozitine medžiaga, pasižymi dideliu mechaniniu atsparumu. Griovelių geometrijos sugėriklis yra ypatingai mechaniškai tvirtas. Mechaninės savybės yra geresnės, lyginant su išplonintos skaidulos geometrijos sugėriklio savybėmis, nes frezuojant griovelius, neiškraipoma skaidulos vidinė struktūra, įnešamas tik nedidelis defektas. Griovelių, užpildytų kieta neorganine kompozitine medžiaga, mechaninis stabilumas nesiskiria nuo nefrezuotos optinės skaidulos mechaninio stabilumo. Padengta papildomu polimero sluoksniu įsisotinamos sugėriklio struktūra yra dar labiau apsaugota nuo aplinkos

veiksnių, toks sugėriklis gali būti naudojamas be papildomo įpakavimo kaip skaidulinių lazerių modų sinchronizatorius.

Pagrindinis *sol-gel* technologijos ir ja pagamintos kompozitinės medžiagos privalumas – žema kaina ir galimybė realizuoti laboratorinėmis sąlygomis. Be to, šia technologija pagaminta medžiaga yra patogi naudoti: iš pradžių yra gelio pavidalo, o paskui sukietėja. Tad nesunkiai gali būti įpurkšta į skaidulos sąsmauką, griovelius ar kiaurymes, o sukietėjusi – suteikia skaidulai tvirtumo.

Neorganinė matrica, tokia kaip SiO_2 matrica, yra chemiškai bei optiškai labai atspari bei apsaugo anglies nanovamzdelius ar kitas į matricą įterptas medžiagas nuo deguonies poveikio. Sugėriklio medžiagos degradacijos problemos sprendimas yra kritinis įsisotinančio sugėriklio komercializacijai.

Neorganinės matricos, geriau SiO_2 , pagrindu pagamintos kompozitinės įsisotinančios sugerties medžiagos panaudojimas išplonintos skaidulos, griovelių ar kiaurymių geometrijoje leidžia pagerinti atsparumą optinei spinduliuotei, pailgėja nanovamzdelių (ar grafeno) gyvavimo laikas bei padidėja mechaninis stabilumas. Dėl minėtų savybių pagerėjimo atsiranda galimybė pasirinkti patogesnius sugėriklio geometrinius parametrus bei sugėriklį panaudoti pramoninių skaidulinių lazerių gamyboje.

Šio išradimo skaidulinis Brego veidrodis su inkorporuoti įsisotinančius sugėrikliu turi šiuos privalumus: pasižymi dideliu įsisotinančios sugerties efektyvumu, pasižymi aukštu pažeidimo slenksčiu, be to, yra pigus. Tai yra visiškai su skaiduline technologija suderintas elementas, leidžiantis realizuoti skaidulinius sinchronizuotų lazerius be laisvos erdvės komponentų.

Didelis efektyvumas pasiekia dėl to, kad įsisotinančios sugerties medžiaga yra patalpinta didžiausio rezonatoriaus intensyvumo vietoje. Arti veidrodžio paviršiaus į veidrodį krintantis ir atsispindėjęs pluoštai persikloja ir interferuoja. Interferencijos pasekoje susidaro intensyvumo maksimumai iki 4 kartų viršija pavienio pluošto intensyvumą, todėl įsisotinanti sugertis netiesinėje medžiagoje vyksta efektyviau. Antra didesnio efektyvumo (lyginant su sugėrikliu, neinkorporuotu į veidrodį) priežastis – kompozitinė įsisotinančios sugerties medžiaga apima ne vieną intensyvumo maksimumą, tad sugertis dėl kiekvieno iš jų sumuojasi.

Yra dar vienas aspektas, lyginant šio išradimo įsisotinančios sugerties veidrodį su puslaidininkiniais įsisotinančios sugerties veidrodžiais (PISV).

PĮSV kvantinės struktūros, pvz. kvantinės duobės, matmuo yra apspręstas to, kokiam bangos ilgiui yra skirtas PĮSV. Kadangi kvantinės struktūros matmenys yra labai maži, jos pozicija (intensyvumo maksimumų atžvilgiu) turi būti parinkta labai tiksliai, kad būtų pasiekta efektyvi įsisotinanti sugertis. Tai reikalauja precizinės PĮSV gamybos technologijos. Šio išradimo įsisotinančios sugerties veidrodyje, įsisotinančios sugerties juosta yra susijusi su į matricą įterptos netiesinė sugertimi pasižyminčios medžiagos charakteristikomis, o kiaurymės ar griovelio, matmuo yra parenkamas nepriklausomai. Todėl šio išradimo veidrodžio gamyba nereikalauja sudėtingos gamybos technologijos ir nėra labai jautri kiaurymės/griovelio pozicijai.

Paminėti siūlomo išradimo privalumai praplečia įsisotinančio sugėriklio panaudojimo sritis bei prailgina jo tarnavimo laiką ypač dirbant su didelės galios spinduliuote.

Detaliau išradimas paaiškinamas brėžiniais:

Fig.1a – įsisotinančio sugėriklio su išploninta skaidulos dalimi, padengta kompozitine įsisotinančios sugerties medžiaga, išilginis pjūvis.

Fig.1b – įsisotinančio sugėriklio pagal Fig.1a skersinis pjūvis A-A.

Fig.1c – išdidinta įsisotinančio sugėriklio išploninta dalis su sklindančiu per ją šviesos impulsu.

Fig.2a – įsisotinančio sugėriklio pagal Fig.1a, padengto apsauginiu sluoksniu, išilginis pjūvis.

Fig.2b – įsisotinančio sugėriklio su apsauginiu sluoksniu pagal Fig.2a skersinis pjūvis A-A.

Fig.2c – išdidinta įsisotinančio sugėriklio su apsauginiu sluoksniu pagal Fig.2a išploninta dalis su sklindančiu per ją šviesos impulsu.

Fig.3a – įsisotinančio sugėriklio su skaidulos dalimi, kurioje yra suformuotas vienas išilginis griovelis, užpildytas kompozitine įsisotinančios sugerties medžiaga, išilginis pjūvis.

Fig.3b – įsisotinančio sugėriklio pagal Fig.3a skersinis pjūvis A-A.

Fig.4a - įsisotinančio sugėriklio pagal Fig.3a, padengto apsauginiu sluoksniu, išilginis pjūvis

Fig.4b – įsisotinančio sugėriklio pagal Fig.4a, padengto apsauginiu sluoksniu,

skersinis pjūvis A-A.

Fig.5a – įsisotinančio sugėriklio su skaidulos dalimi, kurioje yra suformuoti trys išilginiai grioveliai, užpildyti kompozitine įsisotinančios sugerties medžiaga, išilginis pjūvis.

Fig.5b – įsisotinančio sugėriklio pagal Fig.5a skersinis pjūvis A-A.

Fig.6a – įsisotinančio sugėriklio su skaidulos dalimi, kurioje yra suformuoti du išilginiai grioveliai, užpildyti kompozitine įsisotinančios sugerties medžiaga, skersinis pjūvis.

Fig.6b – įsisotinančio sugėriklio su skaidulos dalimi, kurioje yra suformuoti keturi išilginiai grioveliai, paslinkti vieni kitų atžvilgiu pagal skaidulos ilgį, užpildyti kompozitine įsisotinančios sugerties medžiaga, skersinis pjūvis.

Fig.7a – įsisotinančio sugėriklio su skaidulos dalimi, kurioje yra suformuota viena skersinė kiaurymė, užpildyta kompozitine įsisotinančios sugerties medžiaga, išilginis pjūvis.

Fig.7b – įsisotinančio sugėriklio pagal Fig.7a, skersinis pjūvis A-A.

Fig.8a – įsisotinančio sugėriklio su skaidulos dalimi, kurioje yra suformuotos trys skersinės kiaurymės, užpildytos kompozitine įsisotinančios sugerties medžiaga, išilginis pjūvis.

Fig.8b – įsisotinančio sugėriklio pagal Fig.8a, skersinis pjūvis A-A.

Fig.9a – įsisotinančio sugėriklio su skaidulos dalimi, kurioje yra suformuotos dvi tarpusavyje nesikertančios skersinės kiaurymės, užpildytos kompozitine įsisotinančios sugerties medžiaga, išilginis pjūvis.

Fig.9b – įsisotinančio sugėriklio pagal Fig.9a, skersinis pjūvis A-A.

Fig.10 – skaidulinis Brego veidrodis su inkorporuotu pasiūlytu įsisotinančiu sugėrikliu pagal Fig.7a.

Fig.11 – lazerio spinduliuotės intensyvumo pasiskirstymas skaidulinio Brego veidrodžio pagal Fig.10 viduje ir netoli jo.

Fig.12 – skaidulinis Brego veidrodis su inkorporuotu pasiūlytu įsisotinančiu sugėrikliu pagal Fig.6a.

Fig.13 – tiesinės geometrijos skaidulinis sinchronizuotų modų lazeris,

panaudojantis įsisotinantį sugėrikį pagal bet kurią iš Fig.1a – Fig.9b iliustracijų.

Fig.14 – tiesinės geometrijos skaidulinis sinchronizuotų modų lazeris, panaudojantis įsisotinamos sugerties veidrodį pagal Fig.10 arba Fig.12.

Fig.15a, 15b – tiesinės geometrijos skaidulinis sinchronizuotų modų lazeriai, panaudojantys šio išradimo įsisotinantį sugėrikį arba įsisotinamos sugerties veidrodį, su kaupinimo įvedimu per rezonatoriaus galą.

Fig.16a, 16b – tiesinės geometrijos skaiduliniai sinchronizuotų modų lazeriai, panaudojantys šio išradimo įsisotinantį sugėrikį arba įsisotinamos sugerties veidrodį, su lazerinės spinduliuotės išvedimu per rezonatoriaus galą.

Fig.17 – žiedinės geometrijos skaidulinis sinchronizuotų modų lazeris, panaudojantis šio išradimo įsisotinantį sugėrikį.

Fig.18 – žiedinės geometrijos skaidulinis sinchronizuotų modų lazeris, panaudojantis šio išradimo įsisotinamos sugerties veidrodį.

Fig.19 – tiesinės geometrijos skaidulinis sinchronizuotų modų lazeris, panaudojantis šio išradimo įsisotinantį sugėrikį, kuriame vienas iš rezonatoriaus veidrodžių yra skaidulos kilpos tipo.

Fig.1a – Fig.9b vaizduoja šio išradimo skaidulinio įsisotinamos sugėriklio 1 įvairias konfigūracijas. Sugėriklis pagal bet kurią konfigūraciją apima vienamodę optinę skaidulą su inkorporuota kompozitine įsisotinamos sugerties medžiaga, praskaidrėjančia veikiant intensyviai ($5\text{MW}/\text{cm}^2 - 500\text{MW}/\text{cm}^2$) spinduliuotei. Gautas įsisotinantis sugėriklis gali būti naudojamas kaip skaidulinių lazerių modų sinchronizatorius.

Fig.1a-1c pavaizduotas įsisotinantis sugėriklis 1, skirtas skaidulinių lazerių modų sinchronizacijai, kurį sudaro tempimu išploninta skaidulos dalis 2, kuri yra padengta kompozitinės įsisotinamos sugerties medžiagos sluoksniu 3. Sugėriklis pagal Fig.1a - Fig.1b bei Fig.2a - Fig.2b gaminamas taip: nuo standartinės vienamodės optinės skaidulos 4 pašalinamas apsauginis polimerinis sluoksnis 5, paliekant neapvilką skaidulos segmentą. Skaidulos polimerinio sluoksnio 5 pašalinimas vyksta nepažeidžiant pačios skaidulos paviršiaus. Paskui, pasinaudojant gerai žinoma kaitinimo ir tempimo technologija, skaidula yra išploninama. Tolygiai tempiant, skaidulos apvalkalas 6 ir šerdis 7 plonėja proporcingai. Skaidula išploninama tiek, kad apvalkalo skersmuo išplonintoje skaidulos dalyje 2 maždaug

susilygintų su šerdies skersmeniu neišplonintoje skaiduloje 4, t.y. nuo 6 iki 10 mikrometrų. Vėliau išploninta skaidulos dalis 2 yra padengiama kompozitinės įsisotinančios sugerties medžiagos sluoksniu 3, sudaryta iš neorganinės matricos ir netiesinės sugerties medžiagos. Minėtos neorganinės matricos lūžio rodiklis turi būti artimas minėtos optinės skaidulos 4 lūžio rodikliui. Geriausiai tinka SiO_2 stiklo matrica. Minėta netiesinės sugerties medžiaga, įterpta į neorganinę matricą, gali būti pasirinktinai nanovamzdeliai arba grafenas, arba puslaidininkiniai kvantiniai taškai. Minėta kompozitinė įsisotinančios sugerties medžiaga, sudaryta iš neorganinės matricos, geriau SiO_2 matricos, ir netiesinės sugerties medžiagos, geriau anglies nanovamzdelių, yra pagaminta sol-gel technologijos būdu.

Skaidulinis įsisotinantis sugėriklis pagal Fig.2a - Fig.2b konfigūraciją, sudarytas iš minėtos išplonintos skaidulos dalies 2, padengtos minėtu kompozitinės įsisotinančios sugerties medžiagos sluoksniu 3, papildomai yra padengta apsauginiu sluoksniu 8, kuris gali būti padarytas iš polimerinės medžiagos analogiškos medžiagai 5, kuria dengiama visa skaidula. Jis suteikia sugėrikliui papildomo atsparumo aplinkos poveikiams. Fig.1c ir Fig.2c pavaizduotas šviesos impulso, sklindančio sugėriklyje pagal Fig.1a - Fig.2b iliustracijas, pluošto skersinis pasiskirstymas 9. Dėl optinės skaidulos išplonėjimo, dalis spinduliuotės išeina už skaidulos ribų (ši spinduliuotės dalis vadinama nykstančiu arba paviršiniu lauku). Kadangi optinė skaidula yra padengta įsisotinančios sugerties medžiagos sluoksniu 3, vyksta sąveika, paveikianti visą pluoštą. Dėl anglies nanovamzdelių (arba grafeno, arba puslaidininkinių kvantinių taškų) netiesinės sugerties savybės, sugėrikliu 1 sklindanti spinduliuotė patiria nuo intensyvumo priklausančius nuostolius. Kuo intensyvumas yra didesnis, tuo santykinai mažesnius nuostolius patiria spinduliuotė.

Sugėriklyje pagal Fig.1a - Fig.2b iliustracijas sąveikos stiprumas gali būti valdomas parenkant šiuos parametrus: išplonėjusios skaidulos dalies 2 skersmenį ir ilgį, kompozitinės įsisotinančios sugerties medžiagos sluoksnio 3 storį ir lūžio rodiklį bei anglies nanovamzdelių koncentraciją. Šio išradimo sugėriklyje išplonintos skaidulos dalies 2 geometriniai parametrai parenkami tokie, kad neįsotinta sugertis, barstymai ir difrakcija įneštų nuo 1% iki 50% nuostolių skaidula sklindančiai lazerinei spinduliuotei. Geriausios mechaninės ir bangolaidinės savybės gaunamos tuomet, kai kompozitinė įsisotinančios sugerties medžiaga 3 užpildo visą skaidulos sąsmauką.

Kompozitinės įsisotinančios sugerties medžiagos, pagamintos SiO_2 matricos

pagrindu, lūžio rodiklis yra labai artimas optinės skaidulos lūžio rodikliui. Todėl paviršinis laukas gali giliau įsiskverbti į skaidulą dengiančią įsisotinančios sugerties medžiagos sluoksnį 3. Esant labai artimiems lūžio rodikliams, pasiekiami maži nuostoliai spinduliuotei pereinant iš neplonintos skaidulos dalies 4 į išplonintą dalį 2. Antra vertus, kai lūžio rodikliai yra labai artimi, sugėriklis yra prastas bangolaidis, nes nebelieka skiriamąjo paviršiaus, ant kurio būtų tenkinama visiškojo vidaus atspindžio sąlyga. Bangolaidinės sugėriklio savybės yra pagerinamos, šiek tiek sumažinus ant išplonintos skaidulos dalies užtepto sluoksnio 3 lūžio rodiklį. Kompozitinės įsisotinančios sugerties medžiagos lūžio rodiklį galima modifikuoti keičiant sol-gel technologijos sąlygas. Sol-gel technologijos būdu išgautos SiO_2 matricos porėtumas, o kartu ir lūžio rodiklis, priklauso nuo technologinių parametrų: koloidinio tirpalo sudėties, tirpiklio, gelio susidarymo laiko ir temperatūros, atkaitinimo sąlygų.

Kompozitinės įsisotinančios sugerties medžiagos porėtumo parinkimas leidžia pasiekti optimalią lūžio rodiklio vertę, su kuria sugėriklis pasižymi geromis bangolaidinėmis savybėmis, o lauko įsiskverbimo gylis vis dar užtikrina stiprią sąveiką su įsisotinančios sugerties medžiaga. 1% skirtumas tarp skaidulos apvalkalo 6 ir kompozitinės įsisotinančios sugerties medžiagos 3 lūžio rodiklių yra pakankamas, kad sugėriklio 1 difrakciniai nuostoliai nesiskirtų nuo standartinės optinės skaidulos 4 difrakcinių nuostolių.

Šio išradimo išplonintos skaidulos geometrijos sugėriklyje spinduliuotės sąveika su įsisotinančios sugerties medžiaga yra stipresnė, lyginant su žinomo išplonintos skaidulos geometrijos sugėriklio, panaudojančio polimerinės matricos pagrindu pagamintą kompozitinę įsisotinančios sugerties medžiagą. Iš kitos pusės, galima pasirinkti didesnę (iki kelių dešimčių mikrometrų) išplonintos skaidulos dalies skersmenį, esant tam pačiam įsiskverbimo gyliui. Sukietėjusi kompozitinė sugėriklio medžiaga, pagaminta neorganinės matricos pagrindu, yra puikus mechaninis stabilizatorius išplonintai skaidulai.

Fig.3a–Fig.3b pavaizduotas pagal išradimą pasiūlytas skaidulinis įsisotinantis sugėriklis su vienu griovelio 10. Sugėriklis yra suformuotas optinėje skaiduloje išfrezuojant vieną griovelį 10 ir užpildant jį minėta kompozitine įsisotinančios sugerties medžiaga 3. Papildomai apsaugai užtikrinti galima padengti polimeriniu sluoksniu 8 (Fig.4a, 4b).

Sąveikos tarp lazerinės spinduliuotės ir kompozitinės medžiagos 3 stiprumas

priklauso nuo griovelio matmenų, ypač įgilinimo lygio, o taip pat medžiagos 3 lūžio rodiklio, jos sluoksnio storio ir anglies nanovamzdelių koncentracijos. Galimas įvairus griovelių skaičius ir išdėstymas, pavaizduotas Fig.5a-Fig.6b. Geriausios mechaninės savybės gaunamos tuomet, kai kompozitinė įsisotinančios sugerties medžiaga 3 užpildo visą griovelio/griovelių gylį. Griovelių skaičius ir matmenys parenkami tokie, kad sugėrikliu sklindančios lazerio spinduliuotės nuostoliai, kuriuos įneša kompozitinė įsisotinančios sugerties medžiaga būtų ribose nuo 1% iki 50%.

Šiuolaikinės technologijos leidžia išfrezuoti nedidelių matmenų griovelius. Kuomet griovelio matmenys skersai pluošto sklidimo krypties yra nedideli, pvz. 1-10 mikronų, lauko nuostoliai dėl barstymo yra nykstamai maži. Išilginiai griovelio matmenys gali kelis kartus viršyti skersinius. Dėl medžiagos, kuria užpildomas griovelis, lūžio rodiklio panašumo su skaidulos lūžio rodikliu, spinduliuotė gerai įsiskverbs į griovelio sritį. Tai užtikrina stiprią sąveiką su įsisotinančios sugerties medžiaga 3. Galima medžiagos 3 lūžio rodiklį padaryti truputį mažesnį, kad būtų išlaikomas bangolaidinis sklidimas.

Fig.4a - Fig.6b sugėrikliuose optinės skaidulos dalyje 1 suformuoti vienas ar daugiau griovelių, užpildyti minėta kompozitine įsisotinančios sugerties medžiaga 3, papildomai yra padengti apsauginiu sluoksniu 8, kuris gali būti padarytas iš polimerinės medžiagos analogiškos medžiagai 5, kuria dengiama visa skaidula.

Griovelių geometrijos sugėriklis yra ypatingai mechaniškai tvirtas. Mechaninės savybės yra geresnės, lyginant su išplonintos skaidulos geometrijos sugėriklio savybėmis, nes frezuojant griovelius, neiškraipoma skaidulos vidinė struktūra, įnešamas tik nedidelis defektas. Griovelių, užpildytų kieta neorganine kompozitine medžiaga, mechaninis stabilumas nesiskiria nuo nefrezuotos optinės skaidulos mechaninio stabilumo.

Fig.7a - 9b pavaizduoti pagal išradimą pasiūlyti skaiduliniai įsisotinantis sugėrikliai, suformuoti optinėje skaiduloje išgręžiant bent vieną skersai skaidulos einančią kiaurymę ir užpildant ją minėta kompozitine įsisotinančios sugerties medžiaga 3. Fig.7a, Fig.7b sugėriklyje skaidulos dalyje 1 yra suformuota viena kiaurymė 14. Kiaurymės gali būti įvairių matmenų ir išdėstymų (Fig.8a - 9b): siauresnės arba platesnės už skaidulos šerdį 7; centruotos arba paslinktos ašies atžvilgiu; vienoje arba skirtingose plokštumose. Taip valdomas sąveikos stiprumas, paskirstoma spinduliuotės galia. Kiaurymės matmuo skersai pluošto sklidimo ašies –

nuo kelių iki kelių dešimčių mikrometrų; išilgai pluošto sklaidimo ašies – nuo dešimties mikrometrų iki kelių milimetrų. Kiaurymių skaičius ir skersmuo parenkami tokie, sugėrikliu sklindančios lazerio spinduliuotės nuostoliai, kuriuos įneša kompozitinė įsisotinančios sugerties medžiaga būtų ribose nuo 1% iki 50%.

Kiaurymių geometrijos sugėriklių mechaninės savybės nėra blogesnės už griovelių geometrijos sugėriklių mechanines savybes, nes kiauřymės/kiauřymių tūrį užpildo kieta neorganinė medžiaga analogiška optinės skaidulos medžiagai. Tuo tarpu lazerinės spinduliuotės sąveika su įsisotinančios sugerties medžiaga yra stipresnė negu griovelių geometrijoje, nes sugeriančią medžiagą kerta spinduliuotės didesnio intensyvumo sritys. Kadangi pluoštas sąveikauja su įsisotinančios sugerties medžiaga tiesioginiame praėjime, medžiagos praskaidrėjimas yra labai efektyvus. Antra vertus, anglies nanovamzdelių patalpinimas lazerinio pluošto kelyje padidina išsiskyrusios šilumos tankį. Siekiant suvaldyti šilumos išsiskyrimą ir apsaugoti sugėriklį nuo galimos degradacijos arba pažeidimo, reikia sumažinti anglies nanovamzdelių koncentraciją. Sumažinus anglies nanovamzdelių koncentraciją, galima padidinti kiauřymės tūrį, kad būtų sukompensuotas įsisotinančios sugerties dydis.

Įsisotinantis sugėriklis pagal bet kurią iš Fig.1a - Fig.9b iliustracijų yra nesudėtingos gamybos technologijos, pigus ir atsparus elementas, kuris gali būti panaudotas kaip modų sinchronizatorius didelės galios skaiduliniuose lazeriuose. Taip pat šio išradimo įsisotinantis sugėriklis yra itin kompaktiškas elementas, leidžiantis realizuoti skaidulinius sinchronizuotų modų lazerius be laisvos erdvės komponentų.

Fig.10, Fig.12 pavaizduotas skaidulinis įsisotinančios sugerties veidrodis, skirtas skaidulinių lazerių modų sinchronizacijai, apimantis skaidulinį Brego veidrodį su integruotu įsisotinančiu sugėrikliu pagal bet kurią iš Fig.3a-Fig.9b iliustracijų. Skaidulinis Brego veidrodis su inkorporuotu įsisotinančiu sugėrikliu turi daug privalumų, lyginant su kitais žinomais įsisotinančios sugerties veidrodžiais.

Įsisotinančios sugerties Brego veidrodyje 15 pagal Fig.10 yra inkorporuotas kiauřymių geometrijos įsisotinantis sugėriklis, analogiškas Fig.7a, 7b iliustracijoms. Fig.10 yra schematinis brėžinys, kuriame neišlaikyta skaidulos šerdies 7 ir apvalkalo 6 matmenų proporcija. Standartinės vienamodės optinės skaidulos šerdies 7 skerspjūvis būna nuo 6 iki 10 mikrometrų, o apvalkalo 6 storis – 125 mikrometrai.

Padidinto lūžio rodiklio sritys 16, įrašytos skaidulos šerdyje ir išdėstytos viena kitos atžvilgiu atstumu 17, sudaro skaidulinį Brego veidrodį. Realiose skaiduliniuose Brego veidrodžiuose padidinto lūžio rodiklio sričių 16 skaičius gali siekti kelis tūkstančius, tačiau Fig.10 paveiksle iliustraciniais tikslais pavaizduoti tik keli lūžio rodiklio kitimo periodai.

Kiaurymės 14 matmuo statmenai pluošto sklidimo kryptčiai, priklausomai nuo norimo netiesinės sugerties dydžio, gali būti tiek mažesnis už skaidulos šerdies 7 skerspjūvį, tiek ir viršyti jį. Kiaurymės 14 matmuo išilgai pluošto sklidimo kryptties gali siekti kelis milimetrus. Kadangi pluoštas sąveikauja su įsisotinančios sugerties medžiaga tiesioginiame praėjime, anglies nanovamzdelių koncentracija kompozitinėje įsisotinančios sugerties medžiagoje 3 turi būti tokia, kad dėl spinduliuotės sugerties išsiskyręs šilumos kiekis nepažeistų veidrodžio. Siekiant geriau paskirstyti išsiskiriančią šilumą, gali būti padaromos ir kelios kiaurymės.

Įsisotinančios sugerties medžiagos 3 praskaidrėjimas yra efektyviausias, kuomet kiaurymė/kiaurymės yra ties veidrodžio paviršiumi (plokštuma 18), nes čia lazerinės spinduliuotės intensyvumas yra didžiausias. Taip yra dėl to, kad pirmyn ir atgal keliaujantys lazeriniai pluoštai (19, 20) tarpusavyje interferuoja. Spinduliuotės intensyvumas / arti veidrodžio paviršiaus 18 iki 4 kartų viršija bet kurio atskiro iš minėtų pluoštų 19 arba 20 intensyvumą I_0 . Todėl įsisotinančios sugerties medžiagą 3 veiks didesnio intensyvumo spinduliuotė. Tai yra bendra visų netiesinių veidrodžių savybė.

Erdvėje lokalizuotas kvazistacionarus lauko pasiskirstymas (Fig.11) yra sudarytas iš daugybės maksimumų. Veidrodžio viduje (sritis 21) spinduliuotės intensyvumo maksimumai susidaro dėl daugybinių atspindžių ant lūžio rodiklio pasikeitimo plokštumų. Brego veidrodžio ilgis 21 priklauso nuo daugelio parametų ir gali siekti kelis milimetrus bei apimti nuo kelių dešimčių iki kelių tūkstančių lūžio rodiklio pasikeitimo plokštumų. Veidrodžio išorėje spinduliuotės intensyvumo maksimumai susidaro dėl į veidrodį krentančio 19 ir atspindėto 20 pluoštų interferencijos. Veidrodžio išorėje intensyvumo gaubtinės 23 pusplotis 22 yra apspręstas lazerinio impulso trukmės (pikosekundiniams impulsas siekia kelis mm).

Galimybė suformuoti norimų matmenų kiaurymę, leidžia inkorporuoti įsisotinančios sugerties medžiagą srityje, apimančioje ne vieną, o kelis spinduliuotės intensyvumo maksimumus. Parinkus kiaurymės išilginį matmenį iš intervalo nuo 10 μm

iki 1mm, kompozitinė įsisotinamos sugerties medžiaga 3 perkloja nuo kelių iki kelių dešimčių intensyvumo maksimumų. Įsisotinanti sugertis dėl kiekvieno iš jų sumuojasi. Skaiduliniame įsisotinamos sugerties veidrodyje kiaurymė turi būti suformuota, stipriai nepakeičiant veidrodžio atspindėjimo savybės. Todėl veidrodyje pagal Fig.10, kuomet kiaurymė eina per skaidulos centrą, kiaurymė turi būti suformuota arba prie pat, tačiau nekertant, veidrodžio paviršiaus 18, arba kirsti tik kelias padidinto lūžio rodiklio sritis 16.

Įsisotinamos sugerties Brego veidrodyje 15 pagal Fig.12 yra inkorporuotas griovelų geometrijos įsisotinantis sugėriklis, analogiškas Fig.3a-6b iliustracijoms.

Tokia veidrodžio 15 konfigūracija gali būti reikalinga, siekiant, kad lazerinė spinduliuotė patirtų įsisotinamą sugertį, o veidrodį kertanti kaupinimo spinduliuotė nesąveikautų su įsisotinamos sugerties medžiaga. Arba tuo atveju, kai lazerinės spinduliuotės galia yra didelė. Be to, veidrodyje pagal Fig.12 griovelis negadina veidrodžio atspindėjimo savybės, t.y. griovelis/grioveliai gali būti suformuoti ir virš periodinės Brego veidrodžio struktūros, perklojant daug intensyvumo maksimumų tiek veidrodžio išorėje (į kairę nuo plokštumos 18), tiek ir jo viduje (į dešinę nuo plokštumos 18).

Šio išradimo įsisotinamos sugerties veidrodis pagal bet kurią konfigūraciją yra pilnai suderinamas su lazerine technologija elementas, leidžiantis pagaminti grynai skaidulinį sinchronizuotą modų lazerį. Be to, jį nesudėtinga ir pigu pagaminti, žymiau paprasčiau ir pigiau už minėtus puslaidininkinius įsisotinamos sugerties veidrodžius.

Fig.13-Fig.19 pavaizduoti skaiduliniai sinchronizuotų modų lazeriai, kurių rezonatoriai apima šio išradimo įsisotinantį sugėriklį 1 arba įsisotinamos sugerties veidrodį 15.

Fig.13 schematiškai iliustruoja tiesinio rezonatoriaus skaidulų lazerį, kurį sudaro šie komponentai: aktyviaisiais jonais legiruota skaidula 24, galiniai veidrodžiai (25, 26), elementas 27 kaupinimo spinduliuotei 28 įvesti į rezonatorių, elementas 29 lazerinei spinduliuotei 30 išvesti iš rezonatoriaus, įsisotinantis sugėriklis 1, taip pat, jeigu reikia, elementai poliarizacijai valdyti 31 ir dispersijai sukompensuoti 32. Galimi įvairūs lazerio komponentų išdėstymo variantai. Tai gali būti rezonatorius be laisvos erdvės komponentų, nes visi paminėti elementai gali būti padaryti optinės skaidulos pagrindu. Lazeryje pagal Fig.13 galiniai rezonatoriaus veidrodžiai 25 ir 26 yra aukšto

atspindžio koeficiento skaidulinės Brego gardelės, kurios kartu veikia ir kaip spektriniai filtrai, užtikrinantys gerą spektrinį ryškį, reikalingą efektyviai modų sinchronizacijai. Įsisotinantis sugėriklis 1, pagamintas pagal bet kurią iš Fig.1a-Fig.9b iliustracijų, veikia kaip pasyvus modų sinchronizatorius. Iš principo, jis gali būti patalpintas bet kurioje rezonatoriaus vietoje, tačiau efektyviausiai ultratrumpojo impulso formavimasis iš triukšmų vyksta, kuomet modų sinchronizatorius yra kiek galima arčiau vieno iš galinių veidrodžių.

Lazeris pagal Fig.14 nuo lazerio pagal Fig.13 skiriasi tuo, kad vietoj paprasto skaidulinio Brego veidrodžio 25 ir įsisotinančio sugėriklio 1 yra įsisotinamos sugerties skaidulinis Brego veidrodis 15, apjungiantis galinio rezonatoriaus veidrodžio ir modų sinchronizatoriaus funkcijas ir kuris gali būti pagamintas pagal Fig.10 arba Fig.12 iliustraciją.

Fig.15a, Fig.15b pateikiamos analogiškos skaidulinių lazerių konfigūracijos su kaupinimo spinduliuotės įvedimu per vieną iš galinių veidrodžių. Lazerio komponentų išdėstymas parenkamas toks, kad kaupinimo spinduliuotė, prieš pasiekdama aktyviaisiais jonais legiruotą skaidulą 24, būtų kuo mažiau išsklaidyta ar sugerta.

Fig.16a, Fig.16b – skaidulinių lazerių konfigūracijos su lazerinės spinduliuotės išvedimu per dalinai skaidrų galinį rezonatoriaus veidrodį 33.

Fig.17 schematiškai iliustruoja žiedinio rezonatoriaus skaidulų lazerį, kurį sudaro šie komponentai: aktyviaisiais jonais legiruota skaidula 24, elementai kaupinimo spinduliuotės įvedimui ir lazerinės spinduliuotės išvedimui 27 ir 29, įsisotinantis sugėriklis 1, elementai 31 poliarizacijai valdyti ir elementai 32 dispersijai sukompensuoti, o taip pat spektrinis filtras 34 ir izoliatorius 35. Fig.18 – žiedinė skaidulinio lazerio konfigūracija, turinti savyje įsisotinamos sugerties veidrodį 15, kurioje be anksčiau minėtų elementų yra cirkuliatorius 36. Fig.17, Fig.18 lazeriai gali būti realizuoti be laisvos erdvės komponentų.

Fig.19 paveiksle pavaizduotas dar vienas skaidulinio lazerio, realizuoto tiesinėje geometrijoje, variantas. Jį taip pat galima realizuoti panaudojant vien tik skaidulinius elementus. Lazeryje pagal Fig.19 išvadinis rezonatoriaus veidrodis 37 yra skaidulos kilpos tipo: jį sudaro skaidulinis šakotuvus 38 ir skaidulos kilpa 39.

Kadangi visi lazerio komponentai, įskaitant veidrodžius ir modų sinchronizatorių, gali būti grynai skaiduliniai, lazeris yra labai stabilus, sąlyginai

nebrangus ir kompaktiškas. Skaidulinis lazeris, panaudojantis šio išradimo įsisotinantį sugėrikį ar įsisotinančios sugerties veidrodį gali dirbti didelės galios diapazone. Būtent tokių lazerio charakteristikų derinys yra patrauklus pramoniniam vartotojui.

Visos galimos skaidulinių įsisotinančių sugėriklių modifikacijos, neilustruotos paveikslais Fig.1a-Fig.9b, tačiau nenukrypstančios nuo šio išradimo idėjos, yra saugomos šiuo išradimu.

Visos įmanomos įsisotinančios sugerties skaidulinio Brego veidrodžio modifikacijos, neilustruotos paveikslais Fig.10 ir Fig.12, apimančios integruotą šio išradimo įsisotinantį sugėrikį yra saugomos šiuo išradimu.

Kitos skaidulinių sinchronizuotų modų lazerių konfigūracijos, nepademonstruotos paveiksluose Fig.13-Fig.19, apimančios šio išradimo įsisotinantį sugėrikį ar įsisotinančios sugerties veidrodį, yra saugomos šiuo išradimu.

IŠRADIMO APIBRĖŽTIS

1. Įsisotinantis sugėriklis, skirtas skaidulinių lazerių modų sinchronizacijai, apimantis vienamodę optinę skaidulą, turinčią išplonintą skaidulos dalį, kuri yra padengta kompozitine įsisotinančios sugerties medžiaga, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad minėta kompozitinė įsisotinančios sugerties medžiaga apima neorganinę matricą, kurios lūžio rodiklis yra artimas minėtos skaidulos lūžio rodikliui, ir į ją įterptą medžiagą, pasižyminčią netiesine šviesos sugertimi bei praskaidrėjančią sklindant minėta skaidula intensyviai lazerio spinduliuotei, kurios intensyvumas yra ribose nuo 5 MW/cm^2 iki 500 MW/cm^2 , o minėtos išplonintos skaidulos dalies sąsmaukos skerspjūvis ir jos ilgis, parenkami tenkinant sąlygą, kad minėta skaidula sklindančios lazerio spinduliuotės nuostoliai, kuriuos įneša minėta kompozitinė įsisotinančios sugerties medžiaga, būtų ribose nuo 1% iki 50%.

2. Įsisotinantis sugėriklis, skirtas skaidulinių lazerių modų sinchronizacijai, apimantis vienamodę optinę skaidulą, turinčią skaidulos dalį, kurioje yra suformuota bent vienas griovelis arba kiaurymė, kur minėtoje skaidulos dalyje suformuoti minėti bent vienas griovelis arba kiaurymė yra užpildyti kompozitine įsisotinančios sugerties medžiaga, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad minėta kompozitinė įsisotinančios sugerties medžiaga apima neorganinę matricą, kurios lūžio rodiklis yra artimas minėtos skaidulos lūžio rodikliui, ir į ją įterptą medžiagą, pasižyminčią netiesine šviesos sugertimi bei praskaidrėjančią sklindant minėta skaidula intensyviai lazerio spinduliuotei, kurios intensyvumas yra ribose nuo 5 MW/cm^2 iki 500 MW/cm^2 , o suformuotų minėtų griovelių ar kiaurymių skaičius ir jų konfigūracija parenkami tenkinant sąlygą, kad minėta skaidula sklindančios lazerio spinduliuotės nuostoliai, kuriuos įneša minėta kompozitinė įsisotinančios sugerties medžiaga, būtų ribose nuo 1% iki 50%.

3. Įsisotinantis sugėriklis pagal 1 arba 2 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad minėta kompozitinė įsisotinančios sugerties medžiaga yra pagaminta sol-gel technologijos būdu.

4. Įsisotinantis sugėriklis pagal bet kurį iš 1-3 punktų, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad minėta neorganinė matrica yra SiO_2 matrica, pagaminta sol-gel

technologijos būdu.

5. Įsisotinantis sugėriklis pagal bet kurį iš 1-4 punktų, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad į minėtą neorganinę matricą įterpta medžiaga, pasižyminti netiesine šviesos sugertimi, yra nanovamzdeliai arba grafenas, arba puslaidininkiniai kvantiniai taškai.

6. Įsisotinantis sugėriklis pagal bet kurį iš 2-5 punktų, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad skaidulos dalyje suformuotas bent vienas griovelis tęsiasi išilgai šios skaidulos dalies.

7. Įsisotinantis sugėriklis pagal bet kurį iš 2-5 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad skaidulos dalyje suformuota bent viena kiaurymė eina skersai šios skaidulos dalies.

8. Įsisotinantis sugėriklis pagal bet kurį iš ankstesnių punktų, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad išploninta skaidulos dalis padengta kompozitive įsisotiniančios sugerties medžiaga arba skaidulos dalis, kurioje yra suformuotas bent vienas griovelis arba kiaurymė, užpildyti kompozitive įsisotiniančios sugerties medžiaga, yra padengta polimeru.

9. Skaidulinis sinchronizuotų modų lazeris, kurio rezonatorius turi įsisotinantį sugėrikį pagal bent vieną iš ankstesnių punktų nuo 1 iki 8.

10. Įsisotiniančios sugerties skaidulinis Brego veidrodis, skirtas skaidulinių lazerių modų sinchronizacijai, į kurį integruotas įsisotinantis sugėriklis yra išpildytas pagal bent vieną iš 2-8 punktų.

11. Skaidulinis sinchronizuotų modų lazeris, kurio rezonatoriaus vienas iš galinių veidrodžių yra įsisotiniančios sugerties skaidulinis Brego veidrodis pagal 10 punktą.

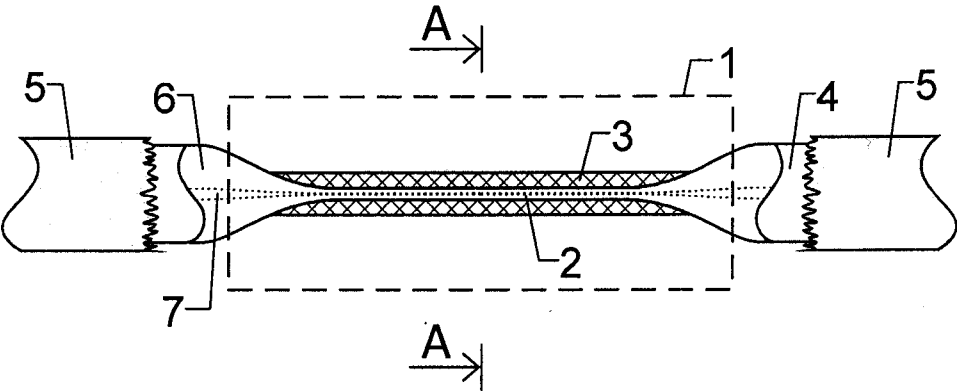


Fig. 1a

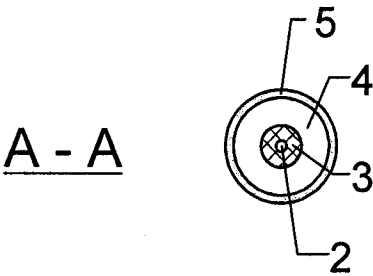


Fig. 1b

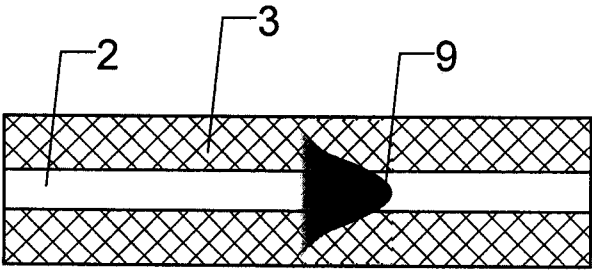


Fig. 1c

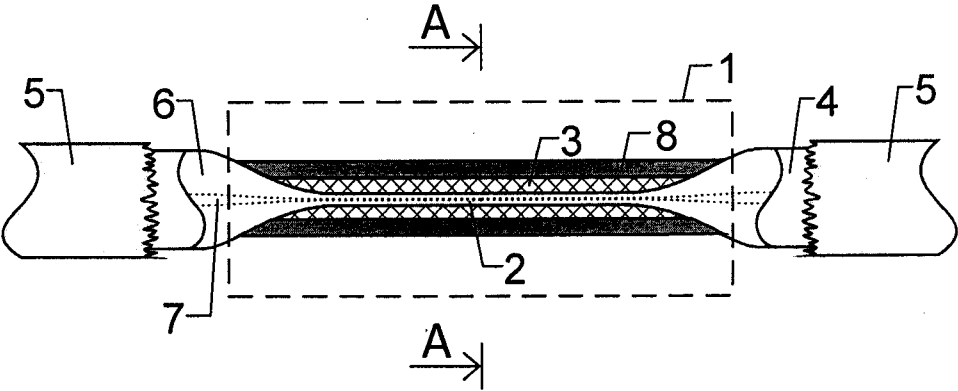


Fig. 2a

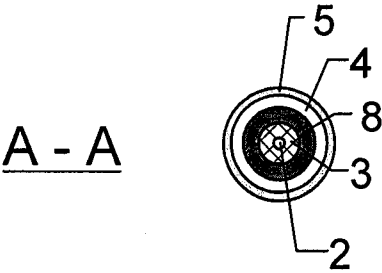


Fig. 2b

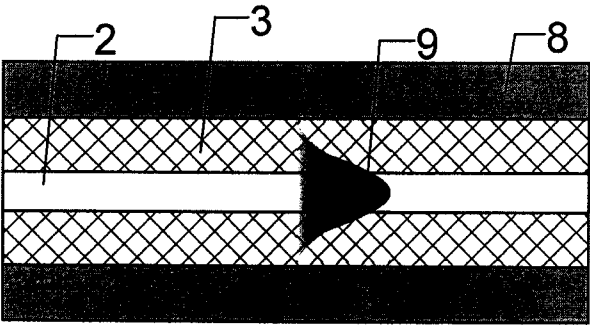


Fig. 2c

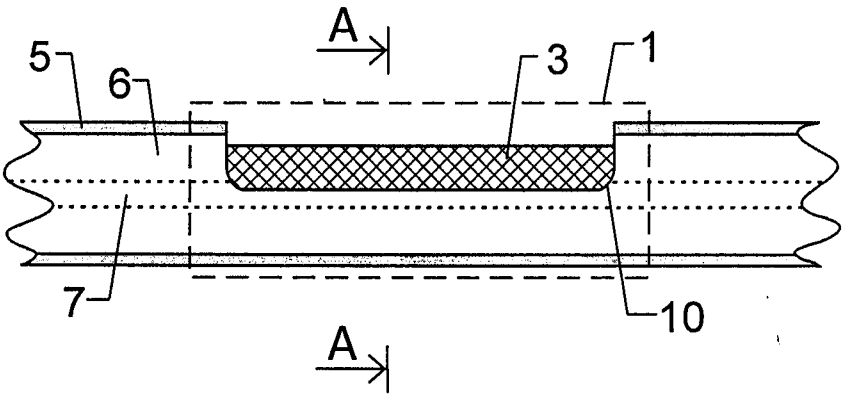


Fig. 3a

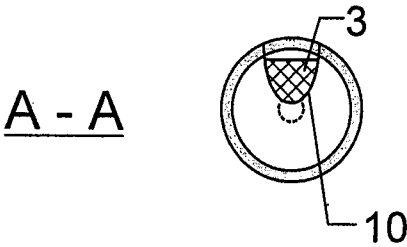


Fig. 3b

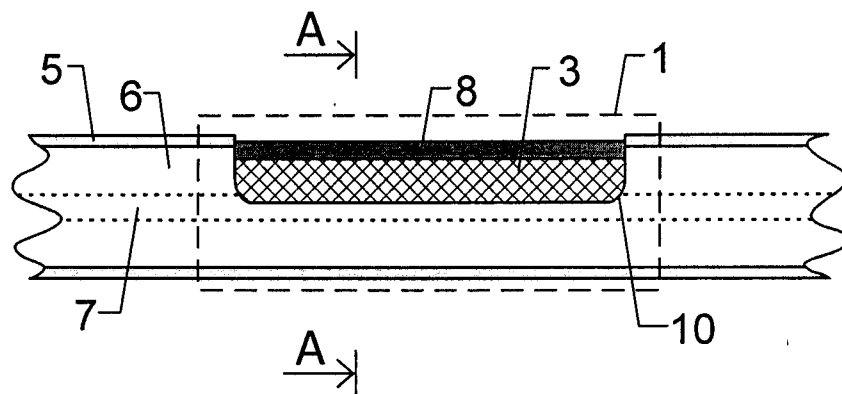


Fig. 4a

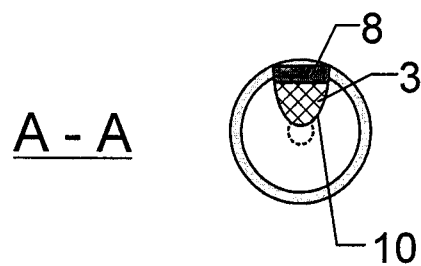


Fig. 4b

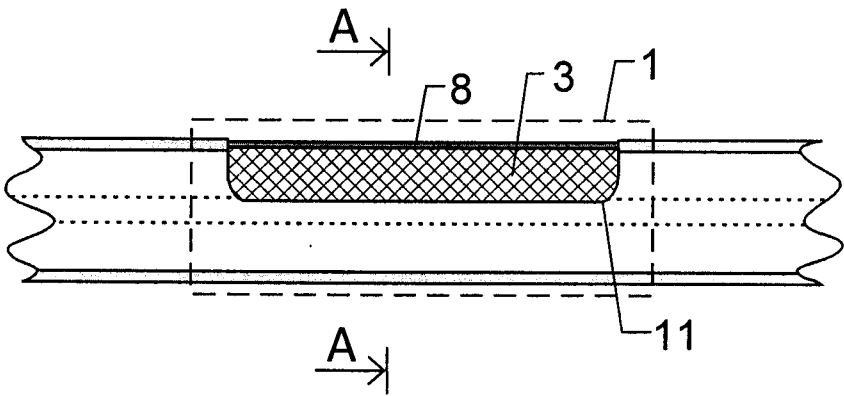


Fig. 5a

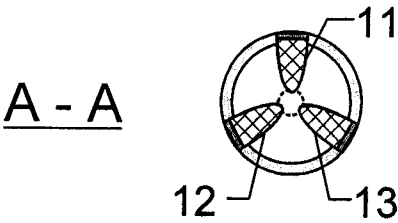


Fig. 5b

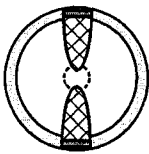


Fig. 6a

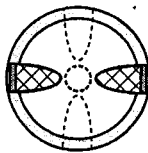


Fig. 6b

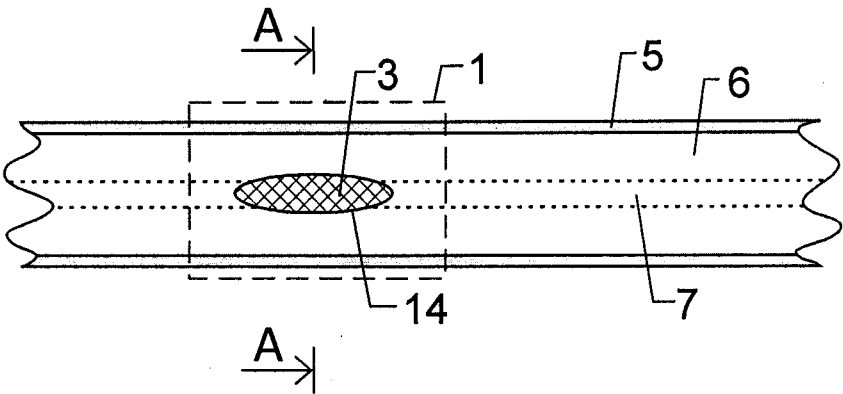


Fig. 7a

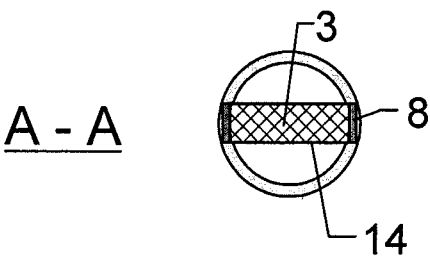


Fig. 7b

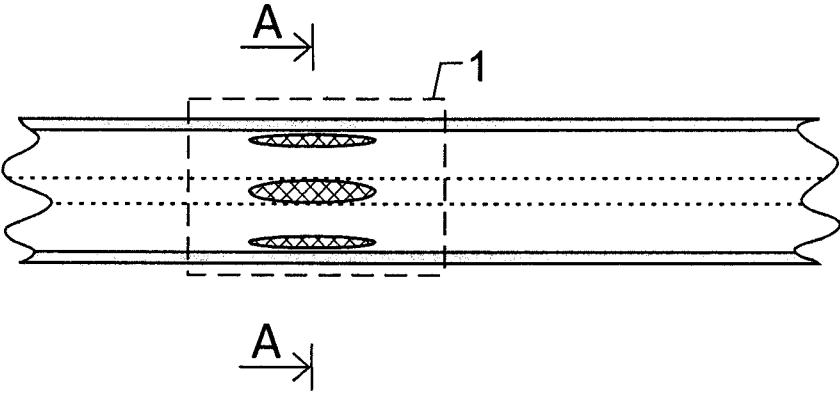


Fig. 8a



Fig. 8b

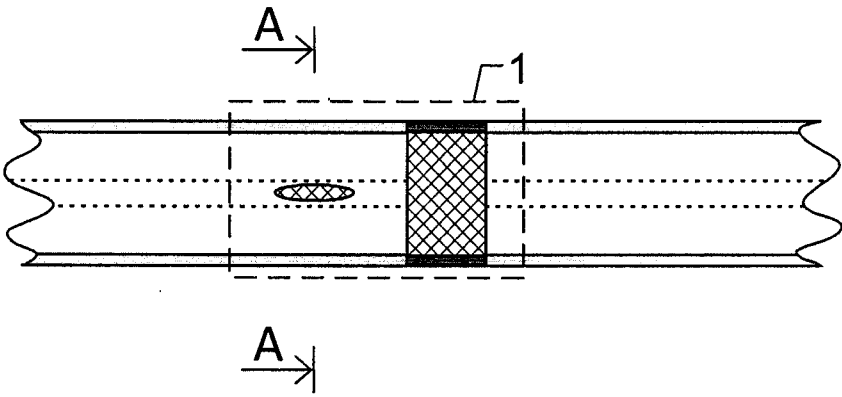


Fig. 9a

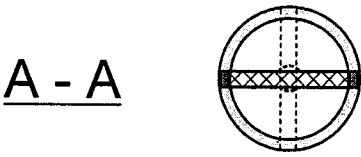


Fig. 9b

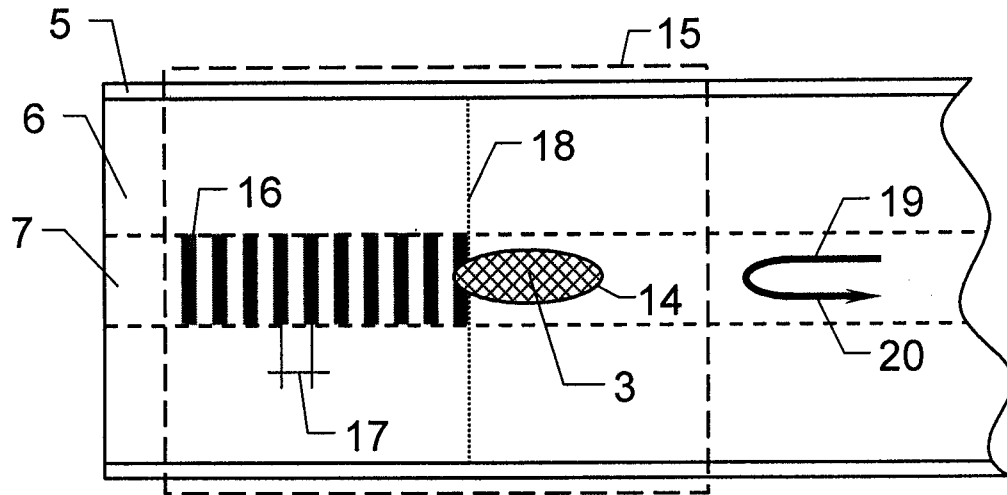


Fig. 10

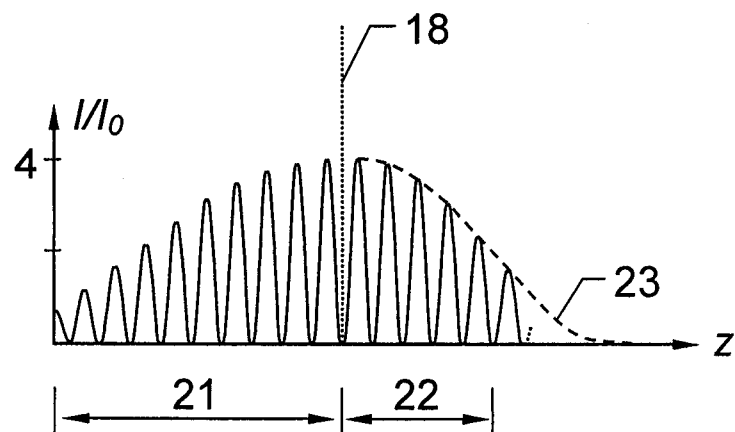


Fig. 11

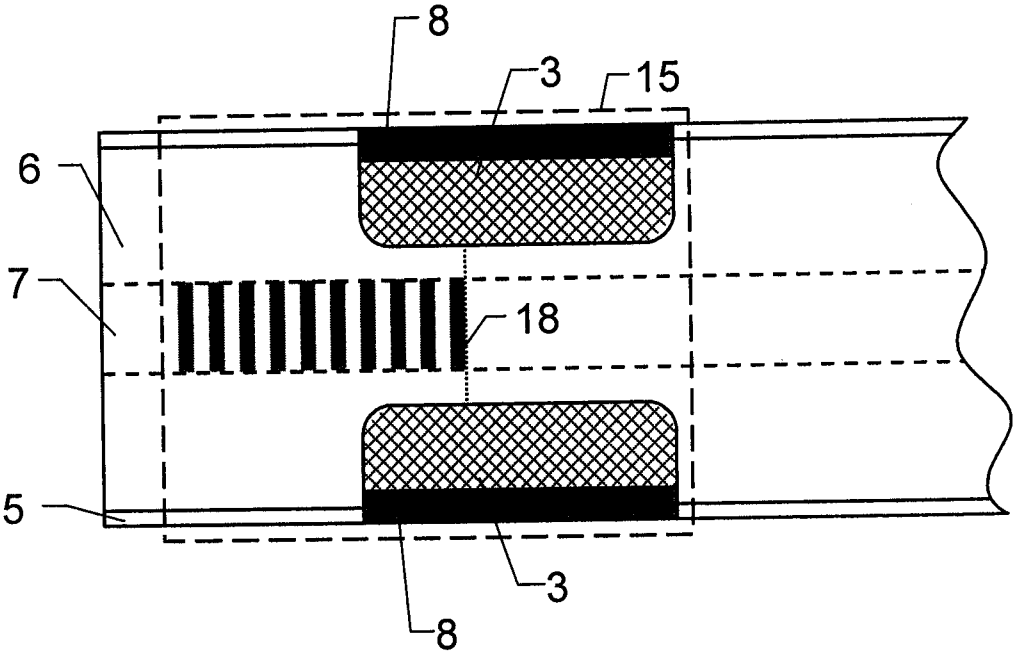


Fig. 12

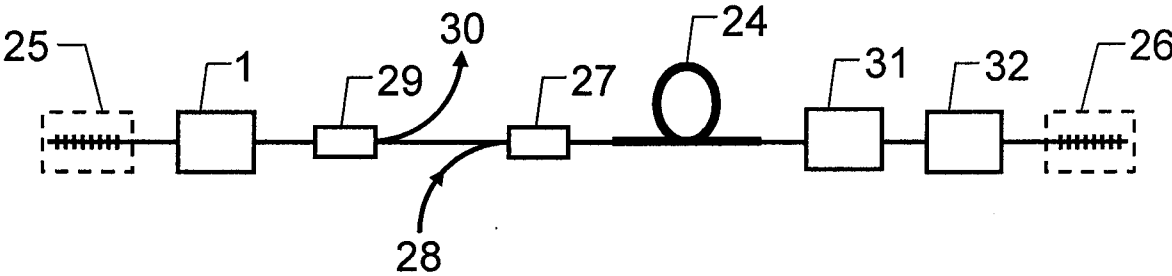


Fig. 13

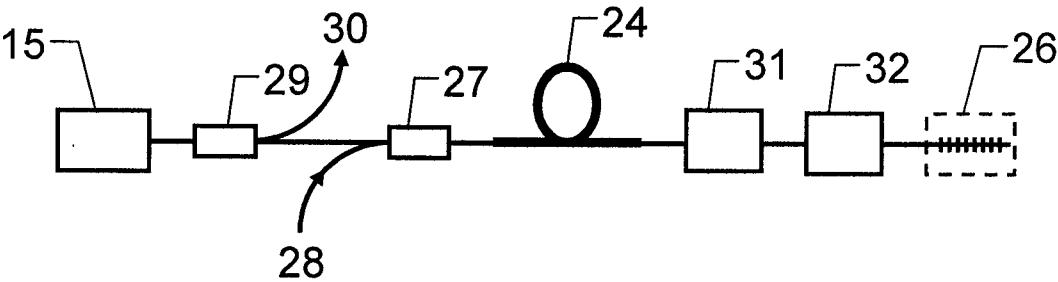


Fig. 14

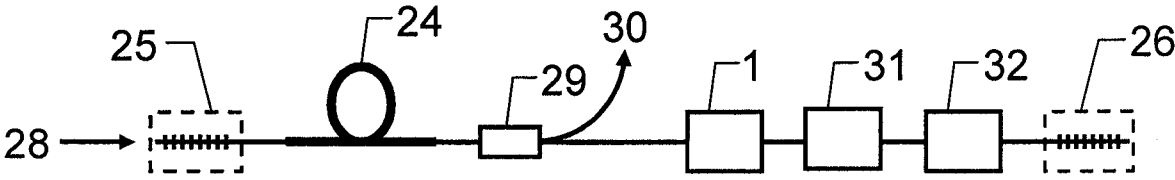


Fig. 15a

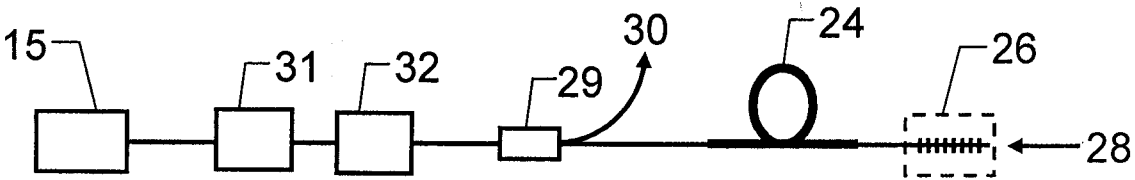


Fig. 15b

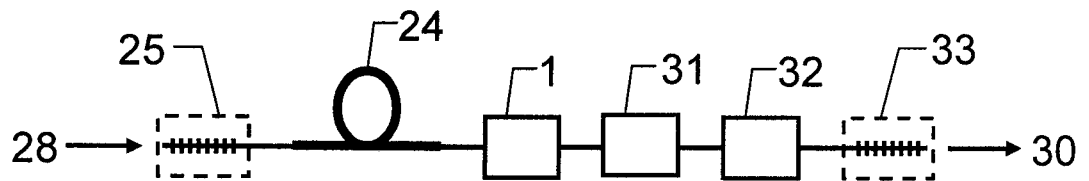


Fig. 16a

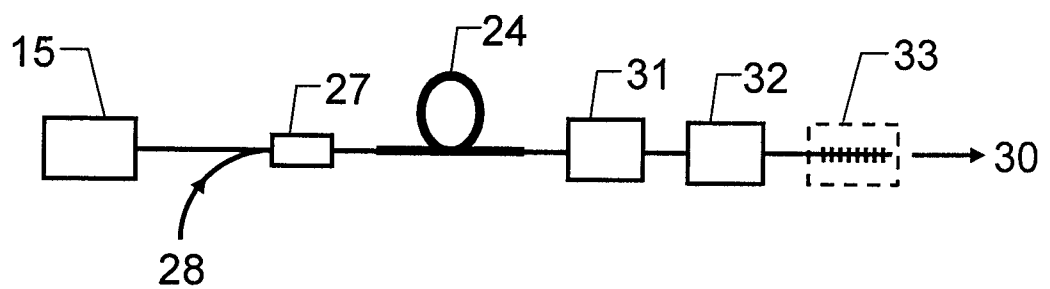


Fig. 16b

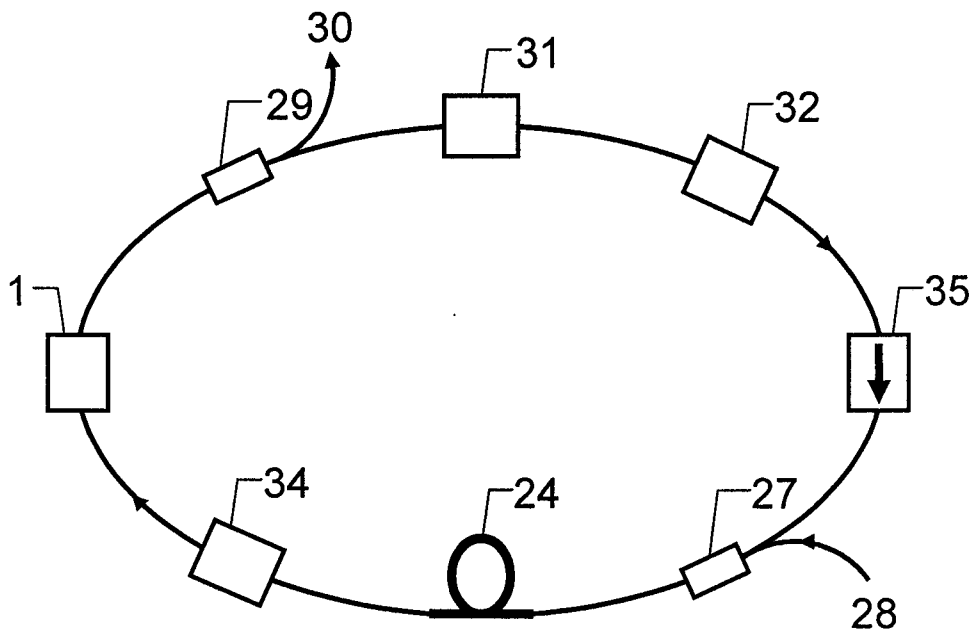


Fig. 17

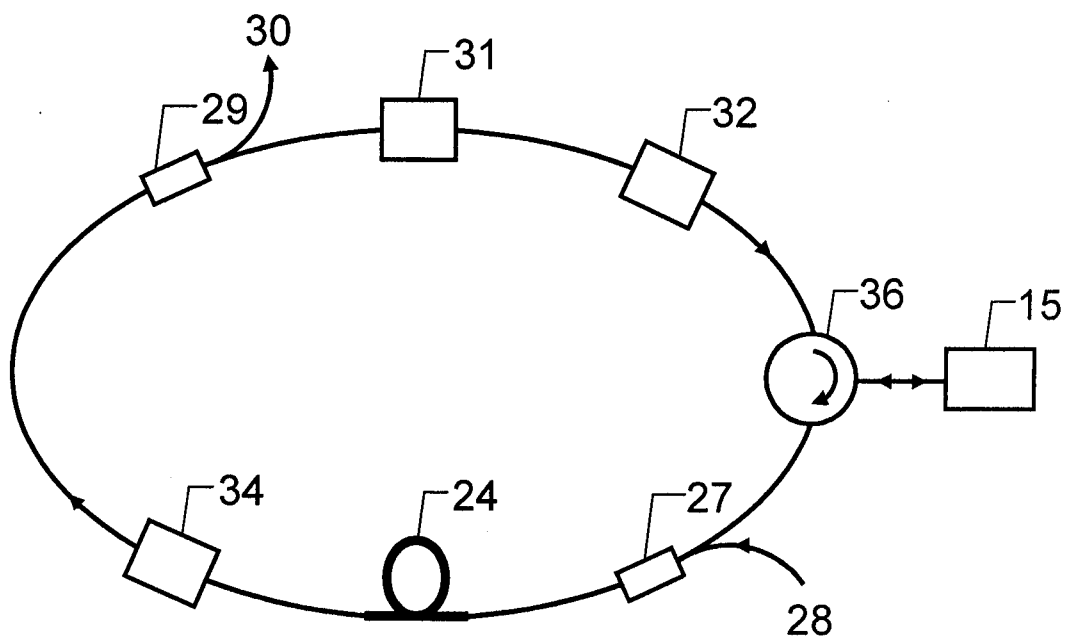


Fig. 18

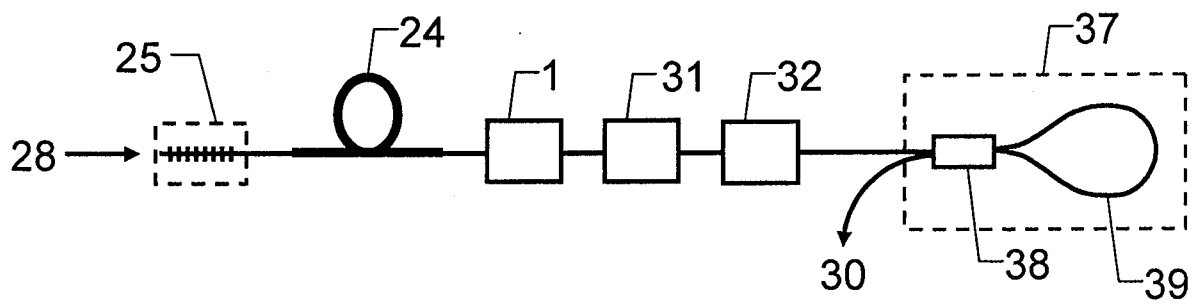


Fig. 19