

VILNIAUS UNIVERSITETAS
FIZIKOS FAKULTETAS
KVANTINĖS ELEKTRONIKOS KATEDRA

Marijus Mickus

**Skaidulinių lazerių su Brego gardelių optiniais filtrais
generuojamų impulsų charakteristikų tyrimai**

Pagrindinių studijų baigiamasis darbas

(studijų programa – Modernių technologijų fizika ir vadyba)

Studentas

Marijus Mickus

Darbo vadovas

dr. Kęstutis Regelskis

Recenzentas

prof. habil. dr. Valerijus Smilgevičius

Katedros vedėjas

prof. habil. dr. Valdas Sirutkaitis

Vilnius 2017

Turinys

Įvadas	3
1.1 Šviesolaidis	5
1.2 Fazės moduliavimasis	8
1.3 Skaidulinės Brego gardelės	9
1.4 Autokoreliacija.....	10
2. Eksperimentas	11
2.1 Eksperimento schema bei grandinės parametrai	11
2.2 Eksperimento rezultatai.....	13
2.2.1. Impulsų energijos ir vidutinės galios priklausomybė nuo kaupinimo galios esant fiksuotam skaidulos ilgiui ir skaidulinių Brego gardelių parametrams.	13
2.2.2 Impulsų trukmės matavimai	16
2.2.3 Skaidulos ilgio įtaka impulso energijai ir vidutinei galiai.....	17
2.2.4. Gardelių spektrinio atskyrimo įtaka impulsų energijai	18
Išvados.....	21
Literatūros sąrašas	22
Santrauka.....	23
SUMMARY	24

Ivadas

Skaidulinė optika yra viena iš esminių sričių modernioje optinėje technologijoje. Pirmąjį veikiantį lazerį 1960 m. pademonstravo Teodoroas Maimanas (Theodore Maiman). Šio lazerio kaupinimui buvo naudojama išlydžio lempa, o aktyvioji terpė buvo dirbtinis rubinas [1]. 1961 m. Elijas Snitceris (Elias Snitzer) pagamino ploną optinę skaidulą ir sukūrė pirmąjį šviesolaidinį lazerį [2]. Iš pradžių stiklinės skaidulos pasižymėjo labai dideliais nuostoliais, tačiau vėliau išstobulinus aukšto grynumo kvarcinio stiklo skaidulų gamybos technologiją, jos buvo pradėtos naudoti telekomunikacijai. Nuo to laiko mokslininkai labai stipriai įsitraukė į šviesolaidinių lazerių tyrinėjimus bei jų tobulinimą.

Šių dienų šviesolaidiniuose lazeriuose dažnai kaupinimui yra naudojami puslaidininkiniai lazeriniai diodai, kurių gamybos technologijos yra išstobulintos ir leidžia pasiekti aukštas vidutines galias. Kaupinimo bangos ilgis turi atitikti aktyvios terpės sugerties juostos maksimumą, kuris priklauso nuo legiravimui naudojamų jonų. Šviesolaidinės aktyvios terpės dažniausiai legiruojamos Erbiu, Iterbiu, Tuliu.

Sukūrus patikimus lazerinius šaltinius, iš laboratorijų jie ėmė plisti po įvairias žmonių mokslinės, ūkinės veiklos sritis. Jie tapo įprastu įrankiu atliekant mokslinius tyrimus, karyboje, informacijos apdorojime, medžiagų apdorojime.

Šiais laikais didelis dėmesys yra skiriamas ypač aukštos galios ir ultratrumpus impulsus generuojantiems lazeriniams šaltiniams, kuriems atsiranda vis daugiau taikymų medžiagų apdirbimo pramonėje.

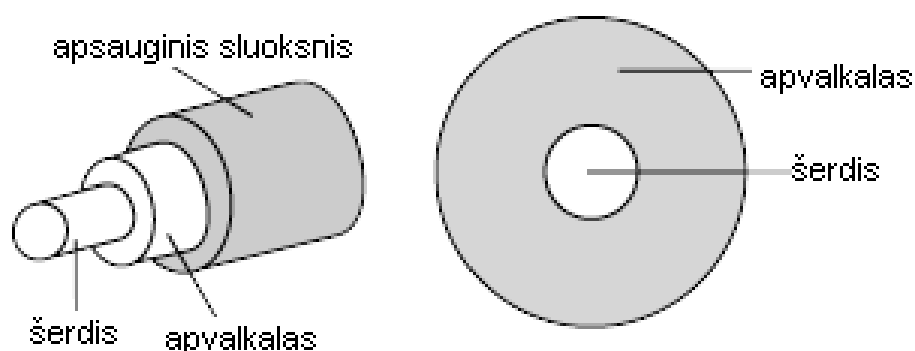
Skaidulinės lazerinės grandinės, kuriose itin trumpų impulsų generavimas yra užtikrinamas pasinaudojant pačios kvarcinio stiklo skaidulos kubiniu netiesiškumu ir papildomu spektriniu filtravimu, yra patraukli ir perspektyvi alternatyva tradiciniams impulsiniams skaiduliniams lazeriams, kuriuose modų sinchronizacijos impulsinė veika yra užtikrinama naudojant įsisotinancius sugėriklius, netiesinę poliarizacijos sukimą ar kitas gerai žinomas priemones. Tam, kad sudaryti impulsus generuojančią grandinę išduodančią reikiamų optimalių parametų impulsus, turi būti iširtos galimos grandinės modifikacijos, grandinės parametų įtaka impulsų generavimo veikai ir pačių impulsų parametrams. Šiame darbe buvo tiriama impulsus generuojanti grandinė su siaurajuostėmis skaidulinėmis Brego gardelėmis naudojamomis filtravimui ir veikianti labai mažos

medžiagos dispersijos įtakos veikioje. Buvo ištirta skaidulos ilgio, filtrų spektrinių juostų pločio ir filtrų spektrinių juostų atskyrimo parametrų įtaka impulsų generacijai ir gaunamų impulsų parametrams.

Literatūros apžvalga

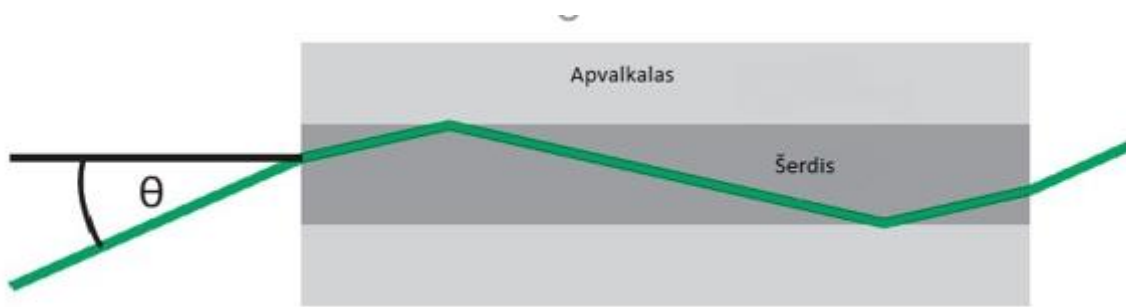
1.1 Šviesolaidis

Šviesolaidžiai – tai cilindriniai dielektriniai bangolaidžiai, kuriuose dėl visiško vidaus atspindžio išilgai ašies gali sklisti šviesa. Šviesolaidis susideda iš šerdies, apvalkalas bei apsauginio sluoksnio (1. pav.).



1 pav. Šviesolaidžio skaidula.

Šerdis turi didesnį lūžio rodiklį nei apvalkalas, kuris dažniausiai yra pagamintas iš kvarcinio stiklo. Šviesos sklaidimas šviesolaidyje nusakomas visiškuoju vidaus atspindžiu nuo šerdies ir apvalkalo sandūros. Spinduliai, į šią sandūrą krintantys kampų patiria visiškąjį vidaus atspindį ir sklinda šviesolaidžiu laužtės pavidalo trajektorija bei gali nukeliauti dešimtis kilometrų (1550 nm bangos ilgio srityje) nestipriai susilpnėdami. Apvalkalas neišlaiko šviesos, patekęs į jį spindulys toliau patenka į apsauginį apvalkalą ir greit virsta šiluma. Apsauginis sluoksnis paprastai apsaugo nuo mechaninių pažeidimų. Dažniausiai naudojamas laiptinio lūžio rodiklio skaidulos, kuriuose lūžio rodiklis yra pastovus visoje skaidulos šerdyje.



2. pav. Spindulio įvedimas į šviesolaidį ir sklaidimas šviesolaidžiu [8].

Sąlyga dėl kurios gali atsirasti visiškas vidaus atspindys ir spindulys sklis šviesolaidžiu:

$$\sin \theta < NA = \sqrt{n_s^2 - n_a^2} \quad (1.1)$$

Čia n_s – šerdės lūžio rodiklis, n_a – apvalkalo lūžio rodiklis, NA – skaitinė apertūra. Ši išraiška parodo didžiausią galimą kampą, remiantis visiškojo atspindžio principu, kuriuo patekęs į šerdį spindulys gali skliti šviesolaidžiu.. Šviesolaidžiu sklindančios ir nesilpstančios elektromagnetinio lauko pasiskirstymo konfigūracijos yra vadinamos modomis [3]. Modas apibūdina normuotasis dažnis :

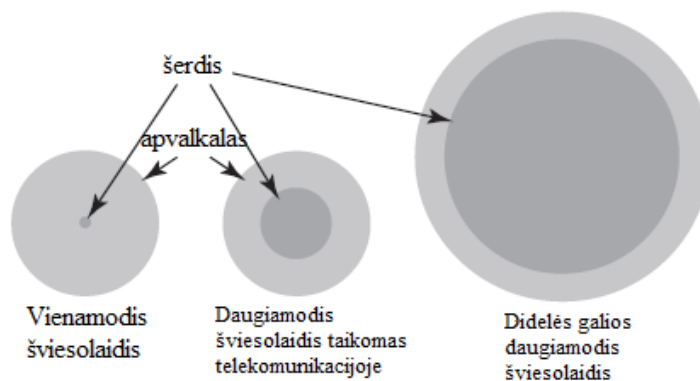
$$V = \frac{a2\pi}{\lambda} NA \quad (1.2)$$

Čia a – šerdies spindulys, λ – darbinis bangos ilgis.

Jeigu skaidulinio šviesolaidžio normuotasis dažnis $V < 2,405$, tai toks šviesolaidis yra vienmodis, kitais atvejais jis bus daugiamodis.

Vienamodžių šviesolaidžių šerdies skersmuo būna nuo 6 iki 10 μm , o dažniausiai naudojami bangos ilgiai yra 1310 nm arba 1550 nm. Vienmodžiai šviesolaidžiai išsiskiria nuo daugiamodžių tuo, kad juose nebūna modų dispersijos bei pasižymi mažu slopinimu (iki 0,2 dB/km), todėl jie yra plačiai naudojami telekomunikacijoje. Tačiau turi ir trūkumų, jų šerdies skersmuo yra žymiai mažesnis nei daugiamodžių šviesolaidžių, todėl yra žymiai sunkiau įvesti šviesos spindulį, kuris taip pat turi būti labai aukštos pluošto kokybės.

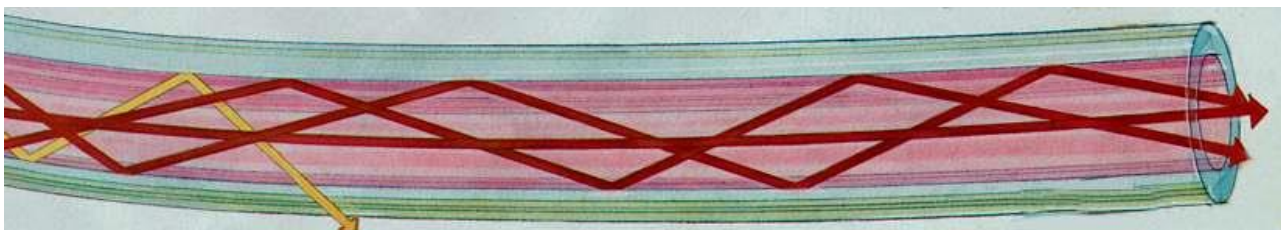
Daugiamodžiai šviesolaidžiai palaiko daugiau negu vieną tinkamos poliarizacijos įvestą modą. Jų šerdies diametras gali siekti nuo 50 μm iki 100 μm , apvalkalo diametras 125 μm (vienamodžių toks pat), o darbinis bangos ilgis ribojamas tik kvarcinio stiklo sugerties . Savybės yra atvirkščios negu vienamodžių skaidulų, nes dėl daugybės modų juose atsiranda modų dispersija. Jie netinkami itin mažos trukmės impulsams perduoti, tačiau spinduliuotės įvedimas į tokius šviesolaidžius yra paprastesnis, lyginant su vienmodėmis skaidulomis.



3 pav. Vienamodžio ir daugiamodžio šviesolaidžio skerspjūviai.

Daugiamodės skaidulos pagal šviesos lūžio kitimą joje yra skirstomos į šviesolaidžius su laiptuotu arba gradientiniu (tolydiniu) lūžio rodiklio pasiskirstymu.

Laiptuotose šviesolaidžiuose lūžio rodiklis yra vienodas visoje šerdyje. Skirtingais kampais krentantys spinduliai nueina skirtingą kelią ir yra nevienodai užvėlinami kas ir lemia modų dispersiją (4. pav.).



4 pav. Laiptuoto lūžio rodiklio šviesolaidis.

Gradientinio lūžio rodiklio šviesolaidžiuose šerdis pasižymi didžiausiu lūžio rodikliu centre, kuris paraboliskai mažėja einant link šerdies kraštų. Tai leidžia suvienodinti skirtingais kampais sklindančių spindulių užvėlinimus ir sumažinti modų dispersiją [4].



5 pav. Gradientinio lūžio rodiklio šviesolaidis.

Taip pat dar yra poliarizaciją išlaikančios skaidulos. Tai yra skaidulos, kurios išsaugo tam tikrą tiesinės poliarizacijos kryptį nepriklausomai nuo temperatūros ar lenkimo poveikio. Norint užtikrinti poliarizacijos išlaikymą gali būti naudojami keli būdai: suformuojama elipsinė šviesolaidžio šerdis, sudaromi papildomi mechaniniai įtempimai (naudojant skirtingo stiklo intarpus arba kitaip dar vadinamas PANDA akis), arba suformuojama speciali fotoninių kristalų struktūra palaikanti tik vienos poliarizacijos šviesą.[3]

1.2 Fazės moduliavimasis

Didelė dalis netiesinių optinių efektų šviesolaidyje atsiranda dėl kubinio netiesiškumo. Vienas ryškiausių šio netiesiškumo apsimaiškimų yra optinis Kerro efektas, kitaip tariant netiesinis lūžio rodiklis. Kero efektas apibūdinamas kaip terpės lūžio rodiklio priklausomybė nuo ja sklindančios šviesos intensyvumo I . Lūžio rodiklį šioje terpėje galime užrašyti taip :

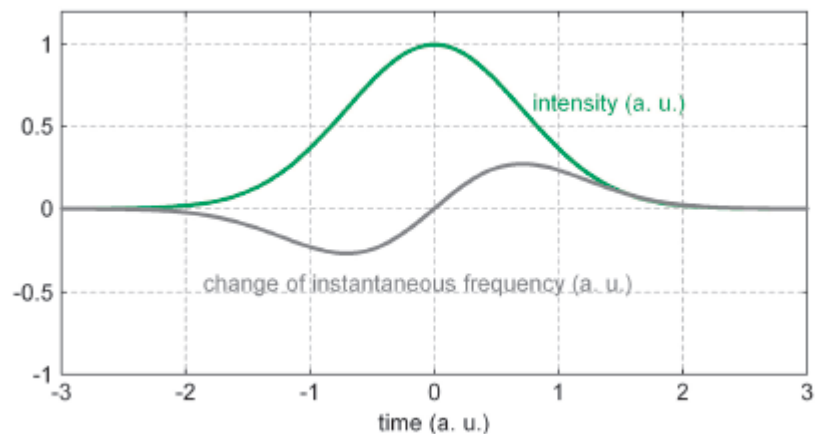
$$n = n_0 + n_1 I \quad (1.3)$$

čia n yra lūžio rodiklis, n_0 – lūžio rodiklis stebimas esant žemiems šviesos intensyvumams, n_1 – medžiagos netiesinis lūžio rodiklis, I – šviesos intensyvumas.

Kvarcinio stiklo netiesiškumo indeksas palyginus su kitais stiklais arba kristalinėmis medžiagomis yra pakankamai mažas $n_1 = 2.7 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$ [3].

Pasekmės gaunamos dėl Kerro efekto šviesolaidyje yra tokios, kad medžiagoje sklindantis šviesos impulsas patiria nuo jo intensyvumo priklausančią fazės postūmį (užvėlinimą) - fazės moduliavimąsi. [3] Fazinis šviesos impulsų moduliavimasis, vykstantis šviesolaidyje, leidžia išplėsti Gausinio impulso spektrą. Pasinaudojant fazės moduliavimusi ir medžiagos dispersija gali būti gaunami labai plataus spektro, plokščios viršūnės impulsai su beveik tiesine dažnio moduliacija (čirpu), kurie gali būti stiprinami stiprintuve ir vėliau suspaudžiami iki labai mažų trukmių [5]. Šiuo būdu įmanoma gauti labai didelės smailinės galios ir itin trumpus šviesos impulsus [5].

Žemiau pateiktame grafike galima pamatyti kaip atrodo tiesinė dažnio moduliacija po fazės moduliavimosi. Taip pat galima pastebėti, jog dažnio pokytis yra didžiausias toje vietoje kur intensyvumas keičiasi greičiausiai.

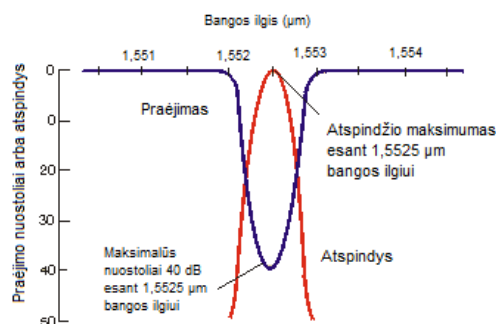


7. pav. Fazės moduliavimosi sukeltas momentinio dažnio pokytis nuo šviesos intensyvumo [3].

1.3 Skaidulinės Brego gardelės

Skaidulos šerdyje interferenciniais būdais gali būti „įrašoma“ periodinė lūžio rodiklio moduliacija – gardelė. Tinkamai parinkus šios gardelės parametrus, (periodą, moduliacijos gylį) gali būti pasiekama, kad gardelėje Brego sąlyga būtų tenkinama tik tam tikro bangos ilgio spinduliutei, kuri būtų atspindima nuo gardelės. Taigi skaidulinės gardelės yra kaip ir filtrų analogai, pasirinktinai praleidžiantys arba atspindintys įvairių bangos ilgių spinduliuotę.

Kaip ir filtruose skaidulinėse gardelėse atspindėtas ir praėjęs šviesos intensyvumas priklausys nuo bangos ilgio. Siaurajuostės gardelės atspindės siaurą o plačiajuostės gardelės platesnę bangos ilgių juostą. Pramoninių Brego gardelių juostų plotis kinta nuo keleto iki kelių nanometrų. Be to maksimalus gardelių atspindys gali būti keičiamas keičiant jos lūžio rodiklio moduliaciją arba periodą [7].



8 pav. Atspindžio ir praėjimo spektrai skaidulinėse Brego gardelėse.

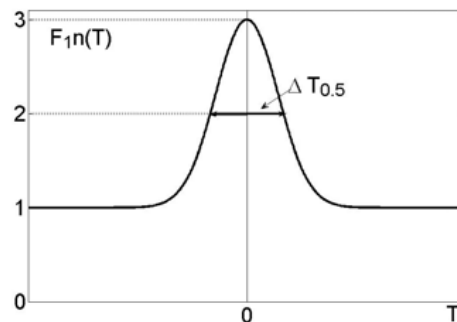
1.4 Autokoreliacija

Norint išmatuoti optinį impulsą reikia labai greito prietaiso, kuris galėtų tą impulsą aptikti naudojant tiesioginius optoelektroninius detekcijos priemones ir metodus. Atsiradus ultratrumpiems impulsams (pikosekundžių ir mažesnės trukmės) tokie metodai nebetiko, todėl buvo sukurti netiesioginiai impulsų matavimai būdai paremti koreliaciniais metodais. Šie metodai gali būti taikomi ir turint lėta detektorius t.y. kai jo atsako trukmė žymiai didesnė nei matuojamo impulso.

Paprastai impulsai charakterizuojami išmatuojant jų trukmę pusės intensyvumo maksimumo aukštyje. Apytiksliai žinant impulsų formą, impulsų trukmę gali būti suskaičiuota iš išmatuotos autokoreliacinės funkcijos pločio (9 pav.), pritaikius tam tikrą daugiklį. Gauso formos impulsams impulsų trukmė su autokoreliacinės funkcijos trukme yra susiję tokiu sąryšiu:

$$\tau_{0,5} = \Delta T_{0,5} / \sqrt{2} \quad (1.4)$$

Čia $\Delta T_{0,5}$ - pusės maksimalaus intensyvumo autokoreliacinės funkcijos plotis, o $\tau_{0,5}$ - impulso trukmė pusės didžiausio intensyvumo aukštyje kitaip dar vadinama FWHM trukme.[6]

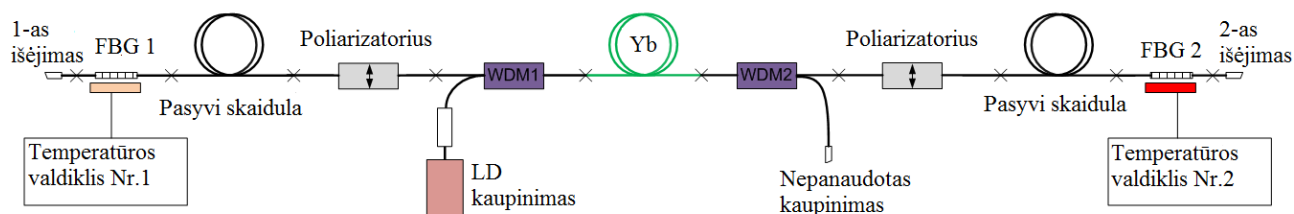


9 pav. Impulso intensyvumo autokoreliacinė funkcija.

2. Eksperimentas

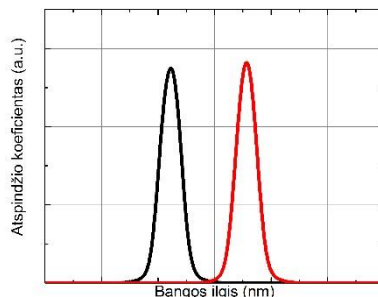
2.1 Eksperimento schema bei grandinės parametrai

Eksperimentinė schema susideda iš legiruotos Iterbiu vienamodės poliarizaciją išlaikančios aktyvios skaidulos, kuri yra kaupinama 975 nm lazerinio diodo. Kaupinimas patenka į aktyvią skaidulą per WDM daliklį, į kurią patenkanti kaupinimo šviesa sužadina iterbio jonus. Nepanaudotas kaupinimas išeina per antrąjį WDM daliklį, o generuojama spinduliuotė turi praeiti pro poliarizatorių, kuris praleidžia tik tiesinę poliarizaciją. Toliau spinduliuotė praeina pasyvią skaidulą (šios skaidulos ilgis eksperimento eigoje buvo keičiamas iš 100 m į 40 m, 20 m bei 10 m) ir tada pasiekia skaidulinę Brego gardelę. Siaurajuostės Brego gardelės šitoje sistemoje yra naudojamos kaip filtrai, kurie yra įmontuoti į du atskirus elektroniškai kontroliuojamus varžinius šildytuvus (prie abiejų išėjimų) šitaip suteikiant galimybę keisti gardelių atspindžio juostų centrinius bangos ilgius ir tarpusavį spektrinį atskyrimą. Šių filtrų atspindžio juostų plotis iš pradžių buvo $\Delta\lambda=0.08$ nm. Vėliau buvo naudojamos $\Delta\lambda=0.04$ nm pločio gardelės, kurių atspindžio koeficientas irgi siekė 50 %. Derinant siaurajuosčių skaidulinių Brego gardelių temperatūrą yra pasiekiamos tinkamos impulsų generavimo sąlygos. Taip pat sistemos galuose yra privirinti 1-as ir 2-as išėjimai (kampu nušlifotos optinės jungtys), per kuriuos galime stebėti susigeneravusius impulsus bei jų spektrą (10 pav.).



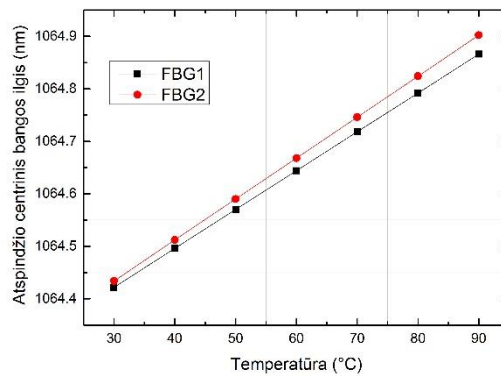
10 pav. Impulsų generatoriaus eksperimentinė schema

Žemiau pateiktame grafike yra atvaizduoti filtrų atspindžio, pirmosios skaidulinės Brego gardelės (FBG 1) ir antrosios skaidulinės Brego gardelės (FBG 2), juostos prie tam tikrų temperatūrų (11 pav.).



11 pav. Gardelių atspindžio spektrinės juostos.

Sustiprinti šviesos impulsai aktyvioje skaiduloje (legiruotoje Iterbiu) išplečiami optinėje skaiduloje. Į antrąją skaidulinę Brego gardelę patekę šviesos impulsai dalinai yra atspindimi ir grįžta atgal, o neatspindėta impulsų spektro dalis išeina pro antrąją kampu nušlifotą optinę jungtį. Spektriškai atspindėję šviesos impulsai toliau sklinda pro optinę skaidulą ir legiruotoje skaiduloje vėl yra sustiprinami. Sustiprinti impulsai vėl išplečiami kitoje pasyvioje skaiduloje, patenka į pirmąją gardelę, tam tikra dalis šviesos impulsų spektro atspindima, kita dalis praeina ir išeina pro 1-ą išėjimą. Sugrįžtantys impulsai pro pasyvią skaidulą patenka į aktyviąją skaidulą taip vėl sustiprinami ir šis ciklas neperstojant kartojasi. Keičiant gardelių temperatūrą stengiamasi aptikti tokią sritį, kurioje gardelių atspindžio spektrai persiklotų tiek, kad dar truputi paderinus kaupinimo galią būtų galima gauti savaime susigeneravusius impulsus nepanaudojant jokių išorinių šaltinių ar įsisotinančių sugėriklių schemeje. Su $\Delta\lambda=0.04$ nm pločio siaurajuostėmis Brego gardelėmis prie mažesnių pasyvios skaidulos ilgių nei 100 m reikėdavo truputi susukti atrojo išėjimo skaidulą ir tokiu būdu įnešti mechaninį įtempimą norint gauti stabilius savaime susigeneruojančius impulsus. Tuo tarpu naudojant $\Delta\lambda=0.08$ nm juostos pločio Brego gardeles to daryti nereikėjo. Derinant temperatūrą, siaurajuosčių skaidulinų Brego gardelių centrinis bangos ilgis gali būti paslenkamas į ilgujų arba trumpųjų bangų pusę (12 pav.).

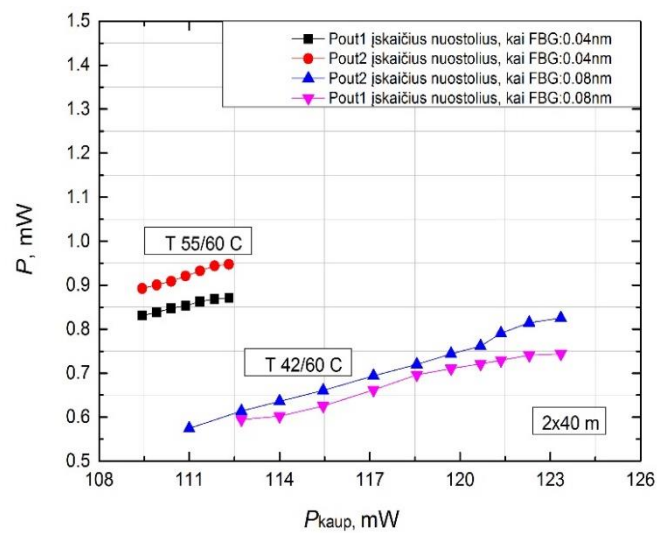
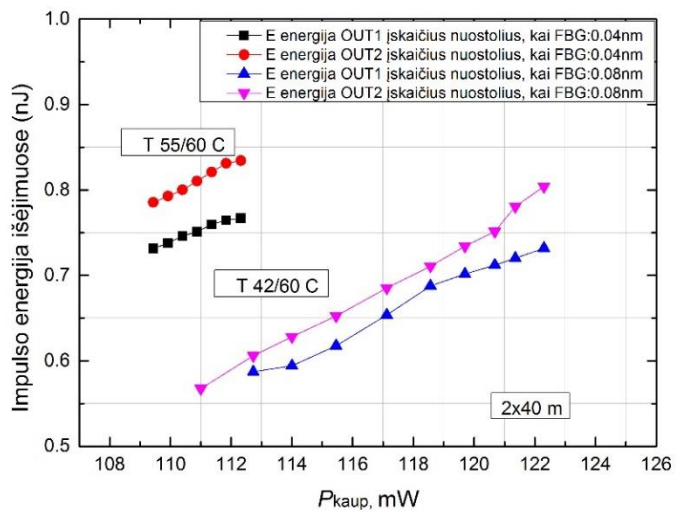


12 pav. $\Delta\lambda=0.04$ nm pločio gardelių centrinio bangos ilgio priklausomybė nuo temperatūros .

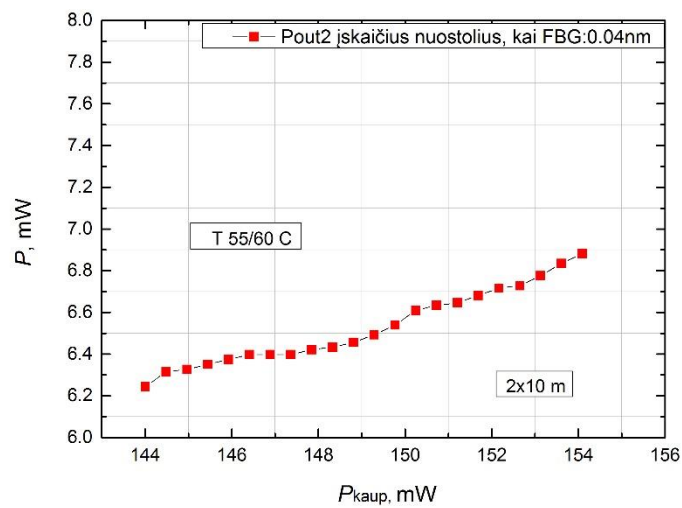
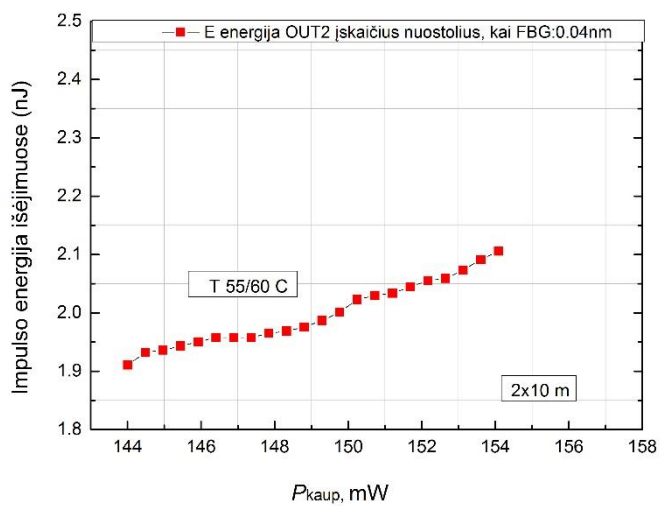
2.2 Eksperimento rezultatai

2.2.1. Impulsų energijos ir vidutinės galios priklausomybė nuo kaupinimo galios esant fiksuotam skaidulos ilgiui ir skaidulinių Brego gardelių parametrams.

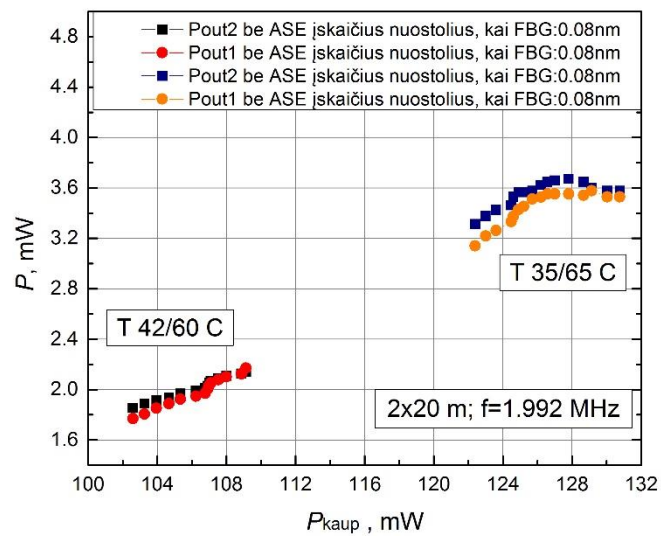
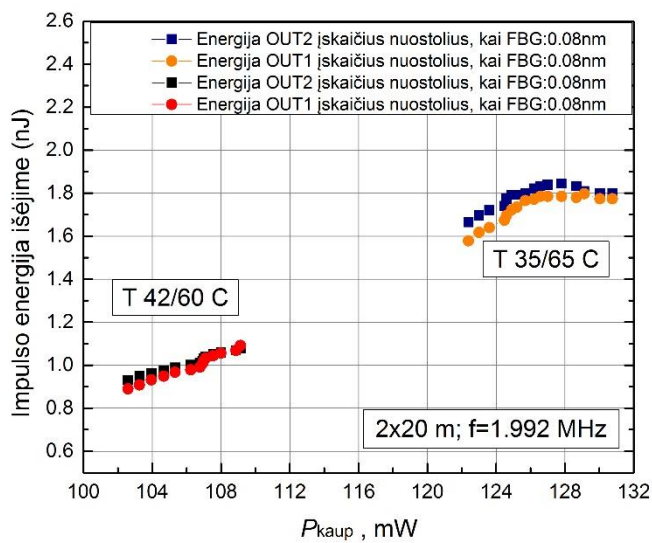
Išmatavus impulsų energiją bei vidutinę galią buvo pastebėta, jog prie didesnės kaupinimo galios buvo pasiekiamos didesnė generuojamų impulsų energija ir vidutinė galia. Kaupinimo derinimo intervalas, kai generacija nedingdavo, buvo pakankamai siauras, o filtrų juostų atskyrimas šioje grandinėje buvo keičiamas tik po to, kai buvo pasiektas savaiminis generacijos susižadinimas esant pradiniam filtrų juostų atskyrimui. Prie 2x40 m ir 2x10 m pasyvios skaidulos ilgio, su siauresnio pločio gardelėmis, buvo atlikti matavimai tik prie spektrinio juostų atskyrimo atitinkančio generacijos susižadinimo sąlygas (temperatūrų skirtumas 5 °C). Iš grafiko atitinkančio pasyvios skaidulos ilgi 2x40 m (13 pav., a)) matyti, kad naudojant siauresnio juostos pločio spektrinius filtrus ($\Delta\lambda=0.04$ nm) yra pasiekama didesnė generuojamų impulsų energija ir vidutinė galia, negu naudojant platesnio juostos pločio filtrus ($\Delta\lambda=0.08$ nm). Pakeitus pasyvios skaidulos ilgį į 2x10m nebuvo įmanoma gauti savaiminio generacijos susižadinimo, kai buvo naudojamos platesnio juostos pločio gardelės ($\Delta\lambda=0.08$ nm), tačiau su siauresnėmis gardelėmis susižadinimą pasiekti pavyko. Esant 2x10 m pasyvios skaidulos ilgiui ir $\Delta\lambda=0.04$ nm juostos pločio gardelėms (13pav., b)), stabili impulsų generacija buvo pasiekama prie didesnio kaupinimo negu kitų konfigūracijų atvejais. Šioje konfigūracijoje buvo generuojami didžiausios energijos (ir vidutinės galios) impulsai lyginant su kitomis konfigūracijomis, taigi aukštesnis poreikis kaupinimui atrodo pagrįstas.



a)



b)

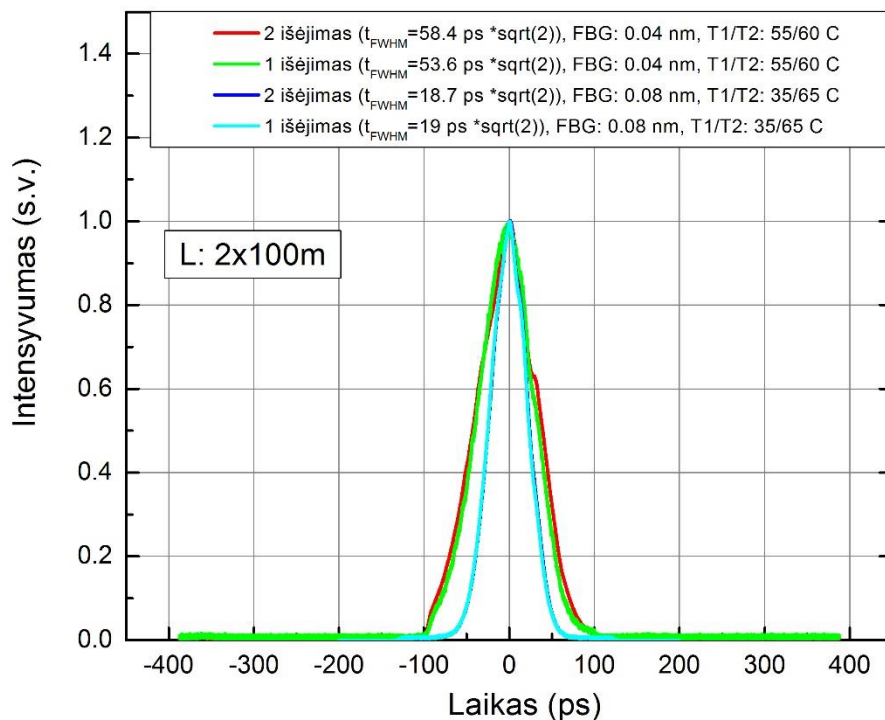


c)

13 pav. Impulsų energijos ir vidutinės galios priklausomybė nuo kaupinimo galios esant fiksuotam pasyvios skaidulos ilgiui ((a) 2x40 m ir b) 2x10 m, c) 2x20 m), be ASE bei įskaičius nuostolius dėl atspindžių nuo šviesolaidžio galo.

2.2.2 Impulsų trukmės matavimai

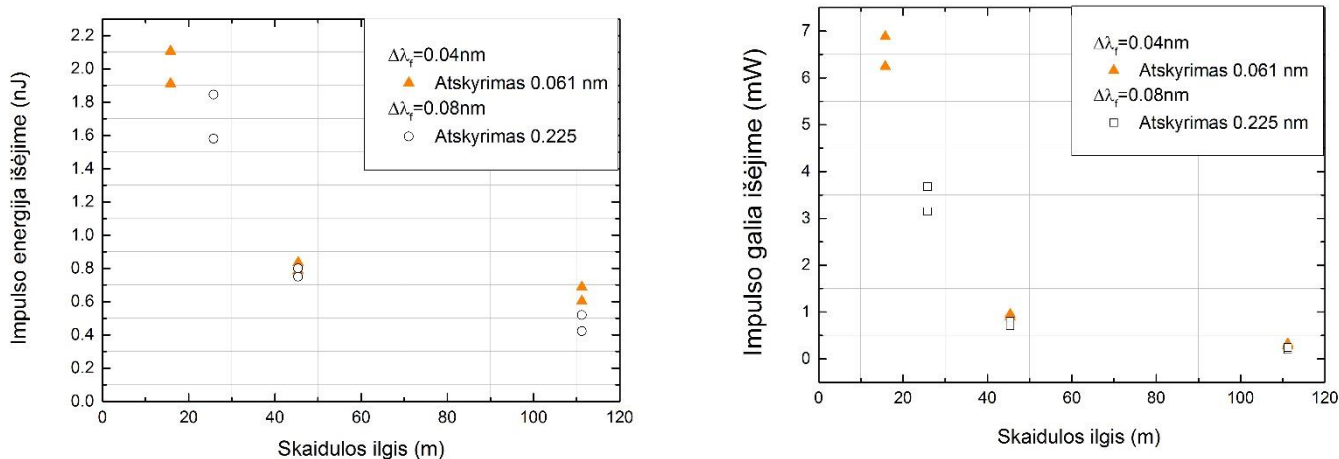
Naudojant autokoreliatorių FR-103XL buvo išmatuota generuojamų impulsų autokoreliacijos funkciją iš abiejų išėjimų esant pasyvios skaidulos ilgiui 2x100 m bei skaidulinių Brego gardelių fiksuotoms temperatūroms. Gardelėms, kurių juostos plotis yra 0,08 nm darbinės temperatūros buvo $T_1 = 35^\circ\text{C}$, $T_2 = 65^\circ\text{C}$, o naudojant 0,04 nm pločio gardeles darbinės temperatūros buvo $T_1 = 55^\circ\text{C}$, $T_2 = 60^\circ\text{C}$. Buvo nustatyta, jog ilgesnė impulso trukmė yra gaunama naudojant siauresnio juostos pločio Brego gardeles (0,04 nm): $\tau_{0,5} = 53.4$ ps pirmame išėjime, $\tau_{0,5} = 58.4$ ps antrame išėjime. Naudojant 0.08 nm juostos pločio gardeles impulso trukmė buvo: pirmajame išėjime $\tau_{0,5} = 19$ ps, o antrajame $\tau_{0,5} = 18.7$ ps (13 pav.). Taigi impulsų trukmės skiriasi ~3 kartus, nors gardelių juostų pločių santykis yra 2. Papildomai buvo nustatyta, kad generuojamų impulsų trukmė praktiškai nepriklauso nuo kitų grandinės modifikacijų.



14 pav. Impulsų generatoriaus generuojamų impulsų skirtinguose išėjimuose autokoreliacinės funkcijos.

2.2.3 Skaidulos ilgio įtaka impulso energijai ir vidutinei galiai.

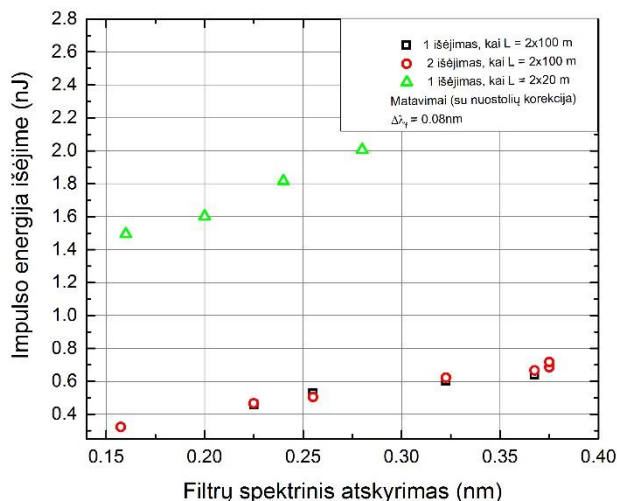
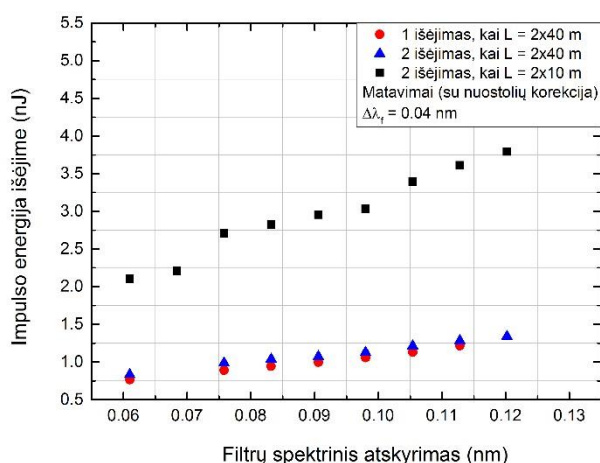
Apdorojus duomenis ir nustačius vienodą skaidulinių Brego gardelių atskyrimą ir esant skirtingiems skaidulos ilgiams galime pamatyti kaip keičiasi impulsų energija bei vidutinė galia, kai skaidulos ilgiai yra skirtingi (15 pav.). Gauti taškai su abiem filtrais atitinka tam tikrą atvirkštinį proporcingumą nuo skaidulos ilgio. Prie testuoto mažiausio skaidulos ilgio yra gaunama didžiausia impulsų energija. Ir nors atrodytų, jog tiesiog reikėtų sumažinti pasyvios skaidulos ilgį ir galėtume priartėti prie didžiausio vidutinės galios bei energijos impulsų generatoriuje, tačiau tai nėra lengva padaryti, nes mažinant skaidulos ilgį buvo susidurta su sunkesniu generacijos susižadinimu (sunkesniu impulsų susigeneravimu) su $\Delta\lambda=0.08$ nm juostos pločio gardelėmis. Su mažesnio juostos pločio gardele pasyvios skaidulos ilgis generacijos susižadinimui didelės įtakos netūrėjo, tiesiog turėjo būti didinama kaupinimo galia mažinant schemos skaidulos ilgį.



15 pav. Impulso energijos ir galios priklausomybė nuo skaidulos ilgio.

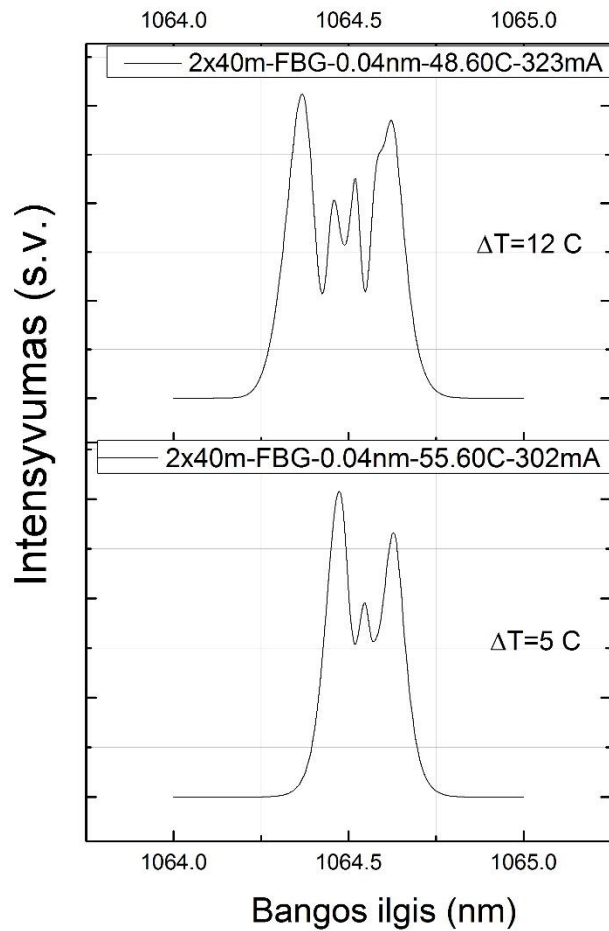
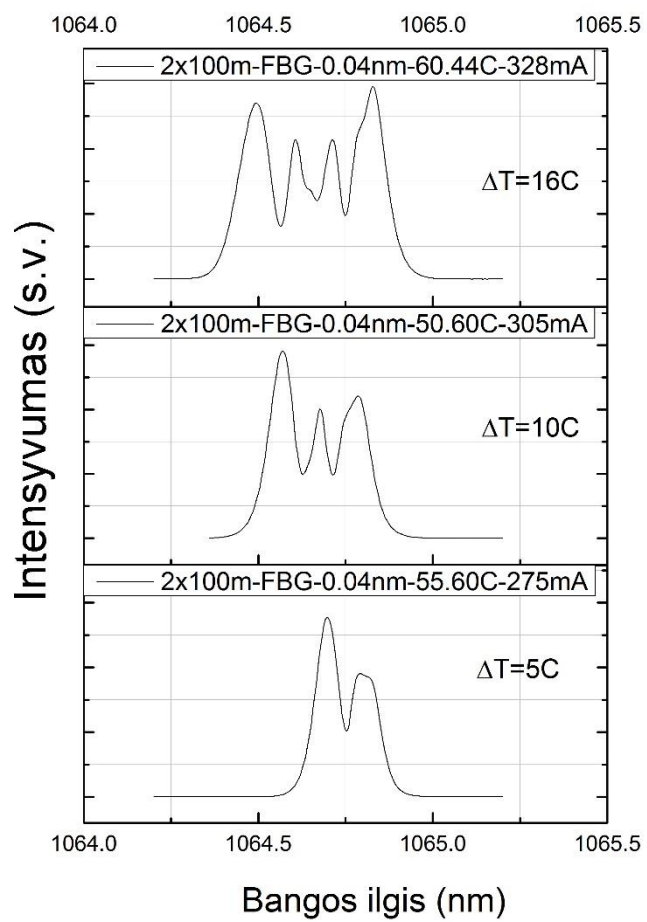
2.2.4. Gardelių spektrinio atskyrimo įtaka impulsų energijai

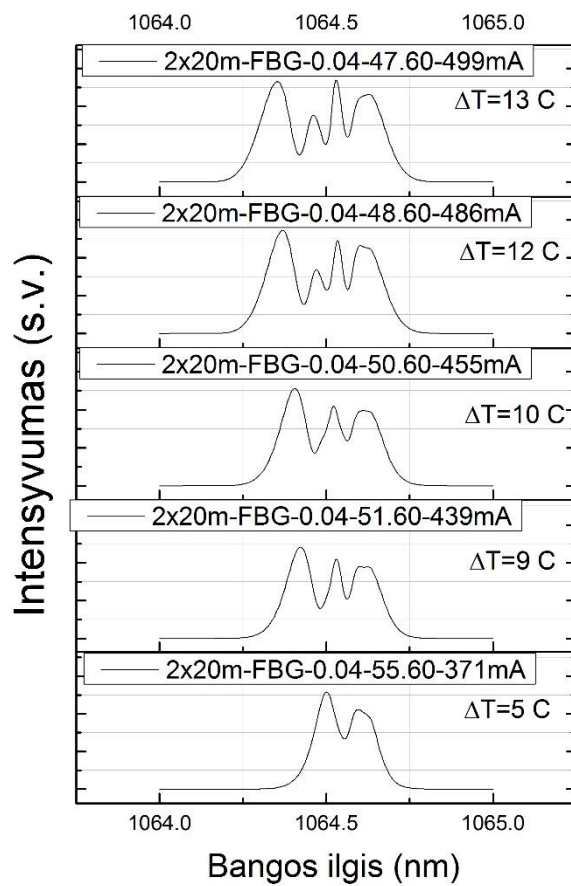
Atlikus impulsų energijos priklausomybės nuo filtrų spektrinio atskyrimo matavimus, buvo nustatyta, kad didėjant spektriniam atskyrimui impulsų energija išėjime beveik proporcingai didėja tiek siauresnio, tiek platesnio juostos pločio gardelėms. (15 pav.). Didžiausias santykinis atskyrimas (sunormavus į filtro juostos plotį) buvo pasiektas naudojant $\Delta\lambda=0.08$ nm juostos pločio gardeles – 4,7. Naudojant siauresnio juostos pločio gardeles ($\Delta\lambda=0.04$ nm) nepavyko išlaikyti generacijos kai santykinis atskyrimas buvo >3 . Kadangi šios gardelės pasižymi siauresniu juostos pločiu, tai reikalingas temperatūros skirtumas tam pačiam santykiniam atskyrimui pasiekti irgi yra proporcingai mažesnis.



16 pav. Impulsų energijos priklausomybė nuo spektrinio atskyrimo.

Didinant skaidulinių Brego gardelių atskyrimą kaupinimo galia taip pat turi būti derinama (didinama) tam, kad impulsų generacija nedingtų. Kaip ir buvo tikėtasi, didinant filtrų atskyrimą, generuojamų impulsų spektras irgi plito taip, kad spektrų kraštinės smailės atitiktų filtrų atspindžio juostas (17 pav.). Didesniam spektro išplitimui buvo reikalingi didesnės smailinės galios (ir tuo pačiu energijos) impulsai ir tai paaiškina kodėl didinant spektrinį atskyrimą impulsų energija didėjo.





17 pav. Spektrų išplitimas 2 išėjime prie skirtingų spektrinio atskyrimo parametrų, naudojant $\Delta\lambda=0.04$ nm juostos pločio gardeles.

Išvados

Taigi gauti rezultatai parodo, kad generuojamų impulsų energija gali būti valdoma keičiant generatoriaus grandinės skaidulos ilgį, spektrinių filtrų atskyrimą ir nedideliame intervale – keičiant kaupinimą. Gaunamų impulsų spektro plotis gali būti keičiamas modifikuojant spektrinių filtrų atskyrimą, o impulsų trukmė – filtrų juostos plotį

Ištyrus impulsų generatoriaus grandinę, kurios veikimas remiasi fazės moduliavimusi skaiduloje ir dvigubu spektriniu filtravimu naudojant siaurajuosčius filtrus, buvo nustatyti tokie dėsningumai:

1. Impulsų trukmė mažėja didėjant filtrų juostos pločiui. Generuojamų impulsų trukmė priklauso tik nuo filtrų juostos pločio, kadangi buvo nustatyta, jog generuojamų impulsų trukmė praktiškai nepriklauso nuo kitų grandinės modifikacijų.
2. Esant fiksuotam skaidulos ilgiui bei filtrų juostų spektriniam atskyrimui, generuojamų impulsų energija didėja mažėjant filtrų juostos pločiui.
3. Nepriklausomai nuo filtrų pločio mažinant grandinės skaidulos ilgį, generuojamų impulsų energija (ir vidutinė galia) didėja .
4. Gaunant didesnį filtrų spektrinių juostų atskyrimą impulsų energija didėja, kadangi generuojamų impulsų spektrai išplito.

Literatūros sąrašas

- [1] T. H. Maiman, "Stimulated Optical Radiation in Ruby," *Nature* 187, 493–494 (1960).
- [2] E. Snitzer, "Optical Maser Action of Nd³⁺ in a Barium Crown Glass," *Phys. Rev. Lett.* 7, 444–446 (1961).
- [3] R. Paschotta, *Field Guide to Optical Fiber Technology*, (Bellingham, Washington, 2010).
- [4] ARC Electronics, *Fiber Optic Cable Tutorial*, (2007).
- [5] D. Strickland, G. Mourou, *Compression of amplified chirped optical pulses*, Vol.56, 219, (1985).
- [6] A. P. Stabinis, G. Valiulis, *Ultratrumpųjų šviesos impulsų netiesinė optika*, (Vilnius, 2008).
- [7] R. Kashyap, *Fiber Bragg Gratings*, (Burlington, MA, 2010).
- [8] D. Gloge, *Weakly guiding fibers*, *Appl. Opt.* (1971).

Santrauka

Šiame darbe buvo eksperimentiškai tiriama impulsus generuojanti grandinė su iterbiu legiruota skaidula ir siaurajuostėmis skaidulinėmis Brego gardelėmis naudojamomis filtravimui.

Buvo ištirta skaidulos ilgio, filtrų spektrinių juostų pločio ir filtrų spektrinių juostų atskyrimo parametrų įtaka impulsų generacijai ir gaunamų impulsų parametrams.

Ištyrus impulsų generatoriaus grandinę buvo nustatyta, kad generuojamų impulsų energija didėja mažėjant filtrų juostos pločiui, kai fiksuotas skaidulos ilgis ir filtrų juostų spektrinis atskyrimas. Generuojamų impulsų trukmė mažėja didėjant filtrų juostų pločiui. Eksperimentinės grandinės skaidulos ilgi mažinant, generuojamų impulsų energija ir vidutinė galia didėja nepriklausomai nuo filtrų pločio. Generuojamų impulsų energija didėja, o spektrai plėtėja didinant filtrų spektrinių juostų atskyrimą.

Characterization of generated pulse Yb-doped fiber laser with Bragg grating optical filters

SUMMARY

In this work was investigated ultrashort pulse Yb-doped fiber generator based on self-phase modulation and alternating spectral filtering. Influence of fiber length, filter spectral band width and filter spectral band separation parameters on the pulse generation and on the received pulse parameters were investigated. It was found that generated pulse energy increases with decreasing filter band width when the fiber generator's spectral separation of filter bands and length are fixed. Generated pulse duration decreases with increasing filter bandwidth. When filter band width was increasing, the duration of pulse decreases. Also, it was discovered that reducing the fiber length of circuit leads to increased pulse energy and mean power, despite the filter width. When increasing filter band spectral separation it was found that generated pulse spectra becomes wider and pulse energy increases.