

ՀՀ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ  
ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

Արգարյան Գևորգ Կամոյի

ՏԵՐԱՀԵՐՑԱՅԻՆ ՃԱՌԱԳԱՅԹՄԱՆ ԳԵՆԵՐԱՅՈՒՄԸ ՕՊՏԻԿԱԿԱՆ  
ԴԻՄԱԿՆԵՐՈՎ ԼՐԱՅՎԱԾ ԼԻԹԻՈՒՄԻ ՆԻՌՔԱԹ ԲՅՈՒՐԵՂՈՒՄ

Ա.04.03 - Ռադիոֆիզիկա մասնագիտությամբ  
ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի  
գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության  
ՍԵՂՄԱԳԻՐ

Երևան 2016

---

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РА  
ЕРЕВАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Абгарян Геворг Камоевич

ГЕНЕРАЦИЯ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В КРИСТАЛЛЕ НИОБАТА ЛИТИЯ  
ДОПОЛНЕННОМ ОПТИЧЕСКОЙ МАСКОЙ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата  
физико-математических наук по специальности

01.04.03 - „Радиофизика, „

ЕРЕВАН – 2016

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Երևանի պետական համալսարանում:

Գիտական ղեկավար՝ Ֆ.մ.գ.դ., պրոֆեսոր  
Յու.Հ. Ավետիսյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ Ֆ.մ.գ.դ., պրոֆեսոր  
Ռ.Բ. Ալավերդյան  
Ֆ.մ.գ.դ., պրոֆեսոր  
Է.Դ. Գազազյան

Առաջատար կազմակերպություն՝ ՀՀ ԳԱԱ Ռադիոֆիզիկայի և էլեկտրոնիկայի  
ինստիտուտ

Պաշտպանությունը կայանալու է 2016թ. մայիսի 14-ին ժամը 12:00-ին  
Երևանի պետական համալսարանի 049 ֆիզիկայի մասնագիտական խորհրդի  
նիստում: Հասցե՝ 0025, Երևան, Ա. Մանուկյան 1:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ԵՊՀ գրադարանում:

Սեղմագիրն առաքված է 2016թ. ապրիլի 13-ին:

Մասնագիտական խորհրդի  
գիտական քարտուղար՝



Ֆ.մ.գ.թ., դոցենտ  
Վ.Պ. Քալանթարյան

---

Тема диссертации утверждена в Ереванском государственном университете.

Научный руководитель: д.ф.м.н., профессор  
Ю.О. Аветисян

Официальные оппоненты: д.ф.м.н., профессор  
Р.Б. Алавердян  
д.ф.м.н., профессор  
Э.Д. Газазян

Ведущая организация: Институт радиофизики и электроники НАН РА

Защита диссертации состоится 14 мая 2016г. в 12:00 часов,  
на заседании специализированного совета 049 по физике Ереванского  
государственного университета по адресу: 0025, Ереван, ул. А. Манукяна 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕГУ.

Автореферат разослан 13 апреля 2016г.

Ученый секретарь  
специализированного совета:



к.ф.м.н., доцент  
В.П. Калантарян

## ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ԲՆՈՒԹԱԳԻՐԸ

### Աշխատանքի արդիականությունը

Էլեկտրամագնիսական ալիքների տերահերցային (ՏՀg) տիրույթի (0.1 – 10 ՏՀg) կիրառման ոլորտները բավական բազմազան են՝ անվտանգության համակարգեր, մոլեկուլյար սպեկտրոսկոպիա, թաքնված առարկաների տեսապատկերների ստացում, հիվանդությունների ախտորոշում և այլն [1]: Սակայն ներկայումս առկա ՏՀg գեներատորները դեռևս օժտված չեն լայն դասի կիրառական խնդիրների լուծման համար անհրաժեշտ բնութագրերով (ելքային հզորություն, սպեկտրալ շերտի լայնություն և այլն), իսկ կիրառման համար պիտանի աղբյուրները բավական դժվարմատչելի են: Սա խթանում է ՏՀg աղբյուրների զարգացմանը նվիրված հետազոտությունների ակտիվացմանը, և կոմպակտ, արդյունավետ նոր աղբյուրների ստեղծմանը:

Վերջին տասնամյակներում մշակվել են ՏՀg ճառագայթման գեներացման մի շարք օպտիկական մեթոդներ [2], որոնք պայմանավորված են լազերային տեխնոլոգիաների բուռն զարգացմամբ:

Լայնաշերտ ՏՀg ճառագայթում ստանալու անհրաժեշտության դեպքում հիմնականում օգտագործվում է ֆեմտովայրկյանային լազերային իմպուլսի օպտիկական ուղղումը (ՕՈԻ) ոչ գծային բյուրեղում [3]: Այս երևույթը, ըստ էության, տարբերային հաճախության գեներացումն (ՏՀԳ) է օպտիկական իմպուլսի սպեկտրալ բաղադրիչների միջև: ՕՈԻ-ի մեթոդի առավելությունն այն է, որ օգտագործվում է մեկ լազեր, ի տարբերություն ՏՀԳ-ի, որտեղ անհրաժեշտ է ունենալ ոչ գծային բյուրեղում կատարյալ ձևով վերադրվող (ըստ ժամանակի և տարածության) երկու լազերային իմպուլսներ:

Օպտիկայից ՏՀg հաճախության փոխակերպման արդյունավետությունը մեծացնելու նպատակով վերջերս առաջարկվել է օգտագործել պարբերական բևեռացված (ոչ գծային ընկալունակության նշանի պարբերական փոփոխմամբ) լիթումի նիոբատ (ՊԲԼՆ) բյուրեղը [4]: Սակայն փոխակերպման արդյունավե-

տությամբ դեռևս փոքր է, ինչը հիմնականում պայմանավորված է S<math>C</math> տիրույթում ոչ գծային բյուրեղների մեծ կլանմամբ (այսպես օրինակ, լայնորեն տարածված  $\text{LiNbO}_3$  բյուրեղի կլանման գործակիցը հաճախությունների  $f > 1$  S<math>C</math> տիրույթում  $\alpha > 15$  սմ<sup>-1</sup>): Այս դժվարությունը հաղթահարելու համար առաջարկվել է իրականացնել այնպիսի կոնֆիգուրացիա, որը ՊԲԼՆ բյուրեղի պարբերության համապատասխան ընտրությամբ կապահովի S<math>C</math> ճառագայթում օպտիկական ալիքների տարածմանն ուղղահայաց ուղղությամբ [5]: Կենտրոնացնելով օպտիկական փունջը բյուրեղի կողային մակերևույթին հնարավորինս մոտ՝ հնարավոր է էսպես նվազեցնել S<math>C</math> ճառագայթման կլանումը ոչ գծային բյուրեղում: Այս դեպքում S<math>C</math> ալիքների կլանումը խիստ նվազում է շնորհիվ բյուրեղում անցած կարճ ճանապարհի, որը և նպաստում է S<math>C</math>-ի արդյունավետության աճին:

Առաջարկված տարբերակում օպտիկական փնջի  $d$  լայնական չափը պետք է բավարարի  $d < \lambda_{\text{THz}} / 2$  պայմանին: Այսպիսի նեղ փնջերի օգտագործումը սահմանափակում է օգտագործվող լազերների թույլատրելի հզորությունը (բյուրեղի օպտիկական քանդման պատճառով) և բյուրեղի երկարությունը (դիֆրակցիոն ցրման պատճառով): Բացի այդ, ՊԲԼՆ բյուրեղի միջոցով հնարավոր չէ ստանալ հաճախալարքավորվող S<math>C</math> ճառագայթում, քանի որ գեներացման հաճախությունը որոշվում է ՊԲԼՆ-ի տարածական պարբերությամբ և, հետևաբար, նմուշի պատրաստումից հետո ենթակա չէ փոփոխման:

Սույն ատենախոսության մեջ դիտարկված են գերկարճ օպտիկական իմպուլսների ուղղման միջոցով, տարբեր տիպի օպտիկական դիմակների օգնությամբ նեղշերտ, հաճախալարքավորվող և լայնաշերտ S<math>C</math> ճառագայթում ստանլու նոր մեթոդներ:

### **Ատենախոսության նպատակը**

Ատենախոսության հիմնական նպատակը օպտիկական դիմակների միջոցով ձևավորված ոչ գծային կառուցվածքներում ստացվող նեղշերտ և լայնաշերտ S<math>C</math> ճառագայթման ուսումնասիրությունն է:

Այս նպատակին հասնելու համար առաջադրվել են հետևյալ խնդիրները.

- Հետազոտել ՊԲԼՆ բյուրեղում SՀց ճառագայթման գեներացումը և նրա պարամետրերի (կենտրոնական հաճախություն, ճառագայթման ուղղություն) կախվածությունը գրգռող օպտիկական փնջի անկման անկյունից:
- Կառուցել բինար փուլային դիմակի միջոցով ձևավորվող պարբերական ոչ գծային համակարգերում ՕՈՒ-ի տեսական մոդել:
- Փորձնականորեն հետազոտել տարբեր բինար փուլային դիմակների դեպքում, Ti:Sapphire ֆեմտոսեկունդային լազերի միջոցով գրգռվող, հաճախության լարքավորմամբ ու սպեկտրալ լայնքի փոփոխմամբ SՀց ճառագայթման գեներացումը և գեներացված SՀց ճառագայթման հիմնական պարամետրերը՝ հզորությունը, սպեկտրալ լայնքի փոփոխման և հաճախության լարքավորման տիրույթները: Որոշել օպտիկականից դեպի SՀց էներգիայի արդյունավետ փոխակերպումն ապահովող օպտիմալ պայմանները:
- Փորձնականորեն ստանալ քվազիմոնոքրոմատիկ, մեծ իմպուլսային հզորությամբ, լարքավորվող SՀց ճառագայթում՝ որպես մղման աղբյուր օգտագործելով մեծ ինտենսիվությամբ և մեծ լայնական կտրվածք ունեցող փնջերով ֆեմտոսեկունդային Ti:Sapphire լազեր՝ ուժեղարարով:
- Կառուցել աստիճանաձև դիմակով համալրված ոչ գծային համակարգերում ՕՈՒ-ի միջոցով լայնաշերտ SՀց ճառագայթում ստանալու տեսական մոդել:
- Հետազոտել լայնաշերտ, սպեկտրալ լայնքի ղեկավարմամբ իմպուլսային SՀց ճառագայթման պարամետրերը, որը գրգռվում է աստիճանաձև դիմակով համալրված միադոմեն լիթիումի նիոբատ ոչ գծային բյուրեղում՝ ֆեմտոսեկունդային լազերային իմպուլսների օպտիկական ուղղման միջոցով:

### **Գիտական նորույթը**

Առաջին անգամ ուսումնասիրվել է ՕՈՒ-ի միջոցով SՀց ալիքների գեներացումը բինար փուլային և աստիճանաձև դիմակների միջոցով ձևավորվող վիրտուալ քվազիփուլահամաձայնեցված համակարգերում:

Ի տարբերություն ՊԲԼՆ բյուրեղում ՕՈՒ-ի ընդհանուր սխեմայի՝ բինար փուլային դիմակների կիրառման դեպքում վերանում են բյուրեղի նյութի, երկրաչափական չափսերի և փոփոխման չենթարկվող տարածական պարբերության հետ կապված սահմանափակումները: Դա թույլ կտա գեներացնել հաճախալարքավորվող քվազիմոնոքրոմատիկ S<g> ճառագայթում:

Աստիճանաձև դիմակների կիրառումը թույլ կտա գեներացնել ժամանակային տեսքի (սպեկտրի) ղեկավարմամբ S<g> իմպուլսային ճառագայթում, որն առանձնապես կարևոր է ժամանակային տիրույթի S<g> սպեկտրոմետրերում կիրառման համար:

### **Գործնական արժեքը**

1. Բինար փուլային դիմակների կիրառումը հնարավորություն է ընձեռում ստանալ քվազիմոնոքրոմատիկ, հաճախալարքավորվող, հզոր S<g> ճառագայթում: Այսպիսի S<g> աղբյուրները կարող են օգտագործվել բազմաթիվ կիրառական ոլորտներում (հեռահաղորդակցություն, անվտանգության համակարգեր, նյութագիտություն և այլն):
2. Շնորհիվ հաճախային լայն տիրույթում սինքրոնիզմի ապահովման աստիճանաձև փուլային դիմակների կիրառման միջոցով հնարավոր է ստանալ լայնաշերտ, ժամանակային տեսքի (սպեկտրի) ղեկավարմամբ, հզոր S<g> ճառագայթում: Այդպիսի ճառագայթման աղբյուրները կարող են լայնորեն կիրառվել ժամանակային տիրույթի S<g> սպեկտրոսկոպիայի, կենսաբժշկության, նյութագիտության և այլ ոլորտներում:

### **Պաշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթները**

1. ՊԲԼՆ բյուրեղում տերահերցային ճառագայթման ուղղության և հաճախության կառավարում կարելի է իրականացնել ընկնող փնջի անկման անկյան փոփոխությամբ:

2. Բինար փուլային դիմակի կիրառմամբ ՕՈՒ եղանակով ոչ գծային բյուրեղներում իրականացվում է քվազիմոնոքրոմատիկ ՏՀց ճառագայթման գեներացում:
3. Քվազիմոնոքրոմատիկ ՏՀց ճառագայթման հաճախության լարքավորում հնարավոր է իրականացնել փուլային դիմակի պատկերի խոշորացման փոփոխմամբ:
4. Աստիճանաձև դիմակի միջոցով ոչ գծային բյուրեղներում ՕՈՒ եղանակով հնարավոր է գեներացնել լայնաշերտ ՏՀց իմպուլս և կառավարել նրա ժամանակային տեսքը:

### **Աշխատանքի ներկայացումը**

Ատենախոսության հիմնական արդյունքները զեկուցվել են International Conference on “Microwave and THz Technologies and Applications” (Ashtarak, Armenia, 2014), “40th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves” (Honk Kong-2015) միջազգային գիտաժողովներում, Երևանի պետական համալսարանի Գերբարձր հաճախությունների ռադիոֆիզիկայի և հեռահաղորդակցության ամբիոնի սեմինարներում, ինչպես նաև ԵՊՀ ուսանողական գիտական ընկերության գիտաժողովներում:

### **Հրապարակումները**

Ատենախոսության հիմնական արդյունքները տպագրվել են 5 գիտական աշխատանքներում, որոնց ցուցակը ներկայացված է սեղմագրի վերջում:

### **Ատենախոսության կառուցվածքը**

Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, երեք գլխից, եզրակացությունից և 123 անուն պարունակող գրականության ցանկից:

Աշխատանքում կան 33 նկար և 1 աղյուսակ: Աշխատանքի ընդհանուր ծավալը 109 էջ է:

## **ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆԸ**

**Առաջաբանի** մեջ հիմնավորված է աշխատանքի արդիականությունը, ձևակերպված են նպատակներն ու խնդիրները, ինչպես նաև պաշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթները: Ներկայացված են աշխատանքի գիտական նորույթը և գործնական արժեքը:

**Առաջին** գլխում դիտարկված են ՏՀց ճառագայթման աղբյուրները և դետեկտորները: Ներկայացված է ժամանակային տիրույթի ՏՀց սպեկտրոմետրը:

**1.1 – 1.4** պարագրաֆներում քննարկված են ՏՀց տիրույթի էլեկտրամագնիսական ալիքների գեներացման հիմնական մեթոդները և այդ մեթոդների առավելություններն ու թերությունները:

Ներկայացված է ՏՀց իմպուլսների գեներացումը ֆոտոհաղորդիչ նյութերի օգնությամբ: Մասնավորապես, քննարկված է ՏՀց ճառագայթման գեներացումը ֆոտոհաղորդիչ անտենայում, ինչպես նաև ՏՀց իմպուլսների առաքումը կիսահաղորդիչների մակերևույթից ֆեմտովայրկյանային լազերային իմպուլսների ներգործության դեպքում:

Պարագրաֆը **1.4-ը** նվիրված է ոչ գծային բյուրեղներում տարբերային հաճախության գեներացման և օպտիկական ուղղման մեթոդներով ՏՀց ճառագայթման ստացմանը:

**1.5** պարագրաֆում քննարկված են ՏՀց ճառագայթման դետեկտման տարբեր եղանակներ: Մանրամասն նկարագրված են ֆոտոհաղորդիչ անտենայով դետեկտորի կառուցվածքը և աշխատանքի սկզբունքը: Այս դետեկտորի միջոցով գրանցվում է ՏՀց դաշտի տեսքը, ինչը չափազանց կարևոր է ժամանակային տիրույթի տերահերցային սպեկտրոմետրի աշխատանքի համար:

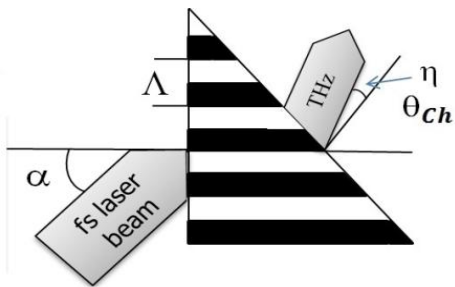
**1.6** պարագրաֆում ներկայացված է ժամանակային տիրույթի տերահերցային սպեկտրոմետրի կառուցվածքը և աշխատանքը: Նկարագրված են նյութերի բեկման ցուցիչների և կլանման գործակիցների չափման մեթոդները ՏՀց լայն հաճախային տիրույթում՝ նշված սպեկտրոմետրի միջոցով: Բերված են թղթի և



պոլիէթիլենի նմուշների բեկման ցուցիչների չափումների արդյունքները, որոնք արված են նկարագրված մեթոդով:

**Երկրորդ գլխում** քննարկված է քվազիմոնոքրոմատիկ SՀց ճառագայթման գեներացումը պարբերական բևեռացված և միադոմեն լիթիումի նիոբաթ բյուրեղներում:

2.1 պարագրաֆում դիտարկված է հաճախալարքավորվող, քվազիմոնոքրոմատիկ SՀց ալիքների գեներացումը ՊԲԼՆ բյուրեղում՝ բյուրեղի վրա ընկնող օպտիկական փնջի անկման անկյան փոփոխման միջոցով (Նկ. 1):

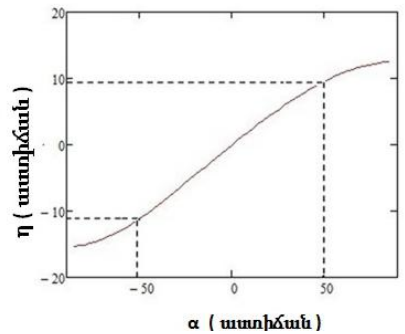
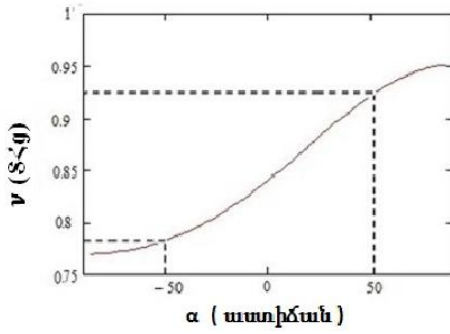


Նկ.1 SՀց ճառագայթման գեներացման սխեմատիկ պատկերը ՊԲԼՆ բյուրեղում. սև և սպիտակ տիրույթները համապատասխանում են բյուրեղի ոչ գծային գործակցի հակադիր նշաններով մասերին,  $\Lambda$ -ն ՊԲԼՆ բյուրեղի պարբերությունն է,  $\alpha$ -ն՝ լազերային ճառագայթման անկման անկյունը,  $\theta_{ch}$ -ն Չերենկովյան անկյունն է,  $\eta$ -ն՝ Չերենկովյան անկյունից շեղման չափը:

SՀց ալիքների գեներացման համար նախատեսված  $\Lambda = 77$  մկմ տարածական պարբերությամբ ՊԲԼՆ բյուրեղում փորձնականորեն ստացվել է հաճախային լարքավորմամբ SՀց ճառագայթում, որի կենտրոնական հաճախությունը փոխվում է  $\sim 0.77$  SՀց մինչև  $0.93$  SՀց, իսկ ճառագայթման ուղղությունը՝ մոտավորապես  $-10^\circ$ -ից մինչև  $10^\circ$  (տես Նկ. 2):

2.2 պարագրաֆում քննարկված է քվազիմոնոքրոմատիկ SՀց ճառագայթման ստացումը միադոմեն լիթիումի նիոբաթ բյուրեղում ՕՈՒ եղանակով՝ սովերային դիմակի միջոցով բյուրեղում ձևավորելով պարբերական ոչ գծային համակարգ:

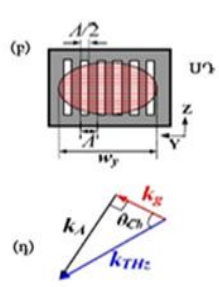
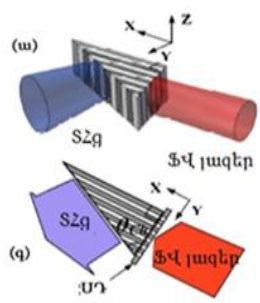
ՊԲԼՆ բյուրեղի միջոցով քվազիմոնոքրոմատիկ SՀց ալիքների գեներացման մեթոդն ունի որոշակի թերություններ: Նախ, ՊԲԼՆ-ի երկրաչափական չափերը սահմանափակ են վերջինիս պատրաստման բարդությունների պատճառով:



Նկ. 2 S<sup>g</sup> ճառագայթման հաճախության և S<sup>g</sup> ճառագայթման  $\eta$  շեղման անկյան (տես Նկ. 1) կախվածությունը օպտիկական փնջի անկման  $\alpha$  անկյունից:

Այս հանգամանքը սահմանափակում է լայն բացվածքով փնջերի օգտագործման հնարավորությունը և հետևաբար  $\Delta\omega$ -ի մինիմալ հասանելի արժեքը: Բացի այդ, ՊԲԼՆ բյուրեղի միջոցով հնարավոր չէ ստանալ լայն տիրույթում հաճախալարքավորվող S<sup>g</sup> ճառագայթում:

Այս խոչընդոտները հաղթահարելու համար մշակվել է նոր մեթոդ [6], որտեղ որպես ոչ գծային բյուրեղ օգտագործվում է միադոմեն լիթիումի նիոբատ (ԼՆ), իսկ բյուրեղի պարբերական կառուցվածքը իրականացվում է ստվերային դիմակի (ՍԴ) միջոցով: Ստվերային դիմակը (Նկ. 3բ) ամրացվում է ԼՆ բյուրեղի մուտքային ճակատին (Նկ. 3գ), որտեղով բյուրեղը լուսավորվում է ֆեմտոպարկյանային լազերային փնջով:

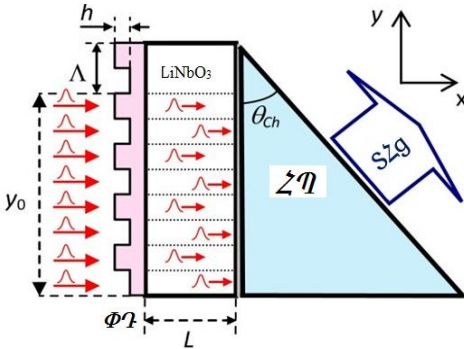


Նկ. 3ա) S<sup>g</sup> ալիքների գեներացման սխեման ՊԲԼՆ բյուրեղում, (սև և սպիտակ տիրույթները ներկայացնում են բյուրեղի ոչ գծային գործակցի հակադիր նշաններով մասերը), բ) ստվերային դիմակի սխեմատիկ պատկերը, գ) ՍԴ-ով ծածկված միադոմեն ԼՆ բյուրեղում S<sup>g</sup> ալիքների

գեներացման սխեման, (սև և սպիտակ տիրույթները բյուրեղի մուտք և լուսավորված մասերն են), դ. S<sup>g</sup> ալիքների գեներացման վեկտորական դիագրամը:

2.3 պարագրաֆում քննարկված է քվազիմոնոքրոմատիկ SՀց ճառագայթման ստացումը ՕՈՒ միջոցով՝ փուլային դիմակի (ՓԴ) կիրառմամբ:

Ստվերային դիմակի կիրառումը թույլ է տալիս ստանալ հաճախալարքավորվող SՀց ճառագայթում, սակայն ճառագայթմանը մասնակցում են ոչ գծային բյուրեղի միայն լուսավորված տիրույթները, ինչը նվազեցնում է փոխակերպման արդյունավետությունը: Այս խոչընդոտը հաղթահարելու համար մեր կողմից առաջարկվել է ստվերային դիմակը փոխարինել պարբերական փուլային տեղաշարժ իրականացնող դիմակով: Այս դեպքում միադոմեն ոչ գծային բյուրեղում ձևավորվում է վիրտուալ փուլահամաձայնեցնող կառուցվածք (Նկ. 4):



Նկ. 4 Փուլային դիմակի և համաձայնեցնող պրիզմայի (<math>\langle \mathcal{M} \rangle</math>) կիրառմամբ LiNbO<sub>3</sub> բյուրեղում ՕՈՒ-ի եղանակով SՀց ճառագայթման գեներացման սխեմատիկ պատկերը:

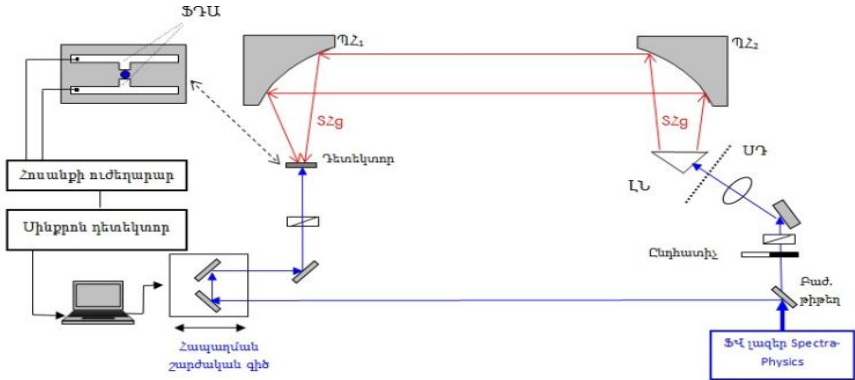
Եթե դիմակի ելուստով անցնելիս օպտիկական իմպուլսների ժամանակային հապաղումը կազմի SՀց տատանման պարբերության կեսը, ապա ոչ գծային գործակցի փոփոխությունը համարժեք կլինի վերջինիս նշանի փոփոխմանը:

SՀց ճառագայթման հաճախությունը կորոշվի հետևյալ բանաձևով՝

$$v_{THz} = \frac{c}{\Lambda \sqrt{n_{THz}^2 - n_g^2}}, \quad (1)$$

որտեղ  $n_g$  – բյուրեղի բեկման ցուցիչն է օպտիկական տիրույթում,  $n_{THz}$ -ը՝ բեկման ցուցիչը SՀց տիրույթում,  $c$ -ն լույսի արագությունն է վակուումում, իսկ  $\Lambda$  -ն՝ դիմակի տարածական պարբերությունը:

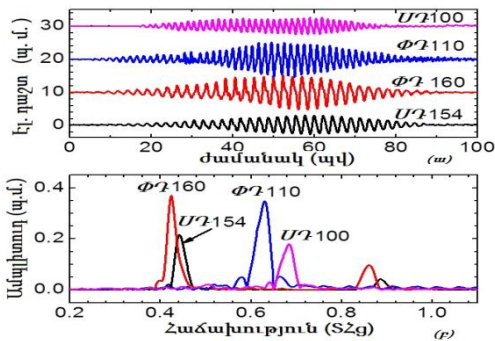
Աշխատանքում ՕՈՒ-ի եղանակով փորձնականորեն իրականացվել է SՀg ճառագայթման գեներացում միադոմեն LiNbO<sub>3</sub> բյուրեղում բինար փուլային դիմակների օգնությամբ: Փորձարարական համակարգը ներկայացված է Նկ. 5-ում:



Նկ. 5 Փորձարարական համակարգի սխեմատիկ պատկերը:

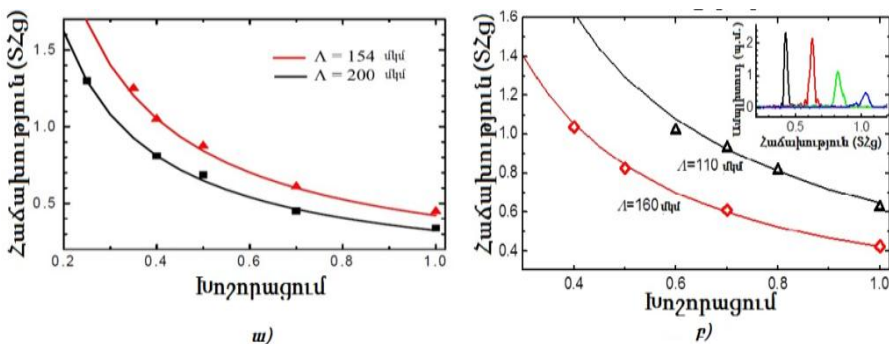
Փորձարարական հետազոտություններում օգտագործվել է կվարցի թիթեղից պատրաստված դիմակ, որի ելուստով անցնելիս լազերային իմպուլսի հապաղումը կազմում է  $\tau_0 = h(n_0 - 1)/c = 755$  ֆվ, ինչը համապատասխանում է  $n_2$  գծային բևեռացման նշանի փոփոխմանը  $f_0 = 1/2\tau_0 = 0.662$  SՀg հաճախության դեպքում: 110 մկմ և 160 մկմ պարբերությամբ փուլային դիմակների կիրառման դեպքում գեներացված SՀg իմպուլսների ժամանակային տեսքերը պատկերված են Նկ. 6 ա-ում, իսկ 6 բ-ում բերված են համապատասխան սպեկտրները: Համեմատության համար ներկայացված են նաև սովորային դիմակի դեպքում ստացված արդյունքները:

Նկ. 6 բ-ից երևում է, որ 110 մկմ և 160 մկմ պարբերությամբ ՓԴ դեպքում ստացված արդյունքները համապատասխանաբար  $\sim 1.9$  և  $\sim 1.7$  անգամ գերազանցում են ՍԴ-ի դեպքում ստացված արդյունքներին, իսկ գեներացման արդյունավետության մեծացումը լավ համապատասխանում է տեսականորեն սպասվող արդյունքներին:



Նկ. 6 ա. ՏՀց իմպուլսների տեսքերը 110 մկմ և 160 մկմ պարբերությամբ փուլային դիմակների և 100 մկմ ու 154 մկմ պարբերությամբ ստվերային դիմակների դեպքում, բ) համապատասխան Ֆուրյե սպեկտրները:

Ստվերային և փուլային դիմակների կիրառումը թույլ է տալիս ստանալ հաճախության լարքավորմամբ և սպեկտրալ լայնքի փոփոխմամբ ՏՀց ճառագայթում: ՏՀց գեներացման հաճախության լարքավորում կարելի է իրականացնել դիմակը տեղավորելով բյուրեղի մուտքային ճակատից հեռու, և ոսպնյակային համակարգի միջոցով բյուրեղում կառուցելով դիմակի պատկերը: Պատկերի խոշորացումը փոփոխելով՝ հնարավոր է փոփոխել բյուրեղում ձևավորված պարբերական ոչ գծային կառուցվածքի պարբերությունը և դրանով իսկ՝ ՏՀց ճառագայթման հաճախությունը: Փորձնական արդյունքները բերված են Նկ. 7-ում: Խոշորացումը 1-ից մինչև 0.4 տիրույթում փոփոխելու դեպքում գեներացված ՏՀց ճառագայթման հաճախությունը փոխվում է 0.42 – ից մինչև 1 ՏՀց:



Նկ. 7 Գեներացման հաճախությունը ստվերային (ա) և փուլային (բ) դիմակների կիրառմամբ տարբեր խոշորացումների դեպքում: Փուլային դիմակի դեպքում պատկերված են նաև ճառագայթման սպեկտրները տարբեր խոշորացումների դեպքում:

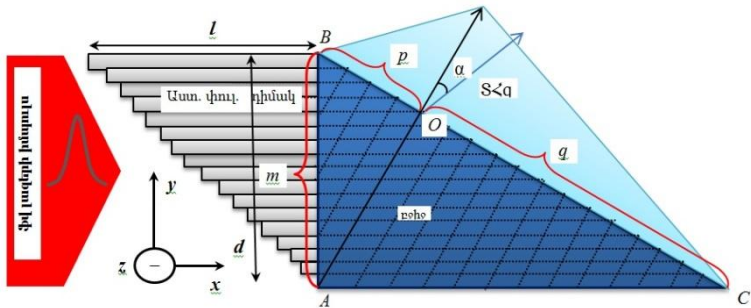
**Երրորդ գլխում** քննարկված է լայնաշերտ  $S < a$  ճառագայթման գեներացումը միադոմեն լիթիումի նիոբաթ բյուրեղներում:

**3.1** պարագրաֆը նվիրված է լայնաշերտ  $S < a$  ճառագայթման գեներացմանը ոչ գծային բյուրեղում թեք ամպլիտուդային ճակատով իմպուլսների օպտիկական ուղղման միջոցով:

**3.2** պարագրաֆում քննարկված է լայնաշերտ  $S < a$  ստացման հնարավորությունը աստիճանաձև դիմակի կիրառման միջոցով:

Առաջարկվել է լայնաշերտ  $S < a$  ճառագայթում ստանալու համար անհրաժեշտ թեք ամպլիտուդային ճակատով օպտիկական փնջեր ձևավորել՝ օգտագործելով աստիճանաձև դիմակ (Նկ. 8):

Այսպիսի դիմակը կապահովի քվազիգծային ժամանակային հապաղում օպտիկական փնջի լայնական կտրվածքում: Ոչ գծային բյուրեղի յուրաքանչյուր շերտ (լազերային փնջի տարածման ուղղությամբ) կճառագայթի  $S < a$  իմպուլսներ Չերենկովյան անկյան տակ՝ մեկը մյուսի նկատմամբ որոշակի ժամանակային հապաղումով: Հետևաբար, աստիճանաձև դիմակի պարամետրերի համապատասխան ընտրությամբ հնարավոր է ստանալ մի իրավիճակ, որտեղ ոչ գծային բյուրեղի յուրաքանչյուր շերտից ճառագայթված  $S < a$  իմպուլսները բյուրեղի ելքային մակերևույթին կհասնեն միաժամանակ: Բյուրեղի ելքային մակերևույթի բոլոր մասերը կճառագայթեն համափուլ, ինչի շնորհիվ կստացվի արդյունավետ լայնաշերտ  $S < a$  ճառագայթում:



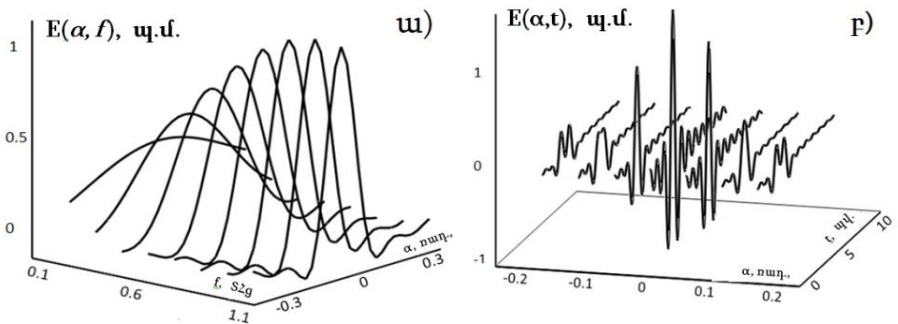
Նկ. 8 Աստիճանաձև դիմակի սխեմատիկ պատկերը:

3.3 պարագրաֆում քննարկված է SՀց իմպուլսների սպեկտրների անկյունային բաշխվածությունները և ժամանակային տեսքերը հեռու գոտում:

Նկ. 9-ում բերված են SՀց իմպուլսների սպեկտրալ բաղադրիչների անկյունային բաշխվածությունները և ժամանակային տեսքերը հեռու գոտում: Հաշվարկները կատարվել են, ընդունելով, որ յուրաքանչյուր բջջից ճառագայթվում է սպեկտրի գաուսյան ( $S(f) = \exp(f - 0.5)^2$ ) տեսքով SՀց իմպուլս 0.5 SՀց կենտրոնական հաճախությամբ, երբ դիմակի լայնական չափը  $d = 1$  մ է, իսկ աստիճանածև դիմակի աստիճանների թիվը՝  $m = 40$ :

Ինչպես և պետք էր սպասել, SՀց ճառագայթման բարձրհաճախային սպեկտրալ բաղադրիչները կենտրոնացված են ոչ գծային բյուրեղի մակերևույթի նորմալի ուղղությամբ: Ուղղվածության դիագրամի բացվածքը 0.5 մակարդակի վրա,  $f = 1$  SՀց հաճախության դեպքում կազմում է մոտ  $5^\circ$ , իսկ ցածրհաճախային սպեկտրալ բաղադրիչները ճառագայթվում են ուղղվածության դիագրամի մեծ բացվածքով, ինչը բերում է SՀց իմպուլսների ժամանակային տեսքի աղավաղման՝ կախված ճառագայթման ուղղությունից:

3.4 պարագրաֆում դիտարկվել է դիմակի աստիճանների քանակի փոփոխման ազդեցությունը SՀց ճառագայթման պարամետրերի վրա:

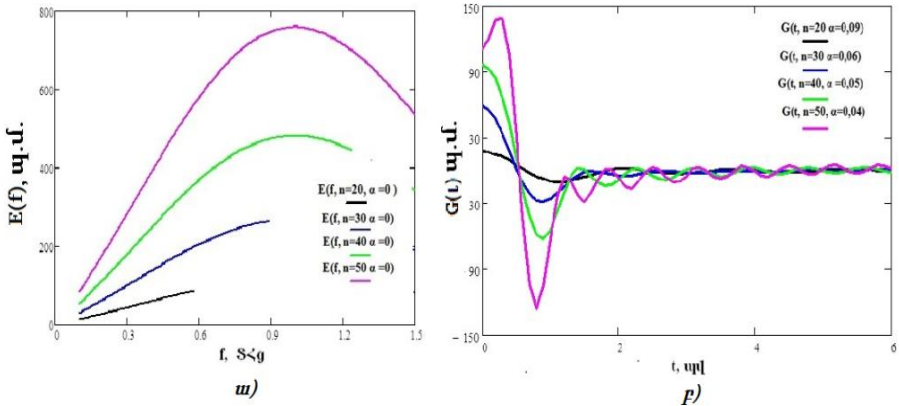


Նկ. 9 Գեներացված SՀց իմպուլսների անկյունային բաշխվածությունը (ա) և ժամանակային տեսքը (բ) հեռու գոտում:

Քանի որ լայնաշերտ  $S < g$  ճառագայթման սպեկտրի վերին հաճախությունը պայմանավորված է դիմակի աստիճանների չափով, ապա ճառագայթման շերտի լայնացման համար անհրաժեշտ է հնարավորինս նվազեցնել աստիճանների քայլը (մեծացնել աստիճանների քանակը):

Սակայն աստիճանների քայլը պետք է էապես մեծ լինի լազերային ճառագայթման ալիքի երկարությունից, հակառակ դեպքում բյուրեղում օպտիկական փնջի դիֆրակցիայի հետևանքով կարող է խախտվել քվազիփուլահամաձայնեցման պայմանը:

Նկ. 10-ում պատկերված են 20, 30, 40 և 50 աստիճան և միևնույն՝ 1 մմ հաստությունն ունեցող տարբեր դիմակների միջոցով գեներացված և ոչ գծային բյուրեղի ելքային մակերևույթի նորմալի ուղղությամբ ( $\alpha=0$ ) առաքված  $S < g$  իմպուլսների սպեկտրները և ժամանակային տեսքերը ալիքային գոտում:



Նկ. 10 Գեներացված  $S < g$  իմպուլսների սպեկտրները ( $\omega$ ) և ժամանակային տեսքերը ( $\rho$ ) հեռու գոտում, երբ  $n=20, 30, 40$  և  $50$ :

Ինչպես և պետք էր սպասել, գրաֆիկներից երևում է, որ դիմակի աստիճանների թվի մեծացումը (աստիճանների չափերի փոքրացումը) բերում է  $S < g$  ճառագայթման սպեկտրալ լայնքի, հետևաբար նաև  $S < g$  դաշտի արժեքի աճին:



## ՀԻՄՆԱԿԱՆ ԵԶՐԱԿԱՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ

1. Առաջին անգամ մշակվել է նեղշերտ ՏՀց ալիքների գեներացման նոր մեթոդ հիմնված միադոմեն լիթիում նիոբատ բյուրեղում ՕՈՒ-ի վրա: Բյուրեղի մուտքում տեղադրվել է բինար փուլային դիմակ, որ թույլ է տվել ստանալ փուլահամաձայնեցնող համակարգ:
2. Փոփոխելով օպտիկական փնջի չափը՝ կարելի է ՏՀց ճառագայթման սպեկտրալ լայնքը փոփոխել 17 ԳՀց մինչև մի քանի ՏՀց տիրույթում:
3. Ստացվել է 0.4 - 1 ՏՀց տիրույթում հաճախության լարքավորմամբ ՏՀց ճառագայթում, բյուրեղում դիմակի պատկերը կառուցելով տարբեր խոշորացումներով:
4. Տեսականորեն ցույց է տրվել, որ օպտիկական ուղղման միջոցով ստացված ՏՀց ճառագայթման կենտրոնական հաճախությունը և առաքման ուղղությունը կարող են ղեկավարվել՝ փոփոխելով ընկնող օպտիկական փնջի ուղղությունը:
5. Ուսումնասիրվել է լայնաշերտ ՏՀց ճառագայթման գեներացումը օպտիկական ուղղման միջոցով՝ միադոմեն լիթիումի նիոբատ բյուրեղում՝ համալրված աստիճանաձև դիմակով: Ցույց է տրվել, որ ՏՀց հաճախությունների լայն տիրույթում իմպուլսի սպեկտրալ բաղադրիչների համար հնարավոր է ապահովել սինքրոնիզմի պայմանը:
6. Հաշվարկվել են լայնաշերտ ՏՀց իմպուլսների սպեկտրալ բաղադրիչների անկյունային բաշխվածությունը և ժամանակային տեսքերը: Ցույց է տրվել, որ կարելի է ստանալ տարբեր ժամանակային տեսքերի ՏՀց իմպուլսներ՝ փոփոխելով աստիճանաձև դիմակի աստիճանների թիվը:

### Հղված գրականություն

1. Lee Y.-S., Principles of Terahertz Science and Technology (Springer, 2009).
2. Kawase K., Mizuno M., Sohma S., Takahashi H., Taniuchi T., Urata Y., Wada S., Tashiro H., Ito H., “Difference-frequency terahertz-wave generation from 4-dimethylamino N-methyl-4-stilbazolium-tosylate by use of an electrically tuned Ti:sapphire laser,” Opt. Lett. 24, 1065–1067 (1999).
3. Vodopyanov K. L., “Optical generation of narrow-band terahertz packets in periodically-inverted electro-optic crystals: conversion efficiency and optimal laser pulse format,” Opt. Express 14, No. 6, 2263-2276 (2006).

4. Lee Y.-S., Meade T., Perlin V., Winful H., Norris T. B., Galvanauskas A., “Generation of narrow-band terahertz radiation via optical rectification of femtosecond pulses in periodically poled lithium niobate” Appl. Phys. Lett. 76, 2505-2507 (2000).
5. Avetisyan Y. H., Sasaki Y., Ito H. “Analysis of THz-wave surface-emitted difference-frequency generation in periodically poled lithium niobate waveguide,” Appl. Phys. B. 73, 511-514 (2001).
6. Yu. Avestisyan, C.Zhang, I. Kawayama, H. Murakami, T. Somekawa, H. Chosrowjan, М. Фужита, М. Tonouchi “Terahertz generation by optical rectification in lithium niobate crystal using a shadow mask” Optics Express Vol. 20, Issue 23, pp. 25752-25757 (2012).

#### Հրատարակված աշխատանքների ցուցակը

1. C. Zhang, Yu. Avetisyan, G. Abgaryan, I. Kawayama, H. Murakami, M. Tonouchi , “Tunable narrowband terahertz generation in lithium niobate crystals using a binary phase mask” Optics Letters, Vol. 38, Issue 6, pp. 953-955, (2013).
2. G. Abgaryan, “Frequency tunable THz-generation in periodically poled lithium niobate crystal” Proceedings of the Yerevan State University, № 2, p. 46–49 (2014).
3. G.K. Abgaryan, Yu.H. Avetisyan, A.H. Makaryan, V.R. Tadevosyan, “Broadband THz Generation in Lithium Niobate Crystal by Step-Wise Phase Mask”, Proc. of int. conf. on "Microwave and THz Technologies and Applications", pp. 13-16, (2015).
4. Գ. Արգարյան, “Դիէլեկտրիկ նյութերի պարամետրերի հետազոտումը տերահերցային տիրույթում” ԵՊՀ ՈՒԳԸ գիտական հոդվածների ժողովածու 1.2 (5), բնական գիտություններ, էջ 155-159, (2015).
5. Г.К. Абгарян , Ю.О. Аветисян, А.О. Макарян, В.Р. Татевосян, “Исследование параметров терагерцовых импульсов, генерируемых в однодоменном кристалле LiNbO<sub>3</sub> с помощью ступенчатой фазовой маски”, Известия НАН Армении, Физика, т.51, №1, с.46-52 (2016).  
G. K. Abgaryan , Yu. H. Avetisyan, A. H. Makaryan, V. R. Tadevosyan, "Investigation of parameters of terahertz pulses generated in single-domain LiNbO<sub>3</sub> crystal by step-wise phase mask", J. of Contemporary Physics , Vol. 51, Issue 1, pp 35-40 (2016).

# ГЕНЕРАЦИЯ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В КРИСТАЛЛЕ НИОБАТА ЛИТИЯ ДОПОЛНЕННОМ ОПТИЧЕСКОЙ МАСКОЙ

## АННОТАЦИЯ

В настоящее время для генерации терагерцового (ТГц) излучения широко используется оптическое выпрямление фемтосекундных лазерных импульсов в нелинейных кристаллах. Для получения квазимонохроматических ТГц импульсов, в основном, используются периодически-поляризованные кристаллы ниобата лития (ППКНЛ). Однако в этом случае, частота генерации определяется пространственным периодом доменной структуры ППКНЛ, что затрудняет осуществление частотной перестройки генерируемого ТГц излучения. Кроме того, поперечные размеры ППКНЛ ограничиваются технологией их изготовления, что препятствует использованию широко-апертурных лазерных пучков высокой мощности.

В работе, впервые, для преодоления этих недостатков предлагается создать пространственно-периодическую структуру в монокристалле ниобата лития путем расположения перед ним оптической маски. Как теневая, так и бинарная фазовая маски позволяют генерировать квазимонохроматическое ТГц излучение на частотах, определяемых пространственным периодом масок. Для изменения частоты генерации строится изображение оптической маски в нелинейном кристалле и путем изменения увеличения изображения осуществляется частотная перестройка ТГц излучения.

Существует ряд приложений, где применение широкополосного ТГц излучения (так называемые ТГц-импульсы) более целесообразно, чем квазимонохроматического ТГц излучения. В работе исследована возможность ступенчатой фазовой маски (СФМ) для генерации широкополосного ТГц излучения при оптическом выпрямлении фемтосекундных лазерных импульсов в монокристалле ниобата лития.

Показано, что СФМ позволяет обеспечить пространственный синхронизм нелинейного взаимодействия в широком диапазоне ТГц частот, что приводит к эффективной генерации ТГц-импульсов.

Исследовано угловое распределение спектральных компонент, а также временная форма терагерцовых импульсов в волновой дальней зоне.

Основные результаты работы:

1. Показано, что перестройку частоты квазимонохроматического ТГц излучения, полученного с помощью оптического выпрямления фемтосекундных лазерных импульсов в ППКЛН можно осуществить изменением направления возбуждающего лазерного пучка. Изменение направления возбуждающего пучка приводит также к изменению направления ТГц излучения.
2. Впервые разработан новый метод для получения квазимонохроматического ТГц излучения при оптическом выпрямлении лазерного излучения в монокристаллическом кристалле ниобата лития с помощью бинарной фазовой маски.
3. Показано, что спектральную ширину ТГц излучения можно перестраивать в пределах от 17 ГГц до нескольких ТГц, изменением поперечного размера оптического пучка.
4. Получено ТГц излучение, перестраиваемое в пределах 0.4-1 ТГц, изменением увеличения изображения маски в нелинейном кристалле.
5. Показано, что можно генерировать широкополосное терагерцовое излучение с помощью оптического выпрямления фемтосекундных лазерных импульсов в монокристаллическом кристалле ниобата лития, оснащённом СФМ. Показано, что с помощью СФМ можно обеспечить пространственный синхронизм для спектральных компонент терагерцового импульса в широкой полосе частот, обеспечивая тем самым, эффективное преобразование лазерного излучения в терагерцовый диапазон.
6. Рассчитаны угловое распределение спектральных компонент широкополосного ТГц излучения и временные формы терагерцовых импульсов. Показано, что можно получить ТГц импульсы различных временных форм путем изменения количества ступеней СФМ.

# GENERATION OF TERAHERTZ RADIATION IN THE LITHIUM NIOBATE CRYSTAL WITH OPTICAL MASKS.

## ANNOTATION

The terahertz (THz) band ( $\sim 0.1 - 10$  THz) has recently drawn much attention due to its potential for both fundamental physics and increasingly larger variety of applications. However, the applicability of THz sources is still critically dependent on the power available with current technology, which has prompted much research in developing compact table-top THz sources.

At present the optical rectification (OR) of femtosecond laser pulses in nonlinear crystal is the widely used method to generate the THz radiation. The periodically poled lithium niobate (PPLN) crystal is mainly used to obtain quasi-monochromatic THz radiation. However, the frequency of THz radiation is predetermined by the spatial period of the PPLN domain structure and therefore it cannot be changed after the sample preparation. In addition, cross-section dimensions of PPLN crystals are limited by fabrication technology, which prevents to use the wide-aperture laser beams delivered by powerful femtosecond sources.

In present work to overcome these problems to create a specially periodic nonlinear structure in single-domain lithium niobate crystal by placing optical mask in front of the crystal. Both the shadow and the binary phase masks (PM) provide the generation of quasi-monochromatic THz radiation at frequency, which is determined by special period of the masks. For changing the frequency of THz generation image of the mask is built in nonlinear crystal. We obtain the opportunity to tune THz generation frequency by changing the magnification of the image.

There are a number of applications where the use of broadband THz radiation (so-called THz pulses) is more appropriate than narrowband THz radiation. For this reason we have studied using of stepwise phase mask (SPM) for the generation of broadband THz radiation by the OR of femtosecond laser pulses in the single-domain lithium niobate crystal. It is shown that the SPM provides the phase matching of the nonlinear interaction in the wide range of THz frequency, resulting in efficient generation of THz-pulses.

The angular distribution of spectral components, as well as the temporal shape of THz pulses in the far-field region were investigated.

The following main results were obtained in the thesis:

1. It is shown that frequency of quasi-monochromatic THz waves generated by OR in PPLN crystal can be tuned by changing the propagation direction of laser beam in crystal. When the incidence angle of optical beam changes from  $-50^\circ$  to  $50^\circ$  degrees, the central frequency of the generated THz radiation is varied in the range from 0.77 THz to 0.93 THz. In this case the direction of THz waves propagation is changing in relatively small region from  $-10^\circ$  to  $10^\circ$  degrees.
2. A new scheme of narrowband THz generation by OR in the lithium niobate crystal by using the PM is presented. It is shown that illumination of the a single-domain lithium niobate crystal by spatio-temporal shaped fs-laser pulses is equivalent to formation of quasi-phase-matching (QPM) structure, which results in generation of the narrowband THz waves.
3. It is shown that linewidth of quasi-monochromatic THz waves can be tuned from 17 GHz to a few THz by changing optical beam size on the crystal from 4,5 mm to a few tens of micron.
4. The frequency of generation is tuned in the range of 0.42 - 1.0 THz by building images of the mask in the crystal with various magnifications from 1 to 0.4.
5. New method for efficient generation of THz pulses by OR in the single-domain lithium niobate crystal is presented. It is based on using the SPM, which provides the phase matching of the nonlinear interaction in the wide range of THz frequencies and therefore, results in efficient generation of THz pulses.
6. The angular distribution of the spectral components and the temporal form of THz pulses in the far-field region were investigated. It is shown that the different temporal forms of THz pulses can be obtained by changing number of steps of the SPM.