

- (11) Patent numeris: **6785** (51) Int. Cl. (2020.01): **H01J 35/00**
H05G 2/00
- (21) Paraiškos numeris: **2019 513**
- (22) Paraiškos padavimo data: **2019-05-03**
- (41) Paraiškos paskelbimo data: **2020-11-10**
- (45) Patent paskelbimo data: **2020-12-10**
- (62) Paraiškos, iš kurios dokumentas išskirtas, numeris: —
- (86) Tarptautinės paraiškos numeris: —
- (86) Tarptautinės paraiškos padavimo data: —
- (85) Nacionalinio PCT lygio procedūros pradžios data: —
- (30) Prioritetas: —
- (72) Išradėjas:
Vidmantas TOMKUS, LT
Valdas GIRDAUSKAS, LT
Juozas DUDUTIS, LT
Valdemar STANKEVIČ, LT
Gediminas RAČIUKAITIS, LT
- (73) Patent savininkas:
Valstybinis mokslinių tyrimų institutas Fizinių ir technologijos mokslų centras,
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:
Koherentinės spinduliuotės generavimo būdas ir įrenginys
- (57) Referatas:

Išradimas yra susijęs su koherentinės spinduliuotės generacija lazerinio plazmos greitintuvo pagalba. Pasiūlytas būdas, apima krūvininkų pluoštelių grupių generavimą jų greitinimą ir fokusavimą bei sąveikaujant su lazerio spinduliuota koherentinės spinduliuotės generavimą. Siekiant padidinti generuojamos spinduliuotės koherentiškumą, ryškumą bei energiją tuo pačiu sumažinant realizavimo įrenginio gabaritų bei atpiginant jo savikainą krūvininkų pluoštelių grupių generavimas, jų greitinimas, fokusavimas ir koherentinės spinduliuotės generavimas atliekamas optiniu būdu panaudojant lazerinį plazmos greitintuvą, kur generuojamų krūvininkų pluoštelių grupių periodas sinchronizuojamas laike ir erdvėje su plazmos spinduliuotuvo periodu, panaudojant tam pritaikytą plazmos kanalo kintamo tankio erdvinį profilį, kur plazmos kintamo tankio koncentracija turi būti suderinta su lazerio intensyvumu, impulso trukme, bangos ilgiu bei fokusuojamos spinduliuotės pluošto vieta, diametru, skerspjūvio energijos pasiskirstymu bei bangos fronto faze.

Techniko sritis

Išradimas yra susijęs su koherentinės spinduliuotės generacija lazerinio plazmos greitintuvo pagalba. Konkrečiai, šis išradimas yra susijęs su Rentgeno spinduliuotės koherentiškumo ir ryškumo padidiniu, pagrįstu krūvininkų pluoštelių generacijos, greitinimo ir spinduliuotės generacijos laikiniu ir/arba erdviu suderinimu.

Technikos lygis

Žinomi Rentgeno spinduliuotės generacijos būdai Rentgeno įrenginiuose, panaudojant elektriniame lauke įgreitintus elektronus. Rentgeno lemposse dalis atsitrenkusių į anodą elektronų kinetinės energijos (0,1-5%) virsta stabdomąja spinduliuote Rentgeno diapazone. Linijiniame arba žiediniame sinchrotrono greitintuve pagreitinti elektronai Rentgeno spinduliuotę generuoja, sąveikaudami su magnetiniu lauku ondulatoriuose bei Laisvųjų elektronų lazeriuose. Rentgeno spinduliuotė generuojama atvirkštinio Komptono reiškinių dėka, didelės energijos elektronams sąveikaujant su mažos energijos lazerinės spinduliuotės fotonais. Betatrono Rentgeno spinduliuotė generuojama lazeriniuose plazmos greitintuvuose elektronams judant skersine kryptimi plazminės bangos lauke. Rentgeno lempos, dažnai naudojamos medicinoje, spinduliuotė nėra koherentinė, turi didelį išsiskleidimo kampą, ir fiksuotus bangų ilgius, priklausančius nuo anodo medžiagos, o jos spinduliuotės ryškumas eilėmis mažesnis nei sinchrotronų. Sinchrotronų ir koherentinių Laisvųjų elektronų lazerių Rentgeno spinduliuotės ryškumas didžiausias, tačiau jie gali būti kilometrų dydžio ir kainuoti nuo 100 milijonų iki 1 milijardo JAV dolerių. Sinchrotronų Rentgeno spinduliuotė naudojama litografijai, baltymų kristalografijai, ultraspartiems cheminiams reiškiniams tirti ir Rentgeno vaizdinimui. Koherentinė femtosekundžių trukmės spinduliuotė medicinoje leidžia keliomis eilėmis sumažinti gaunamą Rentgeno spinduliuotės dozę ir keliomis eilėmis padidinti kryptingumą bei mikrotomografijos vaizdų skiriamąją gebą. Keičiant bangos ilgį, fazinio kontrasto vaizdinimo būdu galima gauti didelės raiškos minkštųjų audinių Rentgeno vaizdą.

Žinomi koherentinės Rentgeno spinduliuotės generavimo būdai reikalauja didelių investicijų į įrangą bei yra didelio dydžio. Laisvųjų elektronų lazerių spinduliuotės ryškumas nėra pasiekiamas kompaktiškuose kambario dydžio

lazeriniuose greitintuvuose.

Patente US8787529, paskelbtame 2014-07-22, aprašytas koherentinės elektroninės srovės generavimo būdas ir įrenginys, kuris gali būti panaudotas koherentinei spinduliutei, tarp jų Rentgeno spinduliutei generuoti. Žinomas būdas ir įrenginys pagrįstas atvirkštiniu Komptono reiškiniu. Įrenginys veikia hibridiniu principu. Elektronai generuojami ir greitunami radijo dažnio greitintuvo pagalba, o Rentgeno spinduliuotė generuojama priešpriešai sklindančios lazerinės spinduliuotės dėka. Koherentiniai elektronų pluošteliai generuojami nanokatodo matricos pagalba, kurioje nanokatodai išdėstyti išilgai elektronų spindulio sklidimo ašies. Elektronų pluoštelių grupės papildomai fokusuojamos, siekiant sumažinti tarpą, tarp atskirų elektronų grupių. Koherentinė elektroninė srovė nukreipiama į priešpriešai sklindančios lazerinės spinduliuotės fotonų srautą, ir generuoja koherentinę Rentgeno spinduliuotę.

Žinomas būdas ir įrenginys leidžia eile padidinti fotonų skaičių per lazerio impulsą ir keliomis eilėmis padidinti Komptono šaltinio ryškumą. Tačiau, hibridinės konstrukcijos neleidžia pilnai išnaudoti optinių lazerinių greitintuvų kompaktiškumo ir pasiekti maksimalios greitnamų elektronų energijos. Pateikiamame patentinės paraiškos aprašyme elektronai pagreitinami iki 25 MeV, o maksimali Rentgeno spinduliuotės energija siekia 12 keV. Taip pat negalima pasiekti didelio koherentiškumo ir ryškumo.

Sprendžiama techninė problema

Išradimu siekiama padidinti generuojamos spinduliuotės koherentiškumą, ryškumą bei energiją tuo pačiu sumažinant pasiūlyto įrenginio gabaritus bei atpiginant jo savikainą.

Išradimo esmės atskleidimas

Koherentinės spinduliuotės generavimo būde, apimančiame krūvininkų pluoštelių grupių generavimą jų greitinimą ir fokusavimą bei sąveikaujant su lazerio spinduliuote koherentinės spinduliuotės generavimą, krūvininkų pluoštelių grupių generavimas, jų greitinimas, fokusavimas ir koherentinės spinduliuotės generavimas atliekamas optiniu būdu panaudojant lazerinį plazmos greitintuvą, kur generuojamų krūvininkų pluoštelių grupių periodas sinchronizuojamas laike ir erdvėje su plazmos spinduliuotuvo periodu, panaudojant tam pritaikytą plazmos kanalo kintamo tankio

erdvinį profilį, kur plazmos kintamo tankio koncentracija turi būti suderinta su lazerio intensyvumu, impulso trukme, bangos ilgiu bei fokusuojamos spinduliuotės pluošto vieta, diametru, skerspjūvio energijos pasiskirstymu bei bangos fronto faze.

Koherentinės spinduliuotės generavimo įrenginyje, apimančiame nuosekliai susietus krūvininkų pluoštelių grupių generavimo modulį, sugeneruotų krūvininkų grupių greitinimo ir fokusavimo modulį ir koherentinės spinduliuotės generavimo modulį, susietą su lazeriu spinduliuojama trumpų impulsų spinduliuote, visi paminėti moduliai yra suformuoti lazeriniame plazmos greitintuve, kur moduliai turi nepriklausomą arba visiems moduliams bendrą dujų įleidimo angą dujoms ar dujų mišiniams į modulį įėjimus paduoti, kur kiekvieno modulio dujų įėjimai yra suformuoti iš vienos ar daugiau tūčių, turinčių kintamo arba pastovaus skerspjūvio kanalą, tam kad per modulio tūtas tekėdamos dujos jų išėjime pasiektų viršgarsinį greitį, ir priklausomai nuo išsiplėtimo koeficiento ir skerspjūvio formos, suformuotų atitinkamos dujų koncentracijos, aukščio ir skersinio profilio čiurkšles, kurios nuosekliai išsidėsto lazerio spinduliuotės kelyje, kur per čiurkšles sklindančio lazerio spinduliuotės parametrai yra suderinti su suformuotomis dujų čiurkšlių parametrais, sukuriant specialaus profilio plazminį kanalą, kuris optimizuotas atlikti atitinkamų minėtų modulių funkcijas.

Kiekvienas įrenginio modulių turi vieną arba daugiau tūčių, kurios turi siaurėjantį-platėjantį kanalą, dar vadinamą Lavalio tūta arba turi nekintančio skerspjūvio kanalą.

Kanalas gali turėti cilindrinę arba plyšinę skerspjūvio formą.

Kiekvieno paminėto modulių plazminis kanalas skiriasi dujų koncentracija, čiurkšlių, per kurį sklinda lazerinė spinduliuotė ilgiu, tūčių skaičiumi ir atstumu tarp jų, plazminio kanalo radialine dujų pasiskirstymo koncentracija, ir atstumu tarp atskirų modulių.

Plazmos kanalui formuoti dujos su didele jonizacijos energija, pvz. helis.

Krūvininkų pluoštelių įterpimo į plazmos bangą modulis turi vieną ar daugiau tūčių, kurios suformuoja mažėjančios koncentracijos šuolį išilgai sklindančios greitinančio lazerio spinduliuotės.

Krūvininkų pluoštelių įterpimo į plazmos bangą modulio tūtos išdėstytos tam tikru atstumu, kuris atitiktų Rentgeno spinduliuotės generavimo plazminio

spinduliuotuvo modulio tūtų periodą ir leistų sinchronizuoti įterpiamų krūvininkų į plazmą grupių periodą su koherentinės spinduliuotės generavimo periodu.

Minėtas plazmos greitintuvo modulis turi vieną pailgos formos tūtą, formuojančią čiurkšlę, kurios koncentracija suderinta su greitinančios lazerio šaltinio intensyvumu, impulso trukme, bangos ilgiu bei fokusuojamo spinduliuotės pluošto, į įrenginio formuojamų čiurkšlių kanalo vieta, spinduliuotės pluošto diametru, skerspjuvio energijos pasiskirstymu bei bangos fronto faze.

Minėtas krūvininkų spindulio fokusavimo modulis turi vieną ar daugiau tūtų, kurios formuoja tolygiai didėjančios dujų koncentracijos išilginį profilį lazerinės spinduliuotės sklidimo kryptimi ir kompensuoja lazerinės spinduliuotės bei krūvininko pluoštelio skėstį.

Minėtas greitinimo ir fokusavimo modulis gali būti suformuotas iš uždaro cilindrinio kapiliaro, arba keturių koncentriškai išdėstytų tūtų, kurios suformuoja radialinį dujų koncentraciją, didėjančią tolstant nuo centro, ir padedančią sufokusuoti greitinančios lazerinės spinduliuotės pluoštą.

Minėtas koherentinės spinduliuotės generavimo plazminio spinduliuotuvo modulis turi tūtų seką, kurios formuoja periodišką mažos ir didelės koncentracijos čiurkšlių seką, kurios periodas sutampa su krūvininkų pluoštelių įterpimo į plazmos bangą modulio tūtų periodu.

Krūvininkų greitinimui naudojama 800-1100 nm bangos ilgio lazerio spinduliuotė.

Krūvininkų greitinimui naudojamos lazerio spinduliuotės energija 1 mJ - 3 J, o impulso trukmė 5-40 fs.

Krūvininkai yra elektronai, kurie pagreintų elektronų impulse turi apie 20 MeV - 6 GeV energiją.

Tūtose ir kapiliaruose plazmos formavimui naudojamos dujos yra parinktos iš grupės, susidedančios iš helio, vandenilio, azoto, neono, argono, kriptono ir ksenono.

Atstumas tarp tūtos įėjimo iki išėjimo yra nuo 300 mikronų iki 13 milimetrų, o atstumas nuo tūtos kakliuko iki išėjimo yra nuo 100 mikronų iki 8 milimetrų.

Tūtų diametras arba plyšio plotis yra nuo 100 mikronų iki 10 milimetrų, o kakliuko diametras arba plyšio plotis 30 mikronų iki 1 milimetro.

Išradimo naudingumas

Panaudojant pagal išradimą pasiūlytą būdą ir įrenginį, ženkliai padidinamas Rentgeno spinduliuotės koherentiškumas ir ryškumas. Plazmos kanalas formuojamas, krūvininkų pluošteliai įterpiami į plazmos bangą, greitunami lazeriu ir Rentgeno spinduliuotės generuojama mikrofluidinio lusto čiurkšlių pagalba, kuriame išmatavimai optimizuojami mikrometriniu tikslumu. Šis būdas ir įrenginys sumažina koherentinių šaltinių dydį bei atpigina įrengimo savikainą. Lazeriniai plazmos greitintuvai šimtus kartų mažesni nei sinchrotronai, o betatrono spinduliuotės momentinis ryškumas sulyginamas su sinchrotrono spinduliuotės momentiniu ryškumu. Ši spinduliuotė gali būti panaudota tokiems patiems tyrimams kaip ir sinchrotrono spinduliuotė. Lazerio spinduliuotė plazmoje sukuria 500-1000 kartų didesnį elektros lauko stiprumą nei įprastuose radijo dažnio greitintuvuose, siekiantį 100 GV/m, ir leidžia pasiekti kelių GeV krūvininkų energijas per 6-9 centimetrų atstumą. Radijo dažnio greitintuvuose tam prireikia dešimčių ar šimtų metrų. Lazeriniai plazmos greitintuvai leidžia sukonstruoti kompaktiškus krūvininkų ultratrumpųjų impulsų ir kontroliuojamus femtosekundinės trukmės Rentgeno spinduliuotės šaltinius. Siūlomo išradimo esmė yra ta, kad siūlomo Rentgeno spinduliuotės būdo krūvininkų pluoštelių generavimas, grupavimas ir greitinimas yra atliekamas pilnai optiniu būdu lazerio pagalba ir krūvininkų pluoštelių periodas sinchronizuojamas laike ir erdvėje su plazmos spinduliuotuvo periodu. Dėl to ženkliai padidėja spinduliuotės koherentiškumas ir ryškumas, o optinė greitinimo schema leidžia pasiekti 1-2 eilėmis didesnes krūvininkų energijas, nei minėtoje patentinėje paraiškoje, nedidinant įrenginio išmatavimų.

Detaliau išradimas paaiškinamas brėžiniais, kur

Fig.1 - pavaizduota koherentinės spinduliuotės generavimo įrenginio funkcinė diagrama.

Fig.2 - pavaizduotas koherentinės spinduliuotės generavimo įrenginio blokinės schemos vaizdas iš viršaus.

Fig.3 - pavaizduotas koherentinės spinduliuotės generavimo įrenginio blokinės schemos išilginis pjūvis su elektronų generavimo, greitinimo ir koherentinės spinduliuotės spinduliavimo principine diagrama.

Fig.4 - pavaizduota krūvininkų pluoštelių grupių generavimo, greitinimo ir

koherentinės spinduliuotės spinduliavimo lazeriniame plazmos greitintuve mikrotūtų formuojamo plazmos koncentracijos profilio priklausomybė nuo atstumo lazerio spinduliuotės sklidimo kryptimi.

Fig.5 - pavaizduota koherentinės spinduliuotės generavimo įrenginio realizavimo blokinė schema.

Išradimo realizavimo pavyzdys

Pasiūlytas koherentinės spinduliuotės generacijos būdas apima šią operacijų seką. Generuoja krūvininkų pluoštelių grupę, po to sugeneruotą krūvininkų pluoštelių grupę greitina, fokusuoja ir generuoja koherentinę spinduliuotę. Visa tai atlieka optiniu būdu panaudojant lazerinį plazmos greitintuvą, kur generuojamų krūvininkų pluoštelių grupių periodas sinchronizuojamas laike ir erdvėje su plazmos spinduliuotuvo periodu, panaudojant tam pritaikytą plazmos kanalo kintamo tankio erdvinį profilį, kur plazmos kintamo tankio koncentracija turi būti suderinta su lazerio intensyvumu, impulso trukme, bangos ilgiu bei fokusuojamos spinduliuotės pluošto vieta, diametru, skerspjūvio energijos pasiskirstymu bei bangos fronto faze. Krūvininkų pluoštelių generacija ir įterpimas į plazmos bangą vyksta dėl staigaus koncentracijos sumažėjimo šuolio, kurio metu plazmos burbulo skersmuo padidėja, ir krūvininkus plazminė banga pagauna ir pradeda greitinti arba į didelės jonizacijos energijos dujas, pvz. helį, įpurškiant mažesnės jonizacijos dujas, pvz. azotą ar argoną. Dujos įpurškiamos periodiškai tam tikru atstumu, ir tokiu būdu suformuojamos periodinės krūvininkų pluoštelių grupės. Plazmos greitintuvo zonoje šios krūvininkų grupės pagreitinamos iki šimtų MeV energijos. Greitinimo zonos dujų koncentracija lazerinės spinduliuotės sklidimo kryptimi gali būti laipsniškai didinama, siekiant sumažinti greitančios lazerinės spinduliuotės bei krūvininkų pluoštelių išsifokusavimą. Trečios zonos plazmos spinduliuotuvo periodas, kurį suformuoja besikeičiantis žemos ir didelės dujų koncentracijos taikiny s lazerinės spinduliuotės sklidimo kryptimi, yra sinchronizuojamas laike ir erdvėje su krūvininkų pluoštelių generacijos periodu.

Dėl koncentracijos kitimo plazmoje formuojasi elektrinis laukas, kuris priverčia krūvininkus svyruoti skersine kryptimi, ir krūvininkų grupės sinchroniškai generuoja didesnio ryškumo koherentinę Rentgeno spinduliuotę.

Koherentinės spinduliuotės generavimo įrenginio funkcinė diagrama, apima

generavimo, greitinimo, fokusavimo ir spinduliavimo zonas (12, 13, 14) pavaizduota Fig.1. Pagal išradimą pasiūlyto įrenginio, toliau vadinamo mikrofluidiniu lustu 3 arba lazeriniu plazmos greitintuvu 3, blokinė schema pavaizduota Fig.2 susideda iš tūtų zonos 12, skirtos krūvininkų pluoštelių grupei generuoti, tūtų zonos 13, skirtos pluoštelių grupėse sugeneruotiems krūvininkams greitinti ir juos fokusuoti ir mikrotūtų zonos 14, skirtos koherentinei spinduliuotei, pavyzdžiui Rentgeno spinduliuotei, generuoti. Zonose (12, 13, 14) yra išdėstytos minėtos tūtos, skirtos dujoms įpurkšti, kurios gali būti suformuotos geriau kaip kintamo skersmens angos, padarytos, pavyzdžiui stiklo pagrinde (modulyje), bei išdėstytos jame vienoje eilėje viena po kitos su tarpais (Fig.3). Pro minėtas tūtas praėjusios dujos virš minėto stiklo pagrindo sukuria atitinkamai periodiškai išdėstytas didelės koncentracijos dujų čiurkšles, kurios sudaro dujų taikinį. Lazerio šaltinio 1 (Fig.5) spinduliuojama kelių ar keliasdešimt teravatų 800-1064 nm 7-40 fs greitinanti lazerinė spinduliuotė 9 paraboliniu veidrodžiu 2 ($1/f = 1/3.5 - 1/20$) fokusuojama į lazerinės plazmos greitintuve 3 esantį didelės jonizacijos energijos dujų, pvz. helio, 2.5 μm - 25 μm skersmens dujinį taikinį, kuriame sklindanti spinduliuotė sužadina plazminę bangą, dar vadinama plazminiu burbulu. Burbulo susiformavimui ir greičio sinchronizacijai su greitinančio lazerio spinduliuote plazmos koncentracija turi būti suderinta su lazerio intensyvumu, impulso trukme, bangos ilgiu bei fokusuojamos spinduliuotės pluošto vieta, diametru, skerspjūvio energijos pasiskirstymu bei bangos fronto faze. Dujinio taikinio koncentracijos profilis lazerinės spinduliuotės sklaidimo kryptimi susideda iš minėtų trijų zonų: krūvininkų pluoštelių generacijos ir įterpimo į plazmos bangą zonos 12, krūvininkų plazmos greitintuvo ir krūvininkų pluoštelių fokusavimo zonos 13 bei koherentinės spinduliuotės, pavyzdžiui Rentgeno spinduliuotės, generavimo plazminio spinduliuotuvo zonos 14. Krūvininkų pluoštelių generacija ir įterpimas į plazmos bangą vyksta dėl staigaus koncentracijos sumažėjimo šuolio, kurio metu plazmos burbulo skersmuo padidėja, ir krūvininkus plazminė banga pagauna ir pradeda greitinti arba į didelės jonizacijos energijos dujas, pvz. helį, įpurškiant mažesnės jonizacijos dujas, pvz. azotą ar argoną. Dujos įpurškiamos periodiškai tam tikru atstumu, ir tokiu būdu suformuojamos periodinės elektronų pluoštelių grupės. Plazmos greitintuvo zonoje 13 šios krūvininkų grupės pagreitinamos iki šimtų MeV energijos. Greitinimo zonos dujų koncentracija lazerinės spinduliuotės sklaidimo kryptimi gali būti laipsniškai didinama, siekiant sumažinti greitinančios lazerinės spinduliuotės bei krūvininkų pluoštelių išsifokusavimą. Trečios zonos 14 plazmos

spinduliuotuvo periodas, kurį suformuoja besikeičiantis žemos ir didelės dujų koncentracijos taikinyse lazerinės spinduliuotės sklidimo kryptimi, yra sinchronizuojamas laike ir erdvėje su krūvininkų pluoštelių generacijos periodu.

Dėl koncentracijos kitimo plazmoje formuojasi elektrinis laukas, kuris priverčia krūvininkus svyruoti skersine kryptimi, ir krūvininkų grupės sinchroniškai generuoja didesnio ryškumo koherentinę Rentgeno spinduliuotę.

Fig. 3 pavaizduotas šio išradimo realizavimo įrenginys, kuriame Teravatinis lazerio šaltinis 1, generuoja 800-1064 nm bangos ilgio 7-40 fs impulsinę spinduliuotę 9. Ši spinduliuotė nukreipiama į parabolinį veidrodį 2, kuris fokusuoja spinduliuotę į $2.5\ \mu\text{m}$ - $25\ \mu\text{m}$ skersmens dujinį taikinį. Šį taikinį tūtų ir kapiliarų čiurkšlių pagalba formuoja mikrofluidinis lustas 3. Mikrofluidinis lustas 3 įterpia krūvininkų pluoštelių į plazmos bangą, formuoja plazmos kanalą krūvininkų greitinimui lazeriu bei generuoja Rentgeno spinduliuotę plazmos spinduliuotuvo dėka. Fig. 4 pavaizduota elektronų generavimo tūtų zonos 12, greitinimo mikrotūtų zonos 13 ir Rentgeno spinduliuotuvo dujų įpurškimo mikrotūtų zonos 14 dujinio taikinio koncentracijos n profilio priklausomybė nuo atstumo z greitinančio lazerio sklidimo kryptimi. Po to, magneto 4 pagalba (Fig.5) krūvininkai 10 atlenkiami į šalį nuo Rentgeno spinduliuotės 11 sklidimo krypties ir nukreipiami į krūvininkų energijos registracijos ir bei sugerties įrenginį 5. Pagrindinė greitinanti lazerio spinduliuotė sugerama filtru 6, ir per vakuuminės kameros 8 langą 5 Rentgeno spinduliuotė 11 nukreipiama į išorę bandinio vaizdinimui ar kitiems tyrimo tikslams.

Pasiūlytas įrenginys turi monolitinį rėmą, kuris žymiai padidina įrenginio stabilumą, naudojant 5-30 femtosekundžių trukmės gretinančios spinduliuotės lazerio impulsus, palyginus su atskiromis erdvėje išdėstytomis mikrometrinių matmenų tūtomis. Įrenginyje suformuoti trys moduliai: a) krūvininkų pluoštelių įterpimo į plazmos bangą modulis, b) plazmos greitintuvo modulis ir krūvininkų spindulio fokusavimo modulis ir c) koherentinės spinduliuotės (Rentgeno spinduliuotės generavimo) plazminio spinduliuotuvo modulis. Kiekvienas iš įrenginio modulių turi nepriklausomą arba visiems moduliams bendrą dujų įleidimo angą. Į modulių įėjimą per vožtuvą paduodamos vienos rūšies dujos arba dujos bei dujų mišiniai su skirtingais jonizacijos koeficientais arba skirtingo atominio svorio dujos.

Kiekvienas įrenginio modulių turi vieną arba daugiau tūtų, kurios turi siaurėjantį-platėjantį kanalą, dar vadinamą Lavalio tūta arba turi nekintančio

skerspjūvio kanalą. Kanalas gali turėti cilindrinę arba plyšinę skerspjūvio formą. Dujos, tekėdamos per modulį, modulio išėjime pasiekia viršgarsinį greitį, ir priklausomai nuo išsiplėtimo koeficiento ir skerspjūvio formos, suformuoja atitinkamos dujų koncentracijos, aukščio ir skersinio profilio čiurkšles.

Įrenginys suderintas su greitinančios lazerio spinduliuotės parametrais, kuri sklisdama per lusto formuojamas dujų čiurkšles, sukuria specialaus profilio plazminį kanalą, kuris optimizuotas atlikti atitinkamų modulių funkcijas. Modulių plazminis kanalas skiriasi dujų koncentracija, čiurkšlių, per kurį sklinda lazerinė spinduliuotė ilgiu, tūčių skaičiumi ir atstumu tarp jų, plazminio kanalo radialine dujų pasiskirstymo koncentracija, ir atstumu tarp atskirų modulių. Plazmos kanalui formuoti paprastai naudojamos dujos su didele jonizacijos energija, pvz. helis. Krūvininkų pluoštelių įterpimo į plazmos bangą modulis turi vieną ar daugiau tūčių, kurios suformuoja mažėjančios koncentracijos šuolį išilgai sklindančios greitinančios lazerio spinduliuotės. Sumažėjus plazmos koncentracijai, plazmos burbulo skersmuo padidėja ir tuo metu plazmos banga pagauna grupę krūvininkų, pvz. elektronų ir pradeda juos greitinti. Grupė krūvininkų gali būti įterpta į plazminę bangą, su modulio tūčiu įpurškus mažesnės jonizacijos energijos dujas, pvz. helio mišinį su 0.5-5% azoto ar argono mišiniu. Maksimalus greitinamas krūvininkų kiekis neturi viršyti ribos, kada prasideda nekontroliuojamas griūtinis krūvininkų pagavimas plazmine banga, kurio metu žymiai sumažėja maksimali greitinamų krūvininkų energija ir padidėja energijų dispersija. Siekiant padidinti Rentgeno diapazono antrinę spinduliuotę, krūvininkų pluoštelių įterpimo į plazmos bangą modulio tūties išdėstytos tam tikru atstumu, kuris atitiktų Rentgeno spinduliuotės generavimo plazminio spinduliuotuvo modulio tūčių periodą ir leistų sinchronizuoti įterpiamų krūvininkų į plazmą grupių periodą su Rentgeno spinduliuotės generavimo periodu. Minėtas plazmos greitintuvo modulis turi vieną pailgos formos tūčių, formuojančią čiurkšlę, kurios koncentracija suderinta su greitinančios lazerio šaltinio intensyvumu, impulso trukme, bangos ilgiu bei fokusuojamo spinduliuotės pluošto, į įrenginio formuojamų čiurkšlių kanalo vieta, spinduliuotės pluošto diametru, skerspjūvio energijos pasiskirstymu bei bangos fronto faze. Pagreintų krūvininkų energija proporcinga čiurkšlės ilgiui, tačiau šis atstumas yra apribotas lazerio spinduliuotės ir plazminės bangos išsifazavimo atstumu bei atstumu, per kurį lazerinė spinduliuotė praranda savo energiją ir nebegali pagreitinti krūvininkų. Krūvininkų greitinimui paprastai naudojamos dujos su didele jonizacijos

energija, pvz. helis. Krūvininkų spindulio fokusavimo modulis turi vieną ar daugiau tūtų, kurios formuoja tolygiai didėjančios dujų koncentracijos išilginį profilį lazerinės spinduliuotės sklaidimo kryptimi ir kompensuoja lazerinės spinduliuotės bei krūvininko pluoštelio skėstį. Didelių koncentracijų ir galingumų lazerinės spinduliuotės atveju, gali prasidėti savaiminis netiesinis spinduliuotės susifokusavimas ir filamentacija. Dėl to, į fokusavimo modulį gali būti įterpiamos tūtos, formuojančios mažesnės koncentracijos čiurkšles, ir apsaugančios nuo lazerinio pluošto subyrėjimo. Minėtas greitinimo ir fokusavimo modulis gali būti suformuotas iš uždaro cilindrinio kapiliaro, arba keturių koncentriškai išdėstytų tūtų, kurios suformuoja radialinę dujų koncentraciją, didėjančią tolstant nuo centro, ir padedančią sufokusuoti greitinančios lazerinės spinduliuotės pluoštą. Minėtas Rentgeno spinduliuotės generavimo plazminio spinduliuotuvo modulis turi tūtų seką, kurios formuoja periodišką mažos ir didelės koncentracijos čiurkšlių seką, kurios periodas sutampa su krūvininkų pluoštelių įterpimo į plazmos bangą modulio tūtų periodu. Mažos koncentracijos zona išplečia, o didelės koncentracijos zona sufokusuoja pagreitintų krūvininkų pluoštą. Spinduliuotės tūtų periodo sinchronizacija su krūvininkų pluoštelių įterpimo periodu padidina spinduliuotės koherentiškumą ir ryškį. Krūvininkų greitinimui naudojama 800-1100 nm bangos ilgio lazerio spinduliuotė. Krūvininkų greitinimui naudojamos lazerio spinduliuotės energija 1 mJ - 3 J, o impulso trukmė 5-40 fs. Elektronai pagreitintų elektronų impulse turi apie 20 MeV - 6 GeV energiją. Tūtose ir kapiliaruose plazmos formavimui naudojamos dujos yra parinktos iš grupės, susidedančios iš helio, vandenilio, azoto, neono, argono, kriptono ir ksenono. Tūtų čiurkšlės pasiekia viršgarsinį 1.5-8 Machų greitį. Atstumas tarp tūtos įėjimo iki išėjimo yra nuo 300 mikronų iki 13 milimetrų, o atstumas nuo tūtos kakliuko iki išėjimo yra nuo 100 mikronų iki 8 milimetrų. Tūtų diametras arba plyšio plotis yra nuo 100 mikronų iki 10 milimetrų, o kakliuko diametras arba plyšio plotis 30 mikronų iki 1 milimetro. Tūtų paviršiaus šiurkštumo spindulys yra ne didesnis nei 1% nuo kanalo skersmens siauriausioje kanalo vietoje.

IŠRADIMO APIBRĖŽTIS

1. Koherentinės spinduliuotės generavimo būdas, apimantis krūvininkų pluoštelių grupių generavimą jų greitinimą ir fokusavimą bei sąveikaujant su lazerio spinduliuote koherentinės spinduliuotės generavimą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad krūvininkų pluoštelių grupių generavimas, jų greitinimas, fokusavimas ir koherentinės spinduliuotės generavimas atliekamas optiniu būdu panaudojant lazerinį plazmos greitintuvą (3), kur generuojamų krūvininkų pluoštelių grupių periodas sinchronizuojamas laike ir erdvėje su plazmos spinduliuotuvo periodu, panaudojant tam pritaikytą plazmos kanalo kintamo tankio erdvinį profilį, kur plazmos kintamo tankio koncentracija turi būti suderinta su lazerio intensyvumu, impulso trukme, bangos ilgiu bei fokusuojamos spinduliuotės pluošto vieta, diametru, skerspjūvio energijos pasiskirstymu bei bangos fronto faze.

2. Koherentinės spinduliuotės generavimo įrenginys, apimantis nuosekliai susietus krūvininkų pluoštelių grupių generavimo modulį, sugeneruotų krūvininkų grupių greitinimo ir fokusavimo modulį ir koherentinės spinduliuotės generavimo modulį, susietą su lazeriu spinduliuojama trumpų impulsų spinduliuote, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad visi paminėti moduliai yra suformuoti lazeriniame plazmos greitintuve, kur moduliai turi nepriklausomą arba visiems moduliams bendrą dujų įleidimo angą dujoms ar dujų mišiniams į modulių įėjimus paduoti, kur kiekvieno modulio dujų įėjimai yra suformuoti iš vienos ar daugiau tūtų, turinčių kintamo arba pastovaus skerspjūvio kanalą, tam kad per modulio tūtas tekėdamos dujos jų išėjime pasiektų viršgarsinį greitį, ir priklausomai nuo išsiplėtimo koeficiento ir skerspjūvio formos, suformuotų atitinkamos dujų koncentracijos, aukščio ir skersinio profilio čiurkšles, kurios nuosekliai išsidėsto lazerio spinduliuotės kelyje, kur per čiurkšles sklindančio lazerio spinduliuotės parametrai yra suderinti su suformuotomis dujų čiurkšlių parametrais, sukuriant specialaus profilio plazminį kanalą, kuris optimizuotas atlikti atitinkamų minėtų modulių funkcijas.

3. Įrenginys pagal 2 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad kiekvienas įrenginio modulių turi vieną arba daugiau tūtų, kurios turi siaurėjantį-platėjantį kanalą, dar vadinamą Lavalio tūta arba turi nekintančio skerspjūvio kanalą.

4. Įrenginys pagal 3 punktą, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad kanalas gali turėti cilindrinę arba plyšinę skerspjūvio formą.

5. Įrenginys pagal 2-4 punktus, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad kiekvieno paminėto modulių plazminis kanalas skiriasi dujų koncentracija, čiurkšlių, per kurį sklinda lazerinė spinduliuotė ilgiu, tūtų skaičiumi ir atstumu tarp jų, plazminio kanalo radialine dujų pasiskirstymo koncentracija, ir atstumu tarp atskirų modulių.

6. Įrenginys pagal 2-5 punktus, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad Plazmos kanalui formuoti dujos su didele jonizacijos energija, pvz. helis.

7. Įrenginys pagal 2-6 punktus, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad krūvininkų pluoštelių įterpimo į plazmos bangą modulis turi vieną ar daugiau tūtų, kurios suformuoja mažėjančios koncentracijos šuolį išilgai sklindančios greitinančio lazerio spinduliuotės.

8. Įrenginys pagal 2-7 punktus, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad krūvininkų pluoštelių įterpimo į plazmos bangą modulio tūtos išdėstytos tam tikru atstumu, kuris atitiktų Rentgeno spinduliuotės generavimo plazminio spinduliuotuvo modulio tūtų periodą ir leistų sinchronizuoti įterpiamų krūvininkų į plazmą grupių periodą su koherentinės spinduliuotės generavimo periodu.

9. Įrenginys pagal 2-8 punktus, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad minėtas plazmos greitintuvo modulis turi vieną pailgos formos tūtą, formuojančią čiurkšlę, kurios koncentracija suderinta su greitinančios lazerio šaltinio intensyvumu, impulso trukme, bangos ilgiu bei fokusuojamo spinduliuotės pluošto, į įrenginio formuojamų čiurkšlių kanalo vieta, spinduliuotės pluošto diametru, skerspjūvio energijos pasiskirstymu bei bangos fronto faze.

10. Įrenginys pagal 2-8 punktus, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad minėtas krūvininkų spindulio fokusavimo modulis turi vieną ar daugiau tūtų, kurios formuoja tolygiai didėjančios dujų koncentracijos išilginį profilį lazerinės spinduliuotės sklidimo kryptimi ir kompensuoja lazerinės spinduliuotės bei krūvininko pluoštelio skėstį.

11. Įrenginys pagal 2-10 punktus, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad minėtas greitinimo ir fokusavimo modulis gali būti suformuotas iš uždaro cilindrinio kapiliaro, arba keturių koncentriškai išdėstytų tūtų, kurios suformuoja radialinį dujų koncentraciją, didėjančią tolstant nuo centro, ir padedančią sufokusuoti greitinančios lazerinės spinduliuotės pluoštą.

12. Įrenginys pagal 2-11 punktus, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad minėtas koherentinės spinduliuotės generavimo plazminio spinduliuotuvo modulis turi tūtų

seka, kurios formuoja periodišką mažos ir didelės koncentracijos čiurkšlių seką, kurios periodas sutampa su krūvininkų pluoštelių įterpimo į plazmos bangą modulio tūtų periodu.

13. Įrenginys pagal 2-12 punktus, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad krūvininkų greitinimui naudojama 800-1100 nm bangos ilgio lazerio spinduliuotė.

14. Įrenginys pagal 2-13 punktus, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad krūvininkų greitinimui naudojamos lazerio spinduliuotės energija 1 mJ - 3 J, o impulso trukmė 5-40 fs.

15. Įrenginys pagal 2-13 punktus, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad krūvininkai yra elektronai, kurie pagreintų elektronų impulse turi apie 20 MeV - 6 GeV energiją.

16. Įrenginys pagal 2-15 punktus, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad tūtose ir kapiliaruose plazmos formavimui naudojamos dujos yra parinktos iš grupės, susidedančios iš helio, vandenilio, azoto, neono, argono, kriptono ir ksenono.

17. Įrenginys pagal 2-16 punktus, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad atstumas tarp tūtos įėjimo iki išėjimo yra nuo 300 mikronų iki 13 milimetrų, o atstumas nuo tūtos kakliuko iki išėjimo yra nuo 100 mikronų iki 8 milimetrų.

18. Įrenginys pagal 2-17 punktus, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad tūtų diametras arba plyšio plotis yra nuo 100 mikronų iki 10 milimetrų, o kakliuko diametras arba plyšio plotis 30 mikronų iki 1 milimetro.

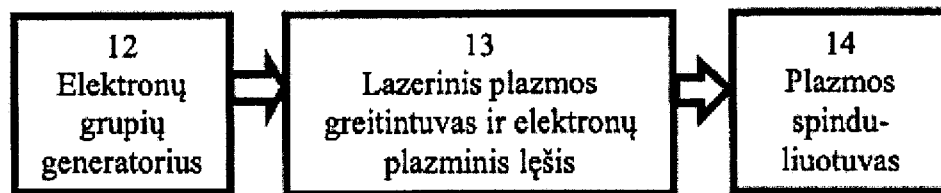


Fig. 1

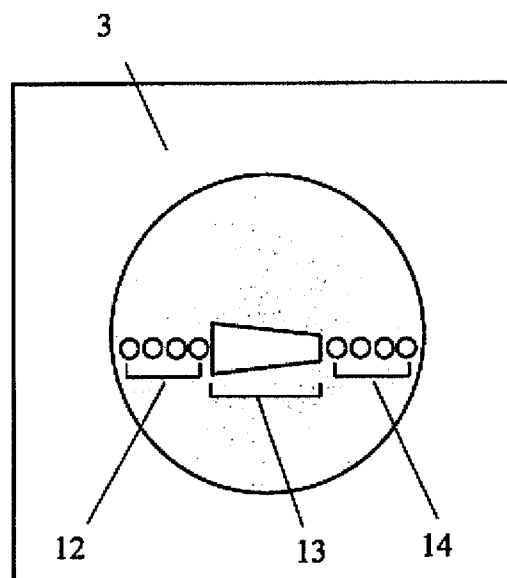


Fig. 2

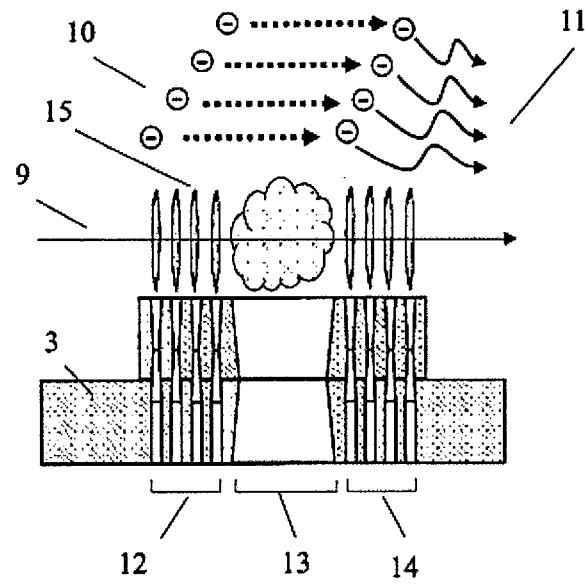


Fig.3

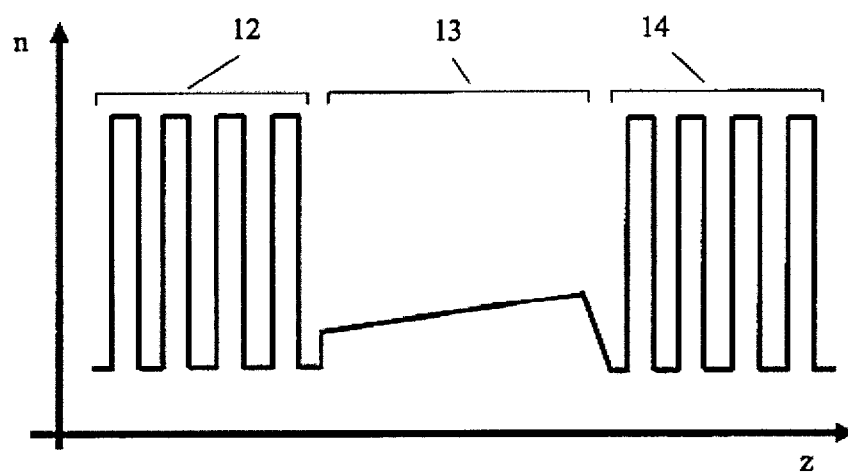


Fig. 4

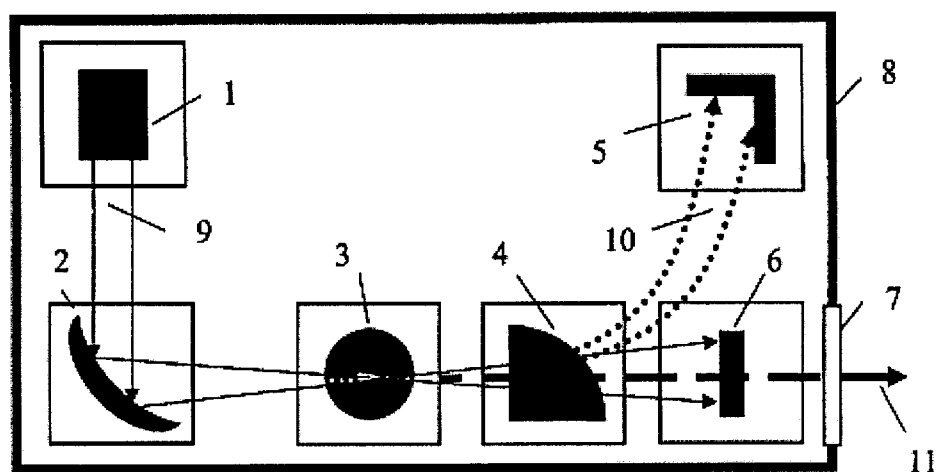


Fig.5