

(19)



(10) **LT 5968 B**

(12) **PATENTO APRAŠYMAS**

- (11) Patento numeris: **5968** (51) Int. Cl. (2013.01): **H01S 3/00**
- (21) Paraiškos numeris: **2012 008**
- (22) Paraiškos padavimo data: **2012 01 27**
- (41) Paraiškos paskelbimo data: **2013 08 26**
- (45) Patento paskelbimo data: **2013 10 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:
Kęstutis REGELSKIS, LT
Julijanas ŽELUDEVIČIUS, LT
Gediminas RAČIUKAITIS, LT
- (73) Patento 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:

Šviesos impulsų suminio dažnio generavimo būdas ir įrenginys

(57) Referatas:

Išradimas priklauso lazerinių technologijų sričiai ir yra skirtas šviesos impulsų suminio dažnio generavimo būdai, susumuojant šių impulsų dažnius kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje. Siekiant padidinti generuojamų suminio dažnio impulsų energiją bei gauti trumpesnės trukmės suminio dažnio impulsus nei pradiniai šviesos impulsai į kvadratinio jautrio netiesinės medžiagos jėjimo galą šviesos impulsus nukreipia poromis arba atskirai po vieną impulsą. Kiekvienos poros pirmas šviesos impulsas arba atskiro šviesos impulso pirmoji dalis pirmą kartą praeina kvadratinio jautrio netiesinę medžiagą, joje nesukeliant netiesinės sąveikos, po to poros pirmas impulsas arba atskiro šviesos impulso pirmoji dalis grąžinamas(a) atgal ir nukreipiamas(a) į kvadratinio jautrio netiesinės medžiagos jėjimo galą. Antrą kartą sklisdamas grąžintas minėtas poros pirmas šviesos impulsas arba atskiro impulso pirmoji dalis persikloja su pirmą kartą sklindančiu per kvadratinio jautrio netiesinę medžiagą tos pačios poros antruoju šviesos impulsu arba atitinkamai su atskiro impulso antra dalimi ir užtikrinant tarp šių impulsų

fazinio sinchronizmo sąlygas, vyksta efektyvi netiesinė sąveika, o pirmą ir antrą kartą kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje sklindantys kiekvienos poros impulsai arba atskiro impulso dalys apsijungia į suminio dažnio šviesos impulsus.

Išradimas priklauso lazerinių technologijų sričiai ir yra skirtas šviesos impulsų suminio dažnio generavimo būdui, susumuojant šių impulsų dažnius kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje. Siūlomu būdu yra generuojami beveik dvigubai didesnės energijos suminio dažnio impulsai, nei taikant tradicines suminio dažnio ar antros harmonikos generavimo schemas. Šis būdas taip pat leidžia generuoti per pus trumpesnės trukmės suminio dažnio impulsus nei pradiniai šviesos impulsai ir trumpų šviesos impulsų sekas.

Yra žinomas suminio dažnio generavimo būdas ir įrenginys, kuriame vyksta rezonansinis dažnio dvigubinimas, kai vienadažnio lazerio spinduliuotė yra nukreipiama į rezonatorių kuriame yra patalpintas netiesinis kristalas. Lazerio spinduliuotė yra suderinta su rezonatoriaus moda, o rezonatoriaus ilgis yra tiksliai kontroliuojamas. Minėtame rezonatoriuje lazerio spinduliuotė dėl rezonanso yra sustiprinama, dėl ko, minėtame netiesiniame kristale yra efektyviai dvigubinamas lazerio spinduliuotės dažnis.

Žinomas būdas ir įrenginys yra aprašyti šiuose straipsniuose: G. D. Boyd and D. A. Kleinman, "Parametric interaction of focused Gaussian light beams", J. Appl. Phys. 39 (8), 3597 (1968); Jae-Ihn Kim and Dieter Meschede, "Continuous-wave coherent ultraviolet source at 326 nm based on frequency tripling of fiber amplifiers," Opt. Express 16, 10803-10808 (2008); Thomas Sudmeyer, Yutaka Imai, Hisashi Masuda, Naoya Eguchi, Masaki Saito, and Shigeo Kubota, "Efficient 2nd and 4th harmonic generation of a single-frequency, continuous-wave fiber amplifier," Opt. Express 16, 1546-1551 (2008).

Žinomo būdo ir įrenginio trūkumas yra tas, kad rezonansinis lazerio spinduliuotės dvigubinimas yra pritaikomas tik vieno dažnio lazerio spinduliuotės dažnio dvigubinimui arba atskirais atvejais sinchronizuotų modų lazerio nuolatinės impulsų sekos dažnio dvigubinimui, kitais atvejais šis būdas netinka.

Be to, šiuo būdu dvigubinant lazerio spinduliuotės dažnį, rezonatorius turi būti suderinto impedanso, tai reiškia, kad rezonatoriaus įėjimo veidrodžio pralaidumo koeficientas turi būti lygus visiems nuostoliams kurie yra patiriami rezonatoriuje, įskaitant ir nuostolius susijusius su netiesiniu dažnio dvigubinimu.

Be to, šiuo būdu dvigubinant lazerio spinduliuotės dažnį, rezonatoriaus ilgis turi būti suderintas bangos ilgio dalies tikslumu, tam tikslui reikalinga specializuota elektroninė grįžtamo ryšio grandinė tiksliai kontroliuojanti rezonatoriaus ilgį.

Be to, šiuo būdu dvigubinant lazerio spinduliuotės dažnį, lazerio spinduliuotės pluoštas turi būti tiksliai suderintas su rezonatoriaus moda, dėl to lazerio spinduliuotė turi būti difrakcinės skėsties.

Artimiausias pagal techninį sprendimą yra žinomas suminio dažnio generavimo būdas ir įrenginys, kuriame vyksta tradicinis dažnio dvigubinimas, kai į kvadratinio jautrio netiesinį kristalą fokusavimo sistemos pagalba yra nukreipiama ir fokusuojama lazerio spinduliuotė ir dėl neteisinės sąveikos kvadratinio jautrio netiesiniame kristale, išlaikant fazinio sinchronizmo sąlygas, yra dvigubinamas lazerio spinduliuotės dažnis – generuojama antra harmonika.

Žinomas būdas ir įrenginys yra aprašytas straipsnyje P. D. Maker et al., “Effects of dispersion and focusing on the production of optical harmonics”, Phys. Rev. Lett. 8 (1), 21 (1962). Antros harmonikos generacija išlaikant fazinio sinchronizmo sąlygas.

Žinomo būdo ir įrenginio trūkumas yra tas, kad padvigubinto dažnio impulsų smailinė galia yra mažesnė nei lazerio spinduliuotės impulsų smailinė galia, nes dažnių sumavimo našumas visuomet yra mažesnis nei 100%, išskyrus tam tikrus atvejus kai dėl ultra trumpų impulsų grupinių greičių vėlinimo yra suspaudžiami suminių dažnių impulsai.

Be to, šiuo būdu dvigubinant lazerio spinduliuotės dažnį, neįmanoma apjungti nuoseklių impulsų ir sugeneruoti tos pačios energijos, bet dvigubai trumpesnės trukmės suminio dažnio impulsus, lygiai taip pat šiuo būdu neįmanoma apjungti dvigubų impulsų – impulsų porų ir sugeneruoti pavienius suminio dažnio impulsus.

Be to, šiuo būdu dvigubinant lazerio spinduliuotės dažnį, impulsų smailinė galia turi būti pakankamai didelė, siekiant aukšto impulsų optinio dažnio dvigubavimo našumo.

Uždavinio sprendimo esmė yra ta, kad šviesos impulsų suminio dažnio generavimo būde, kai į kvadratinio jautrio netiesinę medžiagą nukreipia šviesos impulsus, kurioje, tenkinant fazinio sinchronizmo sąlygas, vyksta suminio dažnio generavimas, į kvadratinio jautrio netiesinės medžiagos įėjimo galą šviesos impulsus nukreipia poromis nuosekliai vienas po kito taip, kad kiekvienos poros pirmas šviesos impulsas pirmą kartą praeina kvadratinio jautrio netiesinę medžiagą joje nesukeliant netiesinės sąveikos, o praėjusį per minėtą netiesinę medžiagą pirmą impulsą grąžina atgal ir vėl nukreipia į minėtos kvadratinio jautrio netiesinės medžiagos tą patį įėjimo galą taip, kad antrą kartą sklisdamas grąžintas minėtas pirmas šviesos impulsas persiklotų su pirma kartą sklindančiu per kvadratinio jautrio netiesinę medžiagą tos pačios poros antruoju šviesos impulsu, užtikrinant tarp šių impulsų fazinio sinchronizmo sąlygas taip, kad minėtoje kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje vyktų efektyvi netiesinė sąveika ir vyktų minėtų pirmą ir antrą kartą kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje sklindančių kiekvienos poros impulsų apsijungimas į suminio dažnio šviesos impulsus.

Laiko intervalas tarp porą sudarančių šviesos impulsų yra lygus trukmei T , per kurią poros pirmasis šviesos impulsas pradėdant nuo kvadratinio jautrio netiesinės medžiagos įėjimo galo prasklinda per minėtą kvadratinio jautrio netiesinę medžiagą, grąžinamas atgal ir nukreipiant vėl patenka į minėtos kvadratinio jautrio netiesinės medžiagos tą patį įėjimo galą.

Kitas šio išradimo realizavimo varijantas yra, kai šviesos impulsus į kvadratinio jautrio netiesinės medžiagos įėjimo galą nukreipia taip, kad kiekvieno šviesos impulso pirmoji dalis pirmą kartą sklinda kvadratinio jautrio netiesinė medžiaga joje nesukeliant netiesinės sąveikos, o praėjusią per minėtą netiesinę medžiagą šviesos impulso pirmą dalį grąžina atgal ir vėl nukreipia į minėtos kvadratinio jautrio netiesinės medžiagos tą patį įėjimo galą taip, kad antrą kartą sklindanti grąžinta minėto šviesos impulso pirmoji dalis persikloja su pirmą kartą sklindančia per kvadratinio jautrio netiesinę medžiagą to paties šviesos impulso antra dalimi, užtikrinant tarp šių impulso dalių fazinio sinchronizmo sąlygas taip, kad minėtoje kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje vyktų efektyvi netiesinė sąveika ir vyktų minėtų pirmą ir antrą kartą kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje sklindančių to paties impulso dalių apsijungimas į suminio dažnio šviesos impulsus. Šviesos impulso trukmė yra didesnė nei trukmė T , per kurią minėto šviesos impulso pirmoji dalis, pradėdant nuo kvadratinio

jautrio netiesinės medžiagos įėjimo galo, prasklinda per kvadratinio jautrio netiesinę medžiagą, gražinama atgal ir nukreipta vėl patenka į minėtos kvadratinio jautrio netiesinės medžiagos tą patį įėjimo galą.

Nuosekliai apjungiant šviesos impulsus laike, susumuojant šių impulsų dažnius kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje yra generuojami dvigubai trumpesnės trukmės ir dvigubai didesnės smailinės galios suminių dažnių impulsai, nei taikant tradicines optinių harmonikų ir suminių dažnių generavimo schemas.

Be to, šio būdo pritaikymo, šviesos impulsų stiprinimui skaiduliniais stiprintuvais, privalumas yra tas, kad optinėje skaiduloje stiprinamų impulsų smailinė galia yra ribojama įvairių netiesinių reiškinių, tai fazinė savimoduliacija, privertinė Ramano ir Brijueno sklaida, keturbangis maišymas, susifokusavimas ir t. t., dėl to optinėje skaiduloje dvigubai ilgesnius šviesos impulsus daugelių atvejų galima sustiprinti iki dvigubai didesnės energijos ir nuosekliai apjungiant sustiprintus impulsus laike, susumuojant šių impulsų dažnius kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje, galima sugeneruoti tos pačios energijos, bet dvigubai trumpesnės trukmės suminio dažnio impulsus.

Taip pat šis būdas leidžia skaiduliniame stiprintuve stiprinti du nuoseklius impulsus, impulsų poras, ir juos nuosekliai apjungus turėti vieną, dvigubai didesnės smailinės galios, suminio dažnio impulsą.

Be to, nuosekliai apjungiant šviesos impulsus laike, susumuojant šių impulsų dažnius kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje yra pasiekiami didesni vertimo našumai į suminio dažnio spinduliuotę nei taikant tradicines antros harmonikos generavimo schemas, nes persiklojant pradiniams šviesos impulsams patiems su savimi kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje yra pasiekiamos dvigubai didesnės smailinės galios, nei pradinių impulsų smailinės galios ir atitinkamai vyksta stipresnė netiesinė sąveika.

Be to, nuoseklus šviesos impulsų apjungimo laike būdas leidžia generuoti impulsų sekas, jei pradinis šviesos impulsas yra daugiau kaip tris kartus ilgesnis nei pilnas apėjimo kelias tarp antrą ir pirmą kartą kvadratinio jautrio netiesinė medžiaga sklindančio pradinio impulso.

Kiti šio išradimo patobulinimai yra papildomų išradimo apibrėžties punktų objektai.

Kitas šio išradimo patobulinimas pasiekiamas šviesos impulsų suminio dažnio generavimo būdu, kai kiekvienas gražintas šviesos impulsas arba gražinta šviesos impulso pirmoji dalis antrą kartą sklindantis arba sklindanti kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje persikerta kampu atitinkamai su pirmą kartą sklindančiu kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje tos pačios poros antruoju šviesos impulsu arba to paties šviesos impulso antra dalimi ir, užtikrinant tarp persiklojančių šviesos impulsų arba atitinkamai tarp šviesos impulso dalių nekolinearios netiesinės sąveikos fazinio sinchronizmo sąlygas, persiklojantys impulsai arba persiklojančios šviesos impulso dalys apjungiamos laike sumuojant jų dažnius.

Be to, šio išradimo tikslas pasiekiamas šviesos impulsų suminio dažnio generavimo būdu, kai kiekvienas gražintas šviesos impulsas arba gražinta šviesos impulso dalis antrą kartą sklindantis arba sklindanti kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje kolinearčiai persikloja atitinkamai su pirmą kartą sklindančiu kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje poros antruoju šviesos impulsu arba to paties šviesos impulso antra dalimi ir užtikrinant tarp persiklojančių šviesos impulsų arba atitinkamai tarp šviesos impulso dalių kolinearčios netiesinės sąveikos fazinio sinchronizmo sąlygas, persiklojantys minėti šviesos impulsai arba persiklojančios minėto šviesos impulso dalys apjungiamos laike sumuojant jų dažnius.

Kitas pranašumą turintis šio išradimo konstrukcinis išpildymas yra šviesos impulsų suminio dažnio generavimo įrenginys, apimantis kvadratinio jautrio netiesinę medžiagą ir optiką, nukreipiančią šviesos impulsus į minėtos kvadratinio jautrio netiesinės medžiagos įėjimo galą ir išvedančią suminio dažnio impulsus iš kvadratinio jautrio netiesinės medžiagos išėjimo galo. Įrenginyje numatyta optinė sistema, optiškai sujungianti minėtos medžiagos išėjimo galą su jos įėjimo galu bei skirta praėjusiam pirmajam šviesos impulsui iš šviesos impulsų poros arba kiekvieno šviesos impulso praėjusiai pirmajai daliai gražinti ir vėl nukreipti į minėtą netiesinės medžiagos įėjimo galą taip, kad optinės sistemos gražintas minėtas impulsas arba gražinta impulso dalis netiesinėje medžiagoje persiklotų atitinkamai su pirmą kartą sklindančiu per kvadratinio jautrio netiesinę medžiagą tos pačios poros antruoju šviesos impulsu arba impulso antra dalimi, užtikrinant tarp persiklojančių impulsų

ar impulso dalių fazinio sinchronizmo sąlygas bei apsijungimą į suminio dažnio šviesos impulsus.

Pranašumą turinčiame šio išradimo konstrukciniame išpildyme minėta optinė sistema apima atspindžio veidrodžius ir poliarizacijos pasukimo elementą, pasukantį šviesos impulso poliarizaciją ribose nuo 0 iki 90 laipsnių kampų, išdėstyta gražinamų impulsų optiniame kelyje taip, kad gražinamas impulsas ar impulso dalis, nekertant netiesinės medžiagos, būtų nukreiptas į netiesinės medžiagos įėjimo galą bei gražintas impulsas ar impulso dalis atitinkamai kirstūsi kampu kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje su pirmą kartą sklindančiu tos pačios poros antru impulsu arba atitinkamai su to paties impulso antra dalimi.

Kitame pranašumą turinčiame šio išradimo konstrukciniame išpildyme minėta optinė sistema sudaryta iš optinių elementų, apimančių atspindžio veidrodžius, poliarizacijos pasukimo elementą, pasukantį šviesos impulso poliarizaciją 90 laipsnių kampų, poliarizacinį pluošto daliklį, esantį priešais netiesinės medžiagos įėjimo galą ir skirtą sudėti pirmą ir antrą kartą pro kvadratinio jautrio netiesinę medžiagą sklindančius statmenų poliarizacijų šviesos impulsus, bei dichroinį veidrodį, esantį priešais kvadratinio jautrio netiesinės medžiagos išėjimo galą, skirtą atskirti apjungtus laike suminio dažnio impulsus nuo netiesinę medžiagą praėjusių šviesos impulsų. Visi paminėti optinę sistemą sudarantys optiniai elementai išdėstyti gražinamų šviesos impulsų ar impulso dalių optiniame kelyje taip, kad gražinamas impulsas ar impulso dalis, nekertant netiesinės medžiagos, būtų nukreiptas į netiesinės medžiagos įėjimo galą taip, kad gražintas ir antrą kartą sklindantis impulsas ar impulso dalis persiklotų kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje su pirmą kartą sklindančiu tos pačios poros antru impulsu arba atitinkamai su to paties impulso antra dalimi.

Kitame pranašumą turinčiame šio išradimo konstrukciniame išpildyme minėta optinė sistema sudaryta iš optinių elementų, apimančių atspindžio veidrodžius, poliarizacijos pasukimo elementą, pasukantį šviesos impulso poliarizaciją 90 laipsnių kampų, poliarizacinį pluošto daliklį, esantį priešais netiesinės medžiagos įėjimo galą, ir skirtą sudėti pirmą ir antrą kartą pro kvadratinio jautrio netiesinę medžiagą sklindančius statmenų poliarizacijų šviesos impulsus, bei dichroinį veidrodį, esantį priešais kvadratinio jautrio netiesinės medžiagos išėjimo galą, skirtą atskirti apjungtus laike suminio dažnio impulsus nuo praėjusių netiesinę

medžiagą šviesos impulsų. Minėtos optinės sistemos minėti optiniai elementai išdėstyti gražinamų šviesos impulsų optiniame kelyje taip, kad gražinamas impulsas ar impulso dalis, atsispindėjęs nuo pirmo veidrodžio, kirstų netiesinę medžiagą ta pačia trajektorija kaip ir pirmą kartą sklindantis impulsas ar impulso dalis ir atsispindėjęs nuo kito veidrodžio ir poliarizacinio pluošto daliklio, būtų nukreiptas į netiesinės medžiagos įėjimo galą taip, kad gražintas impulsas ar impulsų dalis sklisdamas(a) antrą kartą kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje persiklotų su pirmą kartą sklindančiu tos pačios poros antru impulsu arba atitinkamai su to paties impulso antra dalimi.

Dar kitame pranašumą turinčiame šio išradimo konstrukciniame išpildyme minėta optinė sistema apima optinę skaidulą galuose sujungtą su kolimatoriais, kur į skaidulos įėjimo galą per pirmą kolimatorių patenka kvadratinio jautrio netiesinę medžiagą praėjęs pirmasis poros impulsas arba impulso pirmoji dalis, kuris(i) per minėtą optinę skaidulą gražinamas(a) atgal ir per kitą kolimatorių nukreipiamas į netiesinės medžiagos įėjimo galą. Optinės skaidulos ilgis parenkamas toks, kad antrą kartą pro kvadratinio jautrio netiesinę medžiagą sklindantis gražintas poros pirmas impulsas arba impulso pirmoji dalis joje persiklotų su pirmą kartą sklindančiu tos pačios poros antru impulsu arba atitinkamai su to paties impulso antra dalimi.

Kitame pranašumą turinčiame šio išradimo konstrukciniame išpildyme minėta optinė sistema apima veidrodžius, suformuotus ant kvadratinio jautrio netiesinės medžiagos atitinkamų išėjimo ir įėjimo galų taip, kad praėjęs netiesinę medžiagą pirmas poros impulsas ar impulso pirmoji dalis atsispindi nuo pirmo veidrodžio, suformuoto ant netiesinės medžiagos išėjimo galo, grįžta atgal per netiesinę medžiagą ir atsispindi nuo antro veidrodžio, suformuoto ant įėjimo galo, o atsispindėjęs nuo antro veidrodžio gražintas ir antrą kartą sklindantis pirmas poros impulsas arba impulso pirmoji dalis persikloja kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje su pirmą kartą sklindančiu tos pačios poros antru impulsu arba atitinkamai su impulso antra dalimi.

Minėta kvadratinio jautrio netiesinė medžiaga yra dvejopai laužiantis netiesinis kristas skirtas optinių harmonikų arba suminio dažnio generavimui (pvz. LBO, BBO, LN, KTP, KDP ir t. t.), periodiškai orientuotas netiesinis kristalas (pvz. PPLN, PPLT, PPKTP ir t. t.),

netiesinis kristalas su jame suformuotu bangolaidžiu arba bet koks kitas įrenginys kurio kvadratinio jautrio netiesiškumas nelygus nuliui ($\chi^{(2)} \neq 0$).

Siūlomo pagal išradimą įrenginio privalumas yra tas, kad vienu metu apjungiant šviesos impulsą pirmą kartą sklindantį per netiesinę medžiagą su gražintu ir antrą kartą sklindančiu šviesos impulsu yra generuojami dvigubai trumpesni ir suminio dažnio impulsai, dėl to nereikia atskirai spausti impulso, kas ne visada yra įgyvendinama, pavyzdžiui jei pradinis impulsas yra spektriškai ribotas, jo suspausti negalima prieš tai neišplečiant impulso optinių dažnių spektrą, o po to generuoti antrą harmoniką.

Be to, šį įrenginį pritaikant šviesos impulsų stiprinimui skaiduliniais stiprintuvais, privalumas yra tas, kad optinėje skaiduloje stiprinamų impulsų smailinė galia yra ribojama įvairių netiesinių reiškinių, dėl to optinėje skaiduloje dvigubai ilgesnius impulsus daugelių atvejų galima sustiprinti iki dvigubai didesnės energijos ir nuosekliai apjungiant sustiprintus impulsus laike, susumuojant šių impulsų dažnius kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje, galima generuoti tos pačios energijos, bet dvigubai trumpesnės trukmės ir atitinkamai dvigubai didesnės smailinės galios suminio dažnio impulsus.

Įrenginio, kuriame naudojamas pasiūlytas nuoseklaus šviesos impulsų apjungimas laike, savikaina yra to paties dydžio kaip ir tradicinių antros harmonikos ar suminio dažnio generavimo įrenginių savikaina, tačiau nuoseklaus šviesos impulsų apjungimo laike įrenginio praktiniams pritaikymams yra daugiau skirtingų galimybių, nes be suminių dažnių generavimo yra galimybė manipuluoti su impulso laikiniais parametrais.

Be to, nuoseklaus šviesos impulsų apjungimo laike įrenginio savikaina, skirta generuoti suminio dažnio impulsų sekas, yra mažesne nei analogišką funkciją galinčio atlikti įrenginio.

Detaliau išradimas paaiškinamas brėžiniais, kuriuose pavaizduota:

Fig.1 –pasiūlyto įrenginio optinė schema, kurioje pirmą ir antrą kartą kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje sklindantys šviesos impulsai persikloja kampu.

Fig.2 – pasiūlyto įrenginio optinė schema pagal Fig.1, kurioje vietoje šviesos impulsų trajektorijų yra pavaizduotos šviesos bangos.

Fig.3 – pasiūlyto įrenginio optinė schema, kurioje pirmą ir antrą kartą kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje sklindantys pradiniai šviesos impulsai persikloja kolinearčiai.

Fig.4 – pasiūlyto įrenginio optinė schema, kurioje poros pirmas šviesos impulsas kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje, sklinda ir grįžta pro kvadratinio jautrio netiesinę medžiagą ta pačia trajektorija.

Fig.5 – pasiūlyto įrenginio optinė schema, kurioje poros pirmas šviesos impulsas, prasklidęs pro kvadratinio jautrio netiesinę medžiagą yra gražinamas atgal į minėtą kvadratinio jautrio kvadratinę medžiagą per optinę skaidulą ir pirmą ir antrą kartą kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje sklindantys šviesos impulsai persikloja kampu.

Fig.6 – pasiūlyto įrenginio optinė schema, kurioje poros pirmas šviesos impulsas, prasklidęs pro kvadratinio jautrio netiesinę medžiagą yra gražinamas atgal į minėtą kvadratinio jautrio netiesinę medžiagą, veidrodžiais suformuotais ant kvadratinio jautrio netiesinės medžiagos galų.

Fig.7 – krentančių šviesos impulsų I_{n1} ir nuosekliai apjungtų suminio dažnio šviesos impulsų I_{s4} laikinės diagramos.

Fig. 8 – krentančių šviesos impulsų porų I_{n1} , nuosekliai apjungtų suminio dažnio šviesos impulsų I_{s4} ir neapjungtų šviesos impulsų I_{s4}' įrenginio išėjime, loginių reikšmių lentelė, šviesos impulsai sudarantys pora yra atskirti laiko intervalu T , o I reiškia, kad impulsas yra, bei 0 reiškia, kad impulso nėra.

Fig.9 – eksperimentiškai išmatuota nuosekliai apjungtų laike šviesos impulsų, susumuojant dažnius, energijos priklausomybė nuo pradinės, skaiduliniu stiprintuvu sustiprintų šviesos impulsų porų energijos. Palyginimui pateikta pavienio impulso antros harmonikos energijos

priklausomybė nuo pradinio impulso energijos, taikant tradicinę antros harmonikos generavimo schemą.

Fig.10 – eksperimentiškai išmatuotos šviesos impulsų porų ir apjungtų šviesos impulsų porų generuojant suminius dažnius, laikinės charakteristikos.

Fig.11 – pasiūlyto įrenginio vienas iš taikymo pavyzdžių, skirtas didelės energijos suminio dažnio impulsų generavimui.

Fig.12 – pasiūlyto įrenginio pagal Fig.1 taikymo pavyzdys.

Siūlomas impulsų suminio dažnio generavimo būdas apima šią operacijų seka:

Į kvadratinio jautrio netiesinės medžiagos įėjimo galą nekreipia vienu atveju šviesos impulsus poromis, o kitu atveju pavienius impulsus. Pirmuoju atveju pirmą kartą sklindant poros pirmajam šviesos impulsui per kvadratinio jautrio netiesinę medžiagą nėra tenkinamos netiesinės sąveikos fazinio synchronizmo sąlygos, negeneruojama antra harmonika. Pirmą kartą nuo įėjimo galo prasklidęs šviesos impulsų poros pirmasis šviesos impulsas yra gražinamas atgal ir nukreipiamas į minėtos kvadratinio jautrio netiesinės medžiagos minėtą įėjimo galą taip, kad antrą kartą sklindantis per kvadratinio jautrio netiesinę medžiagą šviesos impulsas persikloja su tos pačios poros antruoju šviesos impulsu užtikrinant fazinio synchronizmo sąlygas, kurioms esant minėtoje kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje vyksta efektyvi netiesinė sąveika ir vyksta minėtų pirmą ir antrą kartą kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje sklindančių ir persiklojančių tos pačios poros šviesos impulsų apsijungimas į suminio dažnio šviesos impulsus. Šiuo atveju laiko intervalas tarp porą sudarančių šviesos impulsų yra lygus trukmei T , per kurią poros pirmasis šviesos impulsas pradėdamas nuo kvadratinio jautrio netiesinės medžiagos įėjimo galo prasklinda per minėtą kvadratinio jautrio netiesinę medžiagą, gražinamas atgal ir nukreipiant vėl patenka į minėtos kvadratinio jautrio netiesinės medžiagos tą patį įėjimo galą.

Analogiškai antruoju atveju, gražinta ir antrą kartą sklindanti pavienio šviesos impulso pirmoji dalis persikloja su to paties šviesos impulso pirmą kartą sklindančia antrąja impulso dalimi, užtikrinant fazinio synchronizmo sąlygas, kurioms esant minėtoje kvadratinio jautrio

netiesinėje medžiagoje vyksta efektyvi netiesinė sąveika ir vyksta minėtų pirmą ir antrą kartą kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje sklindančių ir persiklojančių to paties impulso dalių apsiungimas į suminio dažnio šviesos impulsus. Šiuo atveju šviesos impulsų trukmė yra didesnė nei trukmė T , per kurią šviesos impulso pirmoji dalis, pradėdant nuo kvadratinio jautrio netiesinės medžiagos įėjimo galo, prasklinda per kvadratinio jautrio netiesinę medžiagą, grąžinama atgal ir nukreipta vėl patenka į minėtos kvadratinio jautrio netiesinės medžiagos tą patį įėjimo galą

Pagal pasiūlytą išradimą galimi keli šviesos impulsų apjungimo būdai. Vienas iš jų yra, kai grąžintas minėtas pirmas impulsas arba antru atveju grąžinta minėta pirmoji impulso dalis kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje atitinkamai persikerta kampu su pirmą kartą sklindančiu impulsų poros antruoju impulsu arba kitu atveju su antrąja šviesos impulso dalimi tenkinant nekolinearios netiesinės sąveikos fazinio sinchronizmo sąlygas. Pirmą ir antrą kartą sklindantys kvadratinio jautrio netiesinė medžiaga šviesos impulsai arba to paties impulso pirmoji ir antroji dalys apsiungia susumuojant jų dažnius.

Kitas nuoseklus impulsų apjungimo būdo variantas skiriasi nuo anksčiau aprašytojo tuo, kad pirma ir antrą kartą sklindantys kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje šviesos impulsai arba pirmoji ir antroji to paties impulso dalys persikloja, yra kolinearūs ir statmenai poliarizuoti.

Dar kitas nuoseklus impulsų apjungimo būdo variantas skiriasi nuo anksčiau aprašytų tuo, kad poros pirmasis šviesos impulsas kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje sklinda ir grįžta ta pačia trajektorija.

Siūlomas šviesos impulsų suminio dažnio generavimo įrenginys, kuriame pirmą kartą sklindantys šviesos impulsai 1 ir grąžinti atgal ir antrą kartą sklindantys šviesos impulsai 2 atitinkamai persikloja kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje 3, kurios išėjime generuojami suminio dažnio impulsai 4. Fig. 1 ir Fig. 2 pavaizduota kvadratinio jautrio netiesinė medžiaga 3 į kurios įėjimo galą optikos pagalba (brėžinyje neparodyta) yra nukreipiami šviesos impulsai 1. Kvadratinio jautrio netiesinę medžiagą 3 praėję šviesos impulsai optinės sistemos pagalba grąžinami ir nukreipiami į tą patį netiesinės medžiagos 3

įėjimo galą. Minėtą optinę sistemą sudaro veidrodžiai (5, 5') ir poliarizacijos pasukimo įrenginys 6, pvz. galintis pasukti šviesos impulso poliarizaciją 0- 90 laipsnių kampu. Pirmą kartą sklindantys kvadratinio jautrio netiesinė medžiaga 3 šviesos impulsai 1 ir gražinti atgal bei antra kartą sklindantys kvadratinio jautrio netiesinė medžiaga 3 šviesos impulsai 2 kertasi kampu ir tenkinant nekolinearios netiesinės sąveikos fazinio sinchronizmo sąlygą, šviesos impulsai 1 atitinkamai yra apjungiami su gražintais šviesos impulsais 2 į suminio dažnio impulsus 4. Kadangi pirmą kartą sklindantys impulsai ir gražinti ir antrą kartą kvadratinio jautrio netiesinė medžiaga 3 sklindantys šviesos impulsai 2 kertasi kampu ir yra tenkinamos nekolinearios netiesinės sąveikos fazinio sinchronizmo sąlygos, pirmą ir antrą kartą kvadratinio jautrio netiesinė medžiaga sklindančių šviesos impulsų (1, 2) poliarizacijos gali būti tiek vienodos, tiek statmenos, priklausomai nuo kvadratinio jautrio netiesinės medžiagos 3 savybių.

Fig. 3 pavaizduotas kitas šviesos impulsų suminio dažnio generavimo įrenginys, kuris skiriasi nuo anksčiau aprašytojo tuo, kad pirmą kartą sklindantys kvadratinio jautrio netiesinė medžiaga 3 šviesos impulsai 1 ir gražinti atgal bei antrą kartą sklindantys kvadratinio jautrio netiesinė medžiaga 3 šviesos impulsai 2 yra statmenų poliarizacijų, jie netiesinėje medžiagoje 3 persikloja kolinearčiai ir tenkinant kolinearčios netiesinės sąveikos fazinio sinchronizmo sąlygas yra apjungiami į suminio dažnio impulsus 4. Šviesos impulsai 1 yra *p* tipo poliarizacijos ir per poliarizacinį pluošto daliklį 7 yra nukreipiami į kvadratinio jautrio netiesinės medžiagos 3 įėjimo galą, o pro ją prasklidę šviesos impulsai 1 yra gražinami atgal į minėtos kvadratinio jautrio netiesinės medžiagos 3 tą patį įėjimo galą. Šviesos impulsų 1 gražinimas atgal į minėtą kvadratinio jautrio netiesinę medžiagą 3 vyksta tokia eilės tvarka: praėję netiesinę medžiagą 3 impulsai 1 atsispindi nuo dichroinio veidrodžio 8, veidrodžių 5, 5' ir poliarizacinio pluošto daliklio 7 taip, kad pirmą kartą kvadratinio jautrio netiesinė medžiaga 3 sklindantys šviesos impulsai 1 ir gražinti bei antrą kartą kvadratinio jautrio netiesinė medžiaga 3 sklindantys šviesos impulsai 2 persikloja. Gražinamo šviesos impulso kelyje yra patalpintas poliarizacijos pasukimo įrenginys 6, sudarytas iš pusės bangos ilgio plokštelės, kuris pasuka šviesos impulso 1 poliarizaciją 90 laipsnių kampu ir impulso 1 poliarizacija iš *p* tipo pasikeičia į *s* tipą. Tenkinant kolinearčios netiesinės sąveikos fazinio sinchronizmo sąlygą, pirmą ir antrą kartą kvadratinio jautrio netiesinė medžiaga 3 sklindantys šviesos impulsai (1, 2) dėl netiesinės sąveikos yra

apjungiami į suminio dažnio šviesos impulsus 4, kurie prasklidę pro dichroinį veidrodį 8 yra atskiriami nuo šviesos impulsų 4'.

Fig. 4 pavaizduotas kitas šviesos impulsų suminio dažnio generavimo įrenginio variantas, kuriame panaudotas kitas nuoseklaus impulsų apjungimo laike būdo variantas, kuris skiriasi nuo prieš tai aprašytojo tuo, kad šviesos impulsai 1 kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje 3 sklinda ir yra gražinami ta pačia trajektorija. Šviesos impulsas 1 sklinda per poliarizacinį pluošto daliklį 7, kvadratinio jautrio netiesinę medžiagą 3, dichroinį veidrodį 8, poliarizacijos pasukimo įrenginį 6', atsispindi nuo veidrodžio 5 ir grįždamas dar kartą sklinda pro poliarizacijos pasukimo įrenginį 6', dichroinį veidrodį 8, kvadratinio jautrio netiesinę medžiagą 3, atsispindi nuo poliarizacinio pluošto daliklio 7, veidrodžio 5' ir dar kartą atspindėtas nuo poliarizacinio pluošto daliklio 7, gražintas šviesos impulsas 2 yra nukreipiamas į kvadratinio jautrio netiesinės medžiagos 3 įėjimo galą. Pirmą kartą ir gražintas antrą kartą kvadratinio jautrio netiesinė medžiaga 3 sklindantys ir persiklojantys šviesos impulsai (1, 2) dėl netiesinės sąveikos yra apjungiami į suminio dažnio impulsus 4, kurie atsispindėję nuo dichroinio veidrodžio 8 yra atskiriami nuo šviesos impulsų 4'. Šviesos impulsas 1, kurio poliarizacija yra p tipo, prasklidęs pro poliarizacijos pasukimo įrenginį 6', atspindėjęs nuo veidrodžio 5 ir dar kartą prasklidęs pro poliarizacijos pasukimo įrenginį 6', keičia poliarizaciją į statmeną- s tipo. Poliarizacijos pasukimo įrenginį 6' sudaro ketvirčio bangos ilgio plokštelė arba Faradėjaus rotatorius.

Fig.5 pavaizduotas šviesos impulsų suminio dažnio generavimo įrenginys, kuriame, sudarant didelį užlaikymą L , tarp pirmą ir antrą kartą kvadratinio jautrio netiesinė medžiaga 3 sklindančių šviesos impulsų 1 ir 2, šviesos impulsas 1 prasklidęs pro kvadratinio jautrio netiesinę medžiagą 3 gražinamas atgal į minėtą kvadratinio jautrio netiesinę medžiagą 3 per kolimatorių 10, optinę skaidulą 9 ir kolimatorių 10'. Optinės skaidulos ilgis parenkamas toks, kad antrą kartą pro kvadratinio jautrio netiesinę medžiagą 3 sklindantis gražintas poros pirmas impulsas 2 arba impulso pirmoji dalis 2 joje persiklotų su pirmą kartą sklindančiu tos pačios poros antru impulsu 1 arba atitinkamai su to paties impulso antra dalimi 1. Optinė skaidula 9 yra neilgesnė nei L/n_{eff} . Čia n_{eff} yra optinė skaidula 9 sklindančios modos efektinis lūžio rodiklis. Pavyzdžiui, sudarant užlaikymą $L=100$ metrų, optinės skaidulos 9 ilgis yra mažesnis nei $100/1,45$ metrų.

Fig. 6 pavaizduotas kitas šviesos impulsų suminio dažnio generavimo įrenginio variantas, kuris skiriasi nuo anksčiau aprašytų tuo, kad pirmą kartą kvadratinio jautrio netiesinė medžiaga 3 prasklidusius šviesos impulsus 1 grąžina ir nukreipia atgal į kvadratinio jautrio netiesinės medžiagos 3 įėjimo galą veidrodžiai 11 ir 12 suformuoti ant kvadratinio jautrio netiesinės medžiagos 3 atitinkamų įėjimo ir išėjimo galų.

Šviesos impulsų 1 ir nuosekliai apjungtų šviesos impulsų 4 laikinių diagramų pavyzdžiai pavaizduoti Fig. 7. Diagramose atidėtas dydis T , yra trukmės per kurią šviesos impulsas, pradėdamas nuo kvadratinio jautrio netiesinės medžiagos įėjimo galo, prasklinda per kvadratinio jautrio netiesinę medžiagą, grąžinamas atgal ir nukreiptas vėl patenka į minėtos kvadratinio jautrio netiesinės medžiagos tą patį įėjimo galą arba kitais žodžiais atstumas tarp pirmą ir antrą kartą kvadratinio jautrio netiesinė medžiaga sklidančių šviesos impulsų (1 ir 2). Jei šviesos impulsai 1 įrenginio įėjime yra stačiakampės formos ir jų trukmė yra lygi $2T$, apjungti suminio dažnio šviesos impulsai 4 įrenginio išėjime yra taip pat stačiakampės formos, bet dvigubai mažesnės trukmės (Fig. 7a). Jei šviesos impulsai 1 yra sudaryti iš dviejų vienodos laikinės formos impulsų porų ir tarp porų sudarančių impulsų atstumas yra lygus T , apjungti suminio dažnio šviesos impulsai 4 įrenginio išėjime yra tos pačios laikinės formos kaip ir šviesos impulsų, kurie sudaro poras 1 laikinės formos, tačiau apjungti suminio dažnio šviesos impulsai 4 yra pavieniai, o ne suporuoti (Fig. 7b). Jei šviesos impulsas 1 įrenginio įėjime yra pavienis bei ilgesnis nei $3T$, tai nuosekliai apjungiant šio impulso pirmą ir antrą dalis yra generuojama suminio dažnio impulsų seka 4 (Fig. 7c).

Fig. 8 pavaizduota šviesos impulsų porų I_{n1} , nuosekliai apjungtų suminio dažnio šviesos impulsų I_{s4} ir neapjungtų šviesos impulsų I_{s4}' įrenginio išėjime, loginių reikšmių lentelė, šviesos impulsai sudarantys porą yra atskirti atstumu T . 1- reiškia, kad impulsas yra, o 0- reiškia, kad impulso nėra. Nuosekliai apjungtų suminio dažnio šviesos impulsų I_{s4} loginės reikšmės atitinka loginę operaciją AND, o neapjungtų šviesos impulsų I_{s4}' įrenginio išėjime loginės reikšmės atitinka loginę operaciją XOR.

Vienas, nuoseklaus impulsų apjungimo laike susumuojant šių impulsų dažnius kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje, praktinio pritaikymo pavyzdžių, yra skaiduliniu stiprintuvu

sustiprintų impulsų porų apjungimas, generuojant antrą harmoniką KTP netiesiniame kristale. Nuosekliam impulsų apjungimui buvo pritaikyta Fig. 4 pavaizduota schema. Impulsų poros 1 buvo sudarytos iš dviejų Gauso formos impulsų, impulsų trukmė FWHM yra 430 ps ir porą sudarantys impulsai buvo atskirti laike 3,5 ns atstumu. Skaiduliniu stiprintuvu stiprinamų trumpų, pikosekundinės trukmės, impulsų smailinė galia ir atitinkamai impulsų energija yra ribojama įvairių netiesinių reiškinių optinėje skaiduloje. Dėl šios priežasties impulsų poros gali būti sustiprintos iki dvigubai didesnės energijos, nei pavieniai impulsai. Apjungus sustiprintų impulsų poras yra generuojami pavieniai antros harmonikos impulsai, kurių energija, lyginant su tradicine antros harmonikos generavimo schema sugeneruotų antros harmonikos impulsų energija, yra beveik dvigubai didesnė (Fig. 9). Impulsų porų 1, sustiprintų skaiduliniu stiprintuvu, eksperimentiškai išmatuota laikinė charakteristika pavaizduota Fig. 10a ir apjungtų antros harmonikos impulsų laikinė charakteristika pavaizduota Fig. 10b. Eksperimentiškai generuojant antrą harmoniką buvo nuosekliai apjungtos impulsų poros į suminio dažnio pavienius impulsus.

Fig. 11 pavaizduotas pasiūlyto įrenginio pritaikymas lazerinėje sistemoje generuojančioje didelės energijos suminio dažnio impulsus. Lazerinė sistema susideda iš užduodančio impulsinio lazerio 13, generuojančio periodišką impulsų seką 14, skaidulinio izoliatoriaus 15, skirto apsaugoti užduodantį impulsinį lazerį 13 nuo grįžtančios spinduliuotės, skaidulinio pluošto daliklio 16, skirto impulsų 14 padalinimui ir nukreipimui į dvi skirtingo ilgio skaidulines atšakas 17 ir 18, skaidulinio pluošto daliklio 19, kuris apjungia skirtingo ilgio skaidulinėse atšakose 17 ir 18 sklindančius impulsus 14 į impulsų poras 20, skaidulinio izoliatoriaus 21, skirto apsaugoti užduodantį impulsinį lazerį 13 nuo nepageidaujamų atspindžių, modų adapterio 22, kuris suderina modas tarp skirtingo šerdies diametro skaidulų, signalo ir kaupinimo šakotuvų 23 ir 24, skirtų kaupinimo diodinių lazerių 25 ir 26 spinduliuotei įvesti į didelio modos ploto dvigubo apvalkalo poliarizaciją išlaikančią iterbiu legiruotą optinę skaidulą 27, kurioje impulsų poros 20 sustiprinamos iki reikiamos energijos ir gautos sustiprintos impulsų poros 1 didelio modos diametro pasyvia skaidula 28 yra perduodamos iki kolimatoriaus 29, kurį sudaro stiklinis strypelis 30, privirintas prie didelio modos diametro pasyvios skaidulos 28 galo, ir kolimuojantis lęšis 31. Stiklinis strypelis 30, skirtas apsaugoti skaidulos 28 galą nuo optinio pažeidimo. Kolimatoriuje 29 sukoliuota šviesos impulsų pora 1 per laisvos erdvės optinį izoliatorių 32 nukreipiamą į įrenginį 33,

sukonstruotą pagal bet kurią pasiūlytą pagal išradimą optinę schemą, pavaizduotą Fig.1- Fig.6, skirtą impulsų porų 1 arba impulso dalių apjungimui į suminio dažnio impulsus 4.

Fig. 12 pavaizduotas impulsų apjungimo generuojant suminius dažnius įrenginio variantas, kuriame papildomai įmontuota elektriškai valdoma Pokelso celė 34, kuri skirta impulso poliarizacijos pasukimui norimu laiko momentu ir atitinkamai impulsu apjungimo valdymui.

IŠRADIMO APIBRĖŽTIS

1. Šviesos impulsų suminio dažnio generavimo būdas, kai į kvadratinio jautrio netiesinę medžiagą nukreipia šviesos impulsus, kurioje, tenkinant fazinio sinchronizmo sąlygas, vyksta suminio dažnio generavimas, **besiskiriantis tuo**, kad šviesos impulsus į kvadratinio jautrio netiesinės medžiagos įėjimo galą nukreipia poromis nuosekliai vienas po kito taip, kad

- kiekvienos poros pirmas šviesos impulsas pirmą kartą praeina kvadratinio jautrio netiesinę medžiagą joje nesukeliant netiesinės sąveikos,

- praėjusį per minėtą netiesinę medžiagą pirmą impulsą gražina atgal ir vėl nukreipia į minėtos kvadratinio jautrio netiesinės medžiagos tą patį įėjimo galą,

- antrą kartą sklisdamas gražintas minėtas pirmas šviesos impulsas persikloja su pirma kartą sklindančiu per kvadratinio jautrio netiesinę medžiagą tos pačios poros antruoju šviesos impulsu, užtikrinant tarp šių impulsų fazinio sinchronizmo sąlygas,

- išpildžius minėtoje kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje tarp minėtų impulsų fazinio sinchronizmo sąlygas vyksta efektyvi netiesinė sąveika ir vyksta minėtų pirmą ir antrą kartą kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje sklindančių kiekvienos poros impulsų apsiungimas į suminio dažnio šviesos impulsus.

2. Šviesos impulsų suminio dažnio generavimo būdas pagal 1 punktą, **besiskiriantis tuo**, kad laiko intervalas tarp porą sudarančių šviesos impulsų yra lygus trukmei T , per kurią poros pirmasis šviesos impulsas pradėdamas nuo kvadratinio jautrio netiesinės medžiagos įėjimo galo prasklinda per minėtą kvadratinio jautrio netiesinę medžiagą, gražinamas atgal ir nukreipiant vėl patenka į minėtos kvadratinio jautrio netiesinės medžiagos tą patį įėjimo galą.

3. Šviesos impulsų suminio dažnio generavimo būdas, kai į kvadratinio jautrio netiesinę medžiagą nukreipia impulsus, kurioje, tenkinant fazinio sinchronizmo sąlygas, vyksta suminio dažnio generavimas, **besiskiriantis tuo**, kad šviesos impulsus į kvadratinio jautrio netiesinės medžiagos įėjimo galą nukreipia taip, kad

- kiekvieno šviesos impulso pirmoji dalis pirmą kartą sklinda kvadratinio jautrio netiesinė medžiaga joje nesukeliant netiesinės sąveikos,

- praėjusią per minėtą netiesinę medžiagą šviesos impulso pirmąją dalį gražina atgal ir vėl nukreipia į minėtos kvadratinio jautrio netiesinės medžiagos tą patį įėjimo galą,

- gražinta ir antrą kartą sklindanti minėto šviesos impulso pirmoji dalis persikloja su pirma kartą sklindančia per kvadratinio jautrio netiesinę medžiagą to paties šviesos impulso antra dalimi,

- tarp persiklojančių kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje minėtų impulso dalių užtikrina fazinio sinchronizmo sąlygas, kurioms esant minėtoje kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje vyksta efektyvi netiesinė sąveika ir vyksta minėtų pirmą ir antrą kartą kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje sklindančių ir persiklojančių to paties impulso dalių apsiijungimas į suminio dažnio šviesos impulsus.

4. Šviesos impulsų suminio dažnio generavimo būdas pagal 3 punktą, **besiskiriantis tuo**, kad šviesos impulsų trukmė yra didesnė nei trukmė T , per kurią šviesos impulso pirmoji dalis, pradedant nuo kvadratinio jautrio netiesinės medžiagos įėjimo galo, prasklinda per kvadratinio jautrio netiesinę medžiagą, gražinama atgal ir nukreipta vėl patenka į minėtos kvadratinio jautrio netiesinės medžiagos tą patį įėjimo galą.

5. Šviesos impulsų suminio dažnio generavimo būdas pagal bet kurią iš 1-4 punktų, **besiskiriantis tuo**, kad kiekvienas gražintas šviesos impulsas arba gražinta šviesos impulso pirmoji dalis antrą kartą sklindantis arba sklindanti kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje persikerta kampu atitinkamai su pirma kartą sklindančiu kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje tos pačios poros antruoju šviesos impulsu arba to paties šviesos impulso antra dalimi ir, užtikrinant tarp persiklojančių šviesos impulsų arba atitinkamai tarp šviesos impulso dalių nekolinearios netiesinės sąveikos fazinio sinchronizmo sąlygas, persiklojantys impulsai arba persiklojančios šviesos impulso dalys apjungiamos laike sumuojant jų dažnius.

6. Šviesos impulsų suminio dažnio generavimo būdas pagal bet kurią iš 1-4 punktą, **besiskiriantis tuo**, kad kiekvienas gražintas šviesos impulsas arba gražinta šviesos impulso dalis antrą kartą sklindantis arba sklindanti kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje kolinearčiai persikloja atitinkamai su pirma kartą sklindančiu kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje poros antruoju šviesos impulsu arba to paties šviesos impulso antra dalimi ir užtikrinant tarp persiklojančių šviesos impulsų arba atitinkamai tarp šviesos impulso dalių kolinearčiai netiesinės sąveikos fazinio sinchronizmo sąlygas, persiklojantys minėti šviesos impulsai arba persiklojančios minėtos šviesos impulso dalys apjungiamos laike sumuojant jų dažnius.

7. Šviesos impulsų suminio dažnio generavimo įrenginys, apimantis kvadratinio jautrio netiesinę medžiagą (3) ir optiką, nukreipiančią šviesos impulsus į minėtos kvadratinio jautrio medžiagos (3) įėjimo galą ir išvedančią suminio dažnio impulsus iš kvadratinio jautrio netiesinės medžiagos (3) išėjimo galo, **besiskiriantis tuo**, kad numatyta optinė sistema, optiškai sujungianti minėtos medžiagos išėjimo galą su jos įėjimo galu bei skirta praėjusiam

pirmajam šviesos impulsui (1) iš šviesos impulsų poros arba kiekvieno šviesos impulso (1) praėjusiai pirmajai daliai (1) gražinti ir vėl nukreipti į minėtą netiesinės medžiagos (3) įėjimo galą taip, kad optinės sistemos gražintas minėtas impulsas (2) arba gražinta impulso dalis (2) netiesinėje medžiagoje (3) persikloja su pirmą kartą sklindančiu per kvadratinio jautrio netiesinę medžiagą (3) tos pačios poros antruoju šviesos impulsu (1) arba impulso antra dalimi (1), užtikrinant tarp persiklojančių impulsų ar impulso dalių (1 ir 2) fazinio sinchronizmo sąlygas bei apsijungimą į suminio dažnio šviesos impulsus (4).

8. Šviesos impulsų suminio dažnio generavimo įrenginys pagal 7 punktą, **besiskiriantis tuo**, kad minėta optinė sistema apima atspindžio veidrodžius (5, 5') ir poliarizacijos pasukimo elementą (6), pasukantį šviesos impulso poliarizaciją ribose nuo 0 iki 90 laipsnių kampu, išdėstytus gražinamų impulsų optiniame kelyje taip, kad gražinamas impulsas ar impulso dalis nekertant netiesinės medžiagos (3), būtų nukreiptas(a) į netiesinės medžiagos (3) įėjimo galą bei gražintas impulsas (2) ar impulso dalis (2) kirstuši kampu kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje (3) su pirmą kartą sklindančiu atitinkamai tos pačios poros antru impulsu (1) arba su to paties impulso antra dalimi (1).

9. Šviesos impulsų suminio dažnio generavimo įrenginys pagal 7 punktą, **besiskiriantis tuo**, kad minėta optinė sistema sudaryta iš optinių elementų, apimančių atspindžio veidrodžius (5, 5'), poliarizacijos pasukimo elementą (6), pasukantį šviesos impulso poliarizaciją 90 laipsnių kampu, poliarizacinį pluošto daliklį (7), esantį priešais netiesinės medžiagos (3) įėjimo galą ir skirtą sudėti pirmą ir antrą kartą pro kvadratinio jautrio netiesinę medžiagą (3) sklindančius statmenų poliarizacijų šviesos impulsus, bei dichroinį veidrodį (8), esantį priešais kvadratinio jautrio netiesinės medžiagos (3) išėjimo galą, skirtą atskirti apjungtus laike suminio dažnio impulsus (4) nuo netiesinę medžiagą (3) praėjusių šviesos impulsų (4'), visi paminėti optinę sistemą sudarantys optiniai elementai išdėstyti gražinamų šviesos impulsų ar impulso dalių optiniame kelyje taip, kad gražinamas impulsas ar impulso dalis, nekertant netiesinės medžiagos (3), būtų nukreipti į netiesinės medžiagos (3) įėjimo galą taip, kad gražintas ir antrą kartą sklindantis impulsas (2) ar impulso dalis (2) persiklotų kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje (3) su pirmą kartą sklindančiu tos pačios poros antru impulsu (1) arba atitinkamai su to paties impulso antra dalimi (1).

10. Šviesos impulsų suminio dažnio generavimo įrenginys pagal 7 punktą, **besiskiriantis tuo**, kad minėta optinė sistema sudaryta iš optinių elementų, apimančių atspindžio veidrodžius (5, 5'), poliarizacijos pasukimo elementą (6'), pasukantį šviesos impulso poliarizaciją 90

laipsnių kampu, poliarizacinį pluošto daliklį (7), esantį priešais netiesinės medžiagos (3) įėjimo galą, ir skirtą sudėti pirmą ir antrą kartą pro kvadratinio jautrio netiesinę medžiagą (3) sklindančius statmenų poliarizacijų šviesos impulsus, bei dichroinį veidrodį (8), esantį priešais kvadratinio jautrio netiesinės medžiagos (3) išėjimo galą, skirtą atskirti apjungtus laike suminio dažnio impulsus (4) nuo praėjusių netiesinę medžiagą (3) šviesos impulsų (4'), minėtos optinės sistemos minėti optiniai elementai išdėstyti gražinamų šviesos impulsų optiniame kelyje taip, kad gražinamas impulsas, atsispindėjęs nuo veidrodžio (5) kirstų netiesinę medžiagą (3) ta pačia trajektorija kaip ir pirmą kartą sklindantis impulsas (1) ar impulso dalis (1) ir atsispindėję nuo kito veidrodžio (5') ir poliarizacinio pluošto daliklio (7), būtų nukreiptas(a) į netiesinės medžiagos (3) įėjimo galą taip, kad gražintas impulsas ar impulso dalis (2) persiklotų kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje (3) su pirmą kartą sklindančiu tos pačios poros antru impulsu (1) arba atitinkamai su to paties impulso antra dalimi.

11. Šviesos impulsų suminio dažnio generavimo įrenginys pagal 7 punktą, **besiskiriantis tuo**, kad minėta optinė sistema apima optinę skaidulą (9) su galuose prijungtais kolimatoriais (10, 10'), kur į skaidulos vieną galą per pirmą kolimatorių (10) patenka kvadratinio jautrio netiesinę medžiagą (3) praėjęs pirmasis poros impulsas (1) arba impulso pirmoji dalis (1), kuris(i) praėjęs(usi) minėtą optinę skaidulą (9) ir antrą kolimatorių (10') gražinamas(a) atgal ir nukreipiamas(a) į netiesinės medžiagos (3) įėjimo galą, o optinės skaidulos ilgis parenkamas toks, kad antrą kartą pro kvadratinio jautrio netiesinę medžiagą (3) sklindantis gražintas poros pirmas impulsas (2) arba impulso pirmoji dalis (2) joje persiklotų su pirmą kartą sklindančiu tos pačios poros antru impulsu (1) arba atitinkamai su to paties impulso antra dalimi (1).

12. Šviesos impulsų suminio dažnio generavimo įrenginys pagal 7 punktą, **besiskiriantis tuo**, kad minėta optinė sistema apima veidrodžius (11) ir (12), suformuotus ant kvadratinio jautrio netiesinės medžiagos (3) atitinkamų išėjimo ir įėjimo galų taip, kad praėjęs netiesinę medžiagą (3) pirmas poros impulsas (1) ar impulso pirma dalis (1) atsispindi nuo veidrodžio (11), suformuoto ant netiesinės medžiagos (3) išėjimo galo, grįžta atgal per netiesinę medžiagą (3) ir atsispindi nuo veidrodžio (12), suformuoto ant įėjimo galo, o atsispindėjęs nuo veidrodžio (12) gražintas ir antrą kartą sklindantis impulsas (2) arba impulso pirmoji dalis persikloja kvadratinio jautrio netiesinėje medžiagoje (3) su pirmą kartą sklindančiu tos pačios poros antru impulsu (1) arba atitinkamai su impulso antra dalimi (1).

13. Šviesos impulsų suminio dažnio generavimo įrenginys pagal bet kurį 7-11 punktą, **besiskiriantis tuo**, kad minėta kvadratinio jautrio netiesinė medžiaga yra dvejopai

laužiantis netiesinis kristas skirtas optinių harmonikų arba suminio dažnio generavimui (pvz. LBO, BBO, LN, KTP, KDP ir t. t.), periodiškai orientuotas netiesinis kristalas (pvz. PPLN, PPLT, PPKTP ir t. t.), netiesinis kristalas su jame suformuotu bangolaidžiu arba bet koks kitas įrenginys kurio kvadratinio jautrio netiesiškumas nelygus nuliui ($\chi^{(2)} \neq 0$).

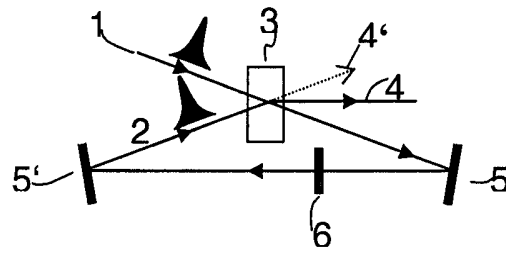


Fig.1

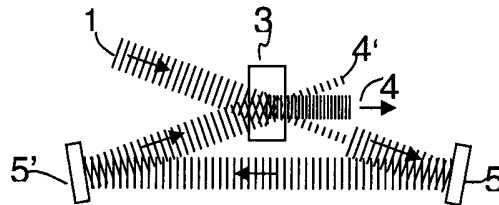


Fig.2

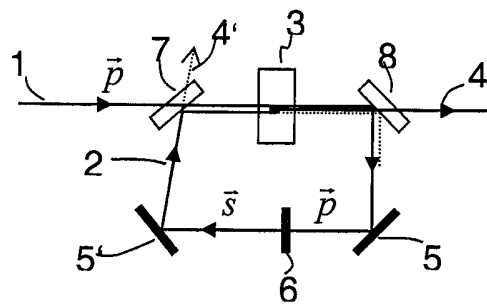


Fig.3

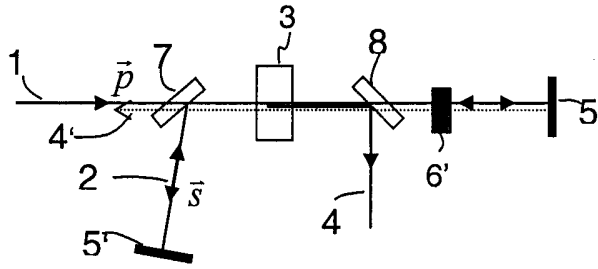


Fig.4

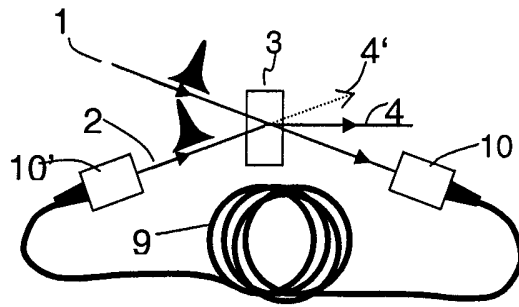


Fig.5

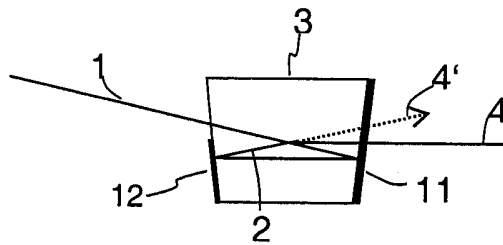
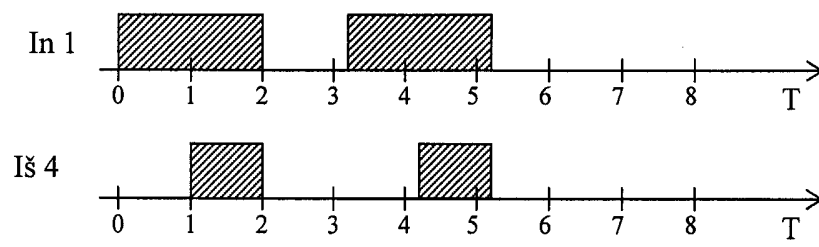
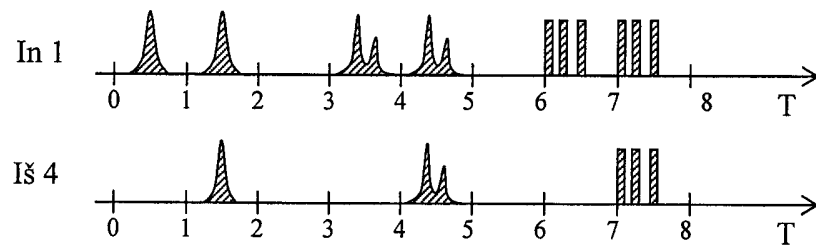


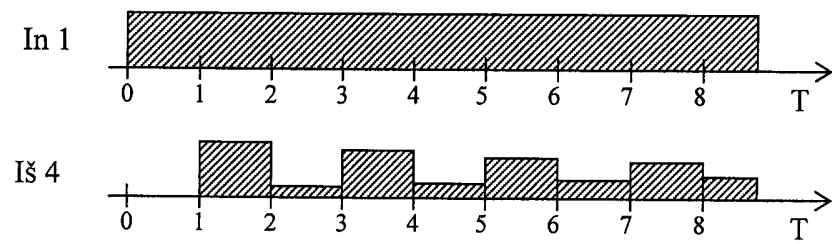
Fig.6



(a)



(b)



(c)

Fig.7

| In 1 | IŠ 4 | IŠ 4' |
|------|------------|------------|
| 0 0 | 0 | 0 |
| 1 0 | 0 | 1 |
| 0 1 | 0 | 1 |
| 1 1 | 1 | 0 |
| | AND | XOR |

Fig.8

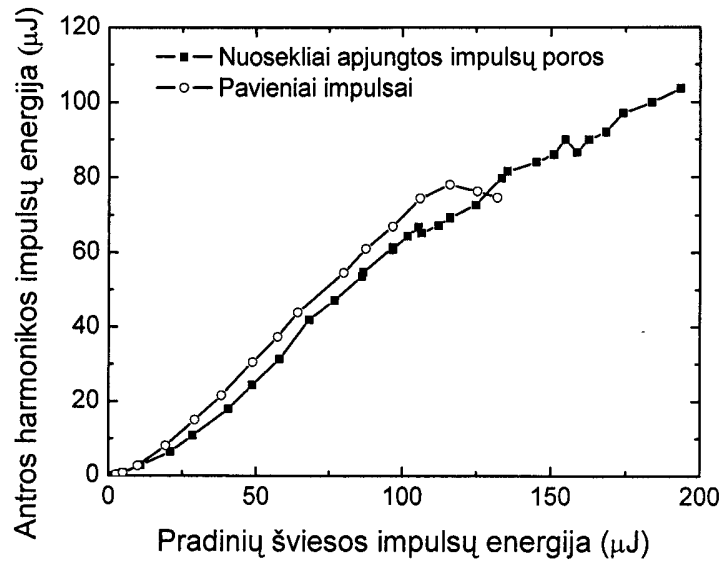


Fig.9

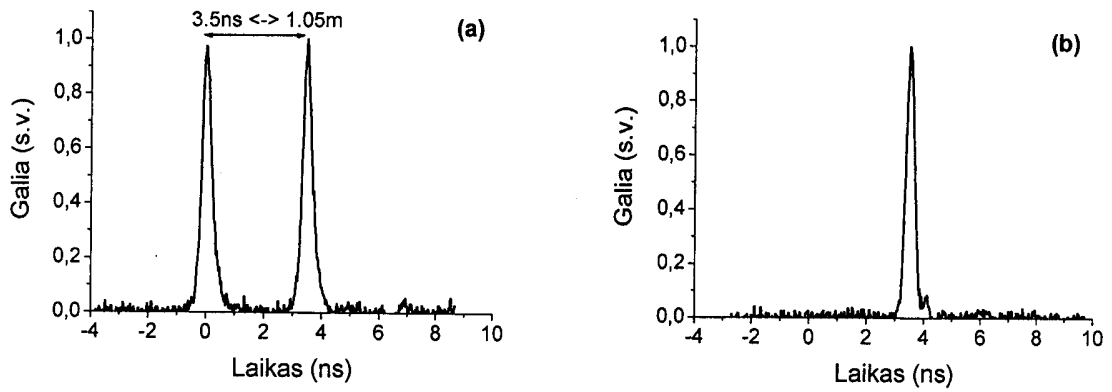


Fig.10

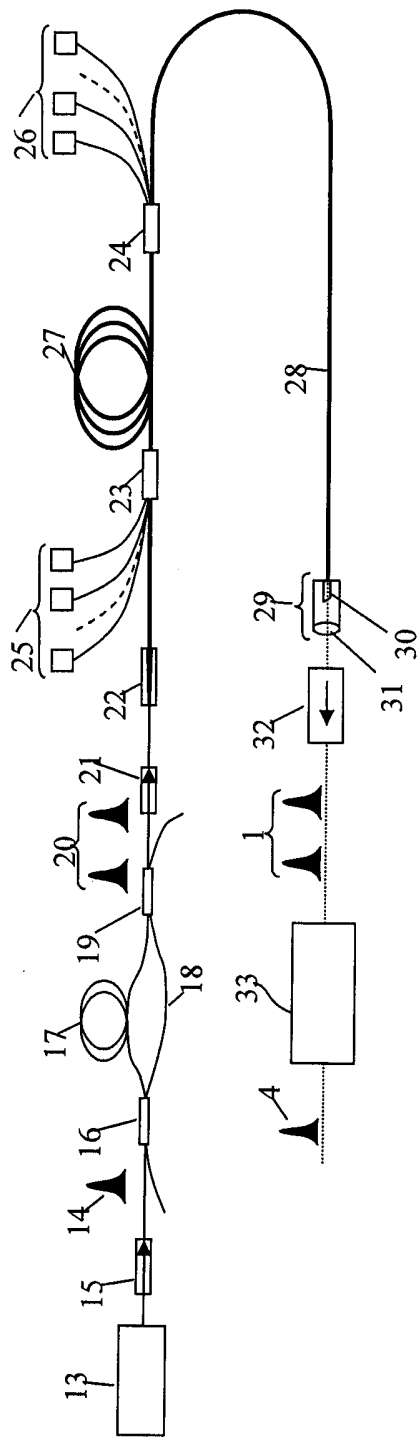


Fig.11

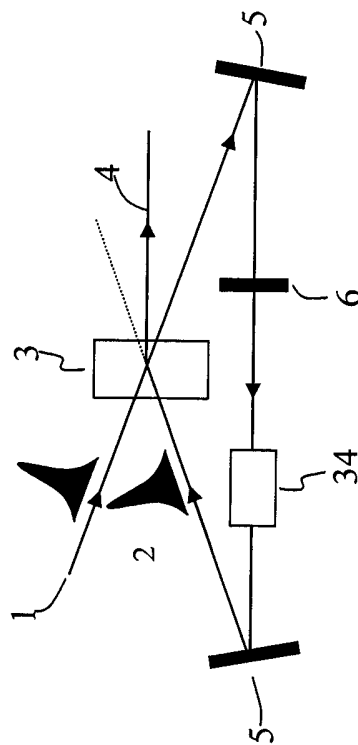


Fig.12