

**ՀՀ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ, ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ, ՄՇԱԿՈՒՅԹԻ ԵՎ ՍՊՈՐՏԻ
ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ**

ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

Սարուխանյան Տաթևիկ Մակիչի

**ԼԱԶԵՐՈՎ ՄԱԿԱԾՎԱԾ ՖԼՈՒՈՐԵՍՑԵՆՑԻԱՅԻ ԱՅԻ ՓՈՐՁԱՐԱՐԱԿԱՆ
ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ՀԵՂՈՒԿ ԲՅՈՒՐԵՂԱԿԱՆ ՖՈՏՈՆԱՅԻՆ
ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՆԵՐՈՒՄ ԵՎ ՊՈԼԻՄԵՐՆԵՐՈՒՄ**

Ա.04.21 «Լազերային ֆիզիկա» մասնագիտությամբ
ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի
գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության սեղմագիր

Երևան – 2023

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Երևանի պետական համալսարանում

Գիտական ղեկավար՝

Ֆիզ.-մաթ. գիտ. դոկտոր,
պրոֆեսոր Ռ.Բ. Ալավերդյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝

Ֆիզ.-մաթ. գիտ. դոկտոր

Դ. Հ. Սարգսյան

Ֆիզ.-մաթ. գիտ. թեկնածու

Ա. Ռ. Արամյան

Առաջատար կազմակերպություն՝

Հայ-Ռուսական (Սլավոնական)
համալսարան

Պաշտպանությունը կայանալու է 2023թ.-ի սեպտեմբերի 9-ին ժամը 12-ին, Երևանի պետական համալսարանում (0025, ք. Երևան, Ալեք Մանուկյան 1), ԲՈԿ-ի ֆիզիկայի 049 մասնագիտական խորհրդում

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ԵՊՀ-ի գրադարանում

Սեղմագիրն առաքված է 2023թ.-ի հունիսի 26-ին

Մասնագիտական խորհրդի

Ֆիզ.-մաթ.գիտ. թեկնածու, դոցենտ

գիտական քարտուղար՝

Վ.Պ. Քալանթարյան

ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ՆԿԱՐԱԳՐՈՒԹՅՈՒՆԸ

Թեմայի արդիականությունը

Ֆոտոնային արգելված գոտի (ՖԱԳ) պարունակող ֆոտոնային կառուցվածքները (ՖԿ) առաջնային կարևորություն ունեն լույսի տեղայնացման [1] և ատոմներից ու մոլեկուլներից ինքնակամ (սպոնտան) ճառագայթման ղեկավարման տեսանկյունից [2]: Շնորհիվ լույսի ղեկավարելիության հատկության և ֆոտոնների տեղայնացման երևույթի, ինչը կարող է նաև մի քանի անգամ ուժեղացնել ոչ գծային օպտիկայում դիտվող երևույթները, ֆոտոնային բյուրեղները (ՖԲ) կարող են հիմք հանդիսանալ ինտեգրալ ֆոտոնային սարքերի համար, ինչպիսին է, օրինակ, օպտիկական զտիչը, օպտիկական դիողը, լազերները և այլն: Այսպիսի օպտիկական զտիչները կարելի է ղեկավարել, մասնավորապես, շնորհիվ Կեոի ոչ գծային օպտիկական էֆեկտի՝ այն է փոխելով լուսազգայուն միջավայրի բեկման ցուցիչը հզոր լազերային ճառագայթման ազդեցությամբ: ՖԲ հիմքով լազերները կարևոր դերակատարում ունեն օպտիկական հաշվարկի, օպտիկական հեռահաղորդակցության և, առհասարակ տեղեկույթի գերարագ տեղափոխման ոլորտներում: Որպես տեղեկույթի կրող էլեկտրոնի փոխարեն օգտագործելով ֆոտոնը, հնարավոր է ստանալ տեղեկույթի տեղափոխում լույսի արագությամբ՝ առանց էներգիայի մեծ կորուստների և ապահովել զուգահեռ գործընթացների իրականացում օպտիկական հաշվարկներում [3,4]:

ՖԲ-ների նկատմամբ հետաքրքրության աճը հիմնականում պայմանավորված է նրանց փոքր չափերի, քիչ կորուստների, հեշտ ղեկավարելի ֆիզիկական հատկությունների, այլ սարքերի հետ համատեղելիության, արագագործության և այլ հատկանիշներով: Կիրառական տեսանկյունից առավել տարածված են արհեստակա-նորեն ձևավորված ՖԿ-ները, քանի որ դրանք հնարավորություն են ընձեռնում ստանալ ցանկալի ֆիզիկական հատկություններով կառուցվածքներ՝ կախված կիրառության նպատակներից [5]: Միաչափ ՖԲ-ի հայտնի ներկայացուցիչներից են հեղուկ բյուրեղները (<Բ): <Բ-ները ինքնակազմավորվող պարբերական կառուցվածքներ են, որոնց օպտիկական հատկությունները հեշտությամբ կարելի է ղեկավարել արտաքին ազդեցությունների (էլեկտրական դաշտ, ճնշում, ջերմաստիճան և այլն) միջոցով, որը հնարավորություն է ընձեռնում ղեկավարելու դրանցով անցնող լույսի բնութագրերը: <Բ-ային լազերների առավելությունը իրենց կոմպակտ չափերի, պարզ կառուցվածքի և մեկ գրգռման ալիքի օգնությամբ բազմաթիվ մոդաներ/ալիքի երկարություններ ստանալու մեջ է: Այսպիսի լազերով կարելի է միաժամանակ ստանալ կարմիր-կանաչ-կապույտ գույներին համապատասխանող ալիքի երկարությամբ լազերային գեներացիա, որը հնարավոր է օգտագործել դիսփլեյներում փոխարինելով նրանցում օգտագործվող գունավոր լուսազտիչներն ու բևեռիչները [6]: Այն կարող է օգտագործվել նաև սպեկտրոսկոպիայում, բժշկական հետազոտություններում, մաշկի վնասվածքների դեպքում, որոնք պահանջում են տարբեր ալիքի երկարությունների ապահովում, տարբեր ներթափանցման խորությունների համար: Ինֆրակարմիր լազերը,

օրինակ, օգտագործվում է օպտիկական եղանակով արյան խցանումները մաքրելու նպատակով [7]:

Այսպիսով՝ ՀԲ-ները իրենց ուրույն տեղն են զբաղեցնում տեխնոլոգիական աշխարհում, հանդես գալով որպես առանձին օպտոէլեկտրոնային տարր, սակայն դրանց համատեղումը պոլիմերների հետ գործնականում ավելի հաճախ հանդիպող տարրերից է: Վերջիններիս կատարելագործումը, մասնավորապես, դրանց օպտիկական հատկությունների ղեկավարելիության տեսանկյունից շարունակվում է ուսումնասիրվել [8]:

Աշխատանքի նպատակը

Այս ատենախոսության նպատակն է հանդիսացել խղեստերիկ հեղուկ բյուրեղից (ԽՀԲ)-ից և ներկանյութով հարստացված պոլիմերային թաղանթից (ԽՀԲ-ՆՀՊԹ) կազմված սեպաձև համակարգի օպտիկական առանձնահատկությունների և նշված համակարգից լազերային ճառագայթում ստանալու տեսական և փորձարարական հետազոտումը:

Գիտական նորույթը

Աշխատանքի գիտական նորույթը որոշվում է առաջին անգամ իրականացված տեսական և փորձարարական աշխատանքների հետևյալ համախմբությամբ՝

- ❖ տեսական հաշվարկներով ցույց է տրվել, որ ՖԱԳ-ի ինչպես կարճալիքային, այնպես էլ երկարալիքային եզրերի ալիքների համար լույսի տեղայնացումը տարբեր է կախված լույսի անկման անկյունից, ինչպես նաև ցույց է տրվել, որ մեծ անկման անկյունների դեպքում լույսի լրիվ ներքին անդրադարձում կարող է դիտվել սեփական մոդաների համար, երբ դիէլեկտրիկ սահմանները նվազագույն ազդեցություն ունեն լույսի տարածման վրա
- ❖ փորձնականորեն ուսումնասիրվել է ԽՀԲ-ՆՀՊԹ ֆոտոնային կառուցվածքի օպտիկական հատկությունները, կախված ԽՀԲ շերտի հաստությունից
- ❖ տեսականորեն և փորձնականորեն ցույց է տրվել, որ ԽՀԲ-ՆՀՊԹ համակարգի ՖԱԳ-ում ի հայտ են գալիս բազմաթիվ արատային մոդաներ
- ❖ տեսականորեն ցույց է տրվել, որ ԽՀԲ-ՆՀՊԹ համակարգում կախված խղեստերիկների հաստությունից կարող է փոխվել արատային մոդաների ֆոտոնային վիճակների խտությունը (ՖՎԽ) և այն չի կարող ազդել մոդաների քանակի վրա
- ❖ տեսական հաշվարկները ցույց են տվել, որ ՖԱԳ-ի ներսի սպեկտրային գծի երկայնքով հնարավոր է ստանալ ինչպես անընդհատ, այնպես էլ պարբերական կերպով արատային մոդաների գեներացում: Այսպիսի յուրահատուկ սպեկտրային

վարքը առաջին անգամ է ուսումնասիրվել և այն ուղղակիորեն կապված է իզոտրոպ շերտը շրջապատող ԽՀԲ-ների ուղղորդի կողմնորոշմամբ

- ❖ փորձնականորեն ցույց է տրվել, որ ԽՀԲ-ՆՀՊԹ համակարգի արատային մոդաներին համապատասխանող ալիքի երկարությունների համար հնարավոր է ստանալ բազմամոդ լազերային ճառագայթում
- ❖ փորձնականորեն հետազոտվել է ԽՀԲ-ՆՀՊԹ համակարգից գրանցված լազերային գեներացիայի բևեռացումը և ցույց է տրվել, որ օգտագործելով գծային բևեռացմամբ օպտիկական մղում նշված համակարգից հնարավոր է ստանալ շրջանային բևեռացմամբ ճառագայթում, որը տեղի ունի նաև ներկանյութով հարստացված ԽՀԲ-ի (ՆՀԽՀԲ) դեպքում

Կիրառական նշանակությունը

Ատենախոսական աշխատանքի շրջանակներում ստացված արդյունքները կարող են օգտագործվել ժամանակակից օպտիկական տեխնոլոգիաներում անշեմ (ցածրաշեմ) լազերային գեներացիա ստանալու համար, ինչպես նաև օպտիկական տարրերի, այդ թվում վերալարվող լուսազտիչների, լայնաշերտ ղեկավարվող հայելիների, նորագույն դիսփլեյների, արևային պանելների համակարգերի համար:

Պաշտպանության են ներկայացված հետևյալ հիմնական դրույթները

Ատենախոսության շրջանակում պաշտպանության են դրվում հետևյալ հիմնական դրույթները՝

1. Պլանար կողմնորոշված ԽՀԲ շերտում լույսի տեղայնացումը թեք անկման դեպքում կախված անկման անկյունից ՖԱԳ-ի երկարալիքային և կարճալիքային եզրերի համար տարբեր է:
2. Սեպաձև ԽՀԲ-ՆՀՊԹ համակարգի ՖԱԳ-ում հնարավոր է ստանալ բազմաթիվ արատային մոդաներ, որոնք արատային շերտի հաստության պատճառով կարող են վերածածկվել:
3. Սեպաձև ԽՀԲ-ՆՀՊԹ համակարգից հնարավոր է ստանալ բազմամոդ շրջանային բևեռացմամբ լազերային գեներացիա արատային մոդաների հաճախությամբ, օգտագործելով գծային բևեռացմամբ օպտիկական մղում: Անընդհատ կերպով փոփոխելով ԽՀԲ-ի հաստությունը հնարավոր է ղեկավարել ՖՎԽ-ն արատային մոդաների համար:
4. ՖԱԳ-ի ներսի սպեկտրային գծի երկայնքով հնարավոր է ստանալ ինչպես անընդհատ, այնպես էլ պարբերական կերպով արատային մոդաների գեներացում, որը պայմանավորված է ՆՀՊԹ-ի երկու սահմաններին ԽՀԲ-ների ուղղորդի փոխդասավորությամբ:

Աշխատանքի ծավալը

Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, չորս գլուխներից, ամփոփումից և 139 անուն պարունակող հղումների ցանկից: Աշխատանքի ընդհանուր ծավալը կազմում է 106 էջ, ներառյալ 43 նկարները: Յուրաքանչյուր գլուխ սկսվում է ներածությամբ, որտեղ համառոտ ներկայացված է տվյալ գլխում քննարկվող խնդրի արդի վիճակը և ավարտվում է ամփոփմամբ, որտեղ ներկայացված է տվյալ գլխի հիմնական եզրահանգումները:

Աշխատանքի ներկայացումը

Աշխատանքի հիմնական արդյունքները զեկուցվել են՝ Laser Physics – 2018, 2019, Հայաստան, Երևան - Աշտարակ, Optics-2019 International symposium, Հայաստան, Երևան, Asian Conference of Liquid Crystals (ACL-2019), Shenzhen, China, ինչպես նաև Optics of Liquid Crystals (OLC-2019), Quebec, Canada միջազգային կոնֆերանսներում և Optics Virtual 2020 միջազգային օնլայն վեբինարում, որը կազմակերպվել էր Ֆրանսիայի Փարիզ քաղաքում:

Հրատարակությունները

Ատենախոսության թեմայով, միջազգային գրախոսվող պարբերականներում, տպագրվել է 5 գիտական հոդված, ինչպես նաև 5 միջազգային գիտաժողովների թեզիսներ, որոնց ցուցակը բերված է սեղմագրի վերջում:

ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

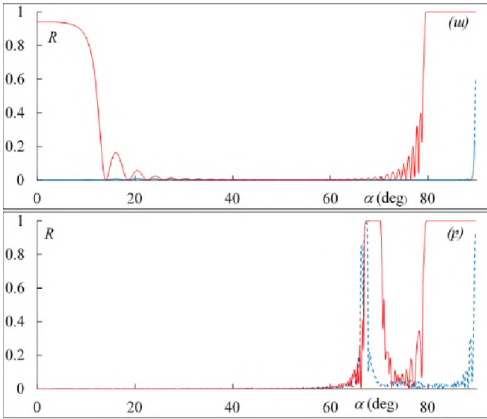
Ներածության մեջ ներկայացված է ատենախոսության թեմայի արդիականությունը, ձևակերպված է աշխատանքի գիտական նորույթը, ինչպես նաև պաշտպանության ներկայացված հիմնական դրույթները:

Առաջին գլուխը ատենախոսության թեմայի հետ կապված գրականության վերլուծությանն է վերաբերվում: Այս գլխում բերված են թեմայի հետ առնչվող հիմնական տերմինների սահմանումները, ամփոփ ներկայացված է հիմնական գաղափարները, որոնք անհրաժեշտ են թեման առավել ընկալելի դարձնելու համար: Այն բաղկացած է յոթ պարագրաֆներից: **1.1 պարագրաֆում** ներկայացված է խիրալ հեղուկ բյուրեղների այն առանձնահատկությունները, որոնք օգտագործվել են ատենախոսության հիմնական արդյունքներն ստանալու համար: **1.2 պարագրաֆում** ներկայացված է ԽՀԲ-ային շերտի վրա լույսի թեք անկման խնդրի լուծման մեթոդների վերաբերյալ առկա գրականությունը: **1.3 պարագրաֆում** ներկայացված է ֆլուորեսցենտ ներկանյութերի հիմնական տեսակները, դրանց հիմնական հատկությունները, ինչպես նաև քննարկված է ՀԲ-ների

հետ այդ ներկանյութերի համատեղելիության հարցը: Ատենախոսության շրջանակներում օգտագործվել է լազերային ներկանյութերի քսանթենային դասին պատկանող Rhodamine 6G ներկանյութը, քանի որ ՀԲ-ի և պինդարմային պոլիմերների հետ այն լավ համատեղելի է և ունի բարձր լուսակայունություն: **1.4 պարագրաֆը** նվիրված է մինչ այժմ հայտնի ՀԲ-ային լազերների ուսումնասիրությանը: Այստեղ հակիրճ նկարագրված է ռեզոնատորի տեսակների մասին, ներկայացված է Ֆաբրի-Պերոյի ռեզոնատորի մոդաների սահմանումը, ֆոտոնային վիճակների խտության սահմանումը, ինչպես նաև լազերային ճառագայթման շեմի սահմանումը կախված ուժեղացման գործակցից, որը պետք է բավարար լինի ռեզոնատորի կորուստները և կլանումը գերազանցելու համար: **1.5 պարագրաֆում** քննարկված է ներկանյութով հարստացված հեղուկ բյուրեղային լազերների օպտիկական պարամետրերը ղեկավարելու եղանակների հարցը: Մասնավորապես, ԽՀԲ-ի քայլը կարելի է ղեկավարել ջերմաստիճանի, մեխանիկական ճնշման, հիդրոդինամիկական հոսքերի և էլեկտրական դաշտի միջոցով, որոնք նաև ազդում են գեներացված լազերի ալիքի երկարության վրա: Այս պարագրաֆում ներկայացվում է նաև սեպաձև բջջում ԽՀԲ օգտագործելու մասին, որը ԽՀԲ-ի երկու հարևան դոմեններում քայլերի թիվը փոխում է 0,5-ով: Այսպիսի բջջում Կանո-Գրանժանյան տիպի գծեր են առաջանում, ինչը ԽՀԲ-ից լազեր ստանալու համար ապահովում է գրադիենտային ձևով փոխվող ռեզոնատորի երկարություն: Այստեղ քննարկված է նաև ԽՀԲ լազերի օպտիկական մղման էֆեկտիվությանը վերաբերվող հարցը, որը բարձրացնելու տարբեր մեխանիզմներ գոյություն ունեն: **1.6 պարագրաֆում** ներկայացված է ՀԲ-ային կառուցվածքներում արատ ներմուծելու հիմնական եղանակները, և դրանց հիմնական օպտիկական առանձնահատկությունները: Ընդհանրապես, բյուրեղում ցանկացած անհամասեռություն առաջացնում է արատ, որտեղ էլ տեղայնանում է էլեկտրամագնիսական դաշտը: Օրինակ, պլանար արատի դեպքում ԽՀԲ-ում պարոլիի առանցքին ուղղահայաց հարթության մեջ բարակ շերտ է տեղադրվում, որը խախտում է ԽՀԲ-ի պարբերականությունը: Պլանար արատի առկայությունը ԽՀԲ-ում պատճառ է հանդիսանում ՖԱԳ-ում արատային մոդայի առաջացման, այսինքն՝ ՖԱԳ-ում կլանման նեղ շերտի առկայության: Արատային մոդան կարող է ծառայել որպես ղեկավարելի նեղշերտ լուսազուիչ, անդրադարձիչ կամ ցածրաշեմ լազեր: Խիրալ կառուցվածքում արատ կարելի է ներմուծել երկու եղանակով՝ օպտիկական թաղանթ ներդնելու և արտաքին ազդեցությամբ ԽՀԲ-ի պարբերականությունը խախտելու միջոցով: Պարբերականությունը խախտելու սահմաններում կամ անհամասեռությունների շրջակայքում տեղի է ունենում լույսի բազմակի ֆրենելյան անդրադարձումներ, ինչի արդյունքում էլ առաջանում են թույլատրելի մոդաներ ՖԱԳ-ի ներսում: **1.7 պարագրաֆը** նվիրված է լուսապոլիմերներին և դրանց լուսապոլիմերմանը: Լուսապոլիմերումը իրենից ներկայացնում է լույսի կլանում որոշակի ինիցիատոր (զգայուն) մոլեկուլի կողմից, որը ձևավորում է ակտիվ կենտրոններ: Այդ ակտիվ կենտրոնները դանդաղորեն փոխազդում են մոնոմերների հետ, որոնցից շատերը ունեն բազմաթիվ կրկնակի կապեր, այսպիսով՝ ձևավորելով բարձր աստիճանի կապվածությամբ պոլիմերային շղթաներ, որոնք կապված

են ուժեղ կովալենտ կապերով: Լուսապոլիմերման ժամանակ կիրառվում է սպեկտրի ուլտրամանուշակագույն, տեսանելի և ինֆրակարմիր տիրույթի էլեկրամագնիսական ճառագայթում, կախված նրանից թե ինչ լուսապոլիմեր է օգտագործվել:

Երկրորդ գլուխը վերաբերում է ԽՀԲ-ային շերտում լուսային էներգիայի տեղայնացմանը լույսի թեք անկման դեպքում: Այս գլուխը կազմված է ներածությունից, երկու պարագրաֆներից և ամփոփումից: **2.1 պարագրաֆը ներածությունն** է, որտեղ խոսվում է լույսի տեղայնացման խնդրի կարևորության մասին և տվյալ գլխում ներկայացված խնդրի դրվածքի մասին: **2.2 պարագրաֆում** ներկայացված է ԽՀԲ-ից լույսի անդրադարձման վրա լույսի թեք անկման դեպքում ԽՀԲ-ի սահմանային պայմանների ազդեցության մասին, մասնավորապես, դիտարկվել է երկու դեպք, երբ ԽՀԲ-ն վակուում է, այսինքն՝ $\sqrt{\varepsilon_s} = 1$, և երբ դիէլեկտրիկ սահմանները նվազագույն ազդեցություն ունեն լույսի տարածման վրա $\sqrt{\varepsilon_s} = \sqrt{\varepsilon_m}$, որտեղ ε_m -ը ԽՀԲ-ի միջին, իսկ ε_s -ը ԽՀԲ-ի շրջապատի դիէլեկտրիկ թափանցիկությունն է: Խնդիրը լուծվել է Համբարձումյանի շերտերի գումարման մեթոդի միջոցով: Լույսի թեք անկման դեպքում երկու բևեռացումներն էլ դառնում են դիֆրակտային ալիքներ՝ նրանցից մեկը ուժեղ փոխազդող է, մյուսը՝ թույլ, ի տարբերություն լույսի նորմալ անկման դեպքի, երբ սեփական բևեռացումներից մեկը ենթարկվում է դիֆրակտի, իսկ մյուսը «չի զգում» միջավայրի պարբերականությունը: Նկ. 1-ում ցույց է տրված անդրադարձման R գործակցի կախվածությունը անկման անկյունից ԽՀԲ-ի ՖԱԳ-ի կենտրոնական $\lambda = \rho\sqrt{\varepsilon_m} = 625$ նմ ալիքի համար լույսի նորմալ անկման դեպքում (նկ. 1ա) և ՖԱԳ-ից հեռու $\lambda = 225$ նմ ալիքի երկարության համար կրկին նորմալ ակման դեպքում (նկ. 1բ): ԽՀԲ շերտի վրա ընկնող լույսի բևեռացումը համընկնում է առաջին (կարմիր կոր) և երկրորդ (կապույտ կոր) սեփական բևեռացումներին: Մեծ անկման անկյունների դեպքում ($\alpha \sim 65^\circ$) ամբողջությամբ դիֆրակտային անդրադարձման տիրույթ է ձևավորվում: Ավելի մեծ անկման անկյունների դեպքում ($\alpha \sim 80^\circ$ և ավելին) ուժեղ դիֆրակտվող սեփական բևեռացումը ենթարկվում է ամբողջությամբ անդրադարձման ընկնող լույսի բոլոր ալիքի երկարությունների համար: Այս անդրադարձումը դիֆրակտային բնույթ չունի, այն լրիվ ներքին անդրադարձման շնորհիվ է տեղի ունենում: Նշենք, որ լրիվ ներքին անդրադարձման երևույթը չի առաջացել նույն ալիքի երկարությունների համար, ինչ նկ. 1-ում է, երբ ԽՀԲ-ն վակուումում է ($\varepsilon_s = 1$):

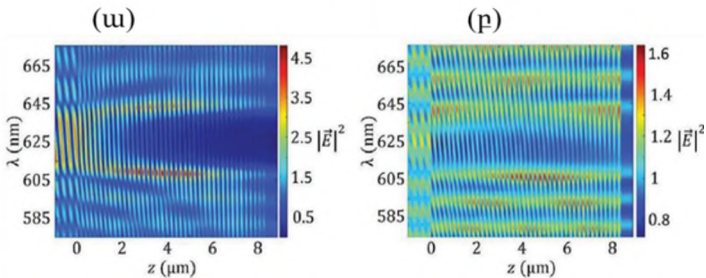


Նկ. 1. Անդրադարձման R գործակցի կախվածությունը անկման անկյունից (u) $\lambda = \rho\sqrt{\epsilon_m} = 625$ նմ և (p) $\lambda = 225$ նմ ալիքի երկարությունների համար: ԽՀԲ շերտի վրա ընկնող լույսի բևեռացումը համընկնում է առաջին (կարմիր կոր) և երկրորդ (կապույտ կոր) սեփական բևեռացումներին: ԽՀԲ շերտը ունի հետևյալ պարամետրերը՝ $p=420$ նմ, $\epsilon_1=2.29$, $\epsilon_2=2.143$, իսկ հաստությունը՝ $d=20p$

2.3 պարագրաֆում ներկայացված է լույսի թեք անկման դեպքում ԽՀԲ շերտում լույսի տեղայնացման խնդիրը: Դիտարկվել է ԽՀԲ շերտը, որը գտնվում է երկու իզոտրոպ կիսատարածությունների միջև: Նկարագրված խնդրի դեպքում լրիվ էլեկտրական դաշտը կլինի՝

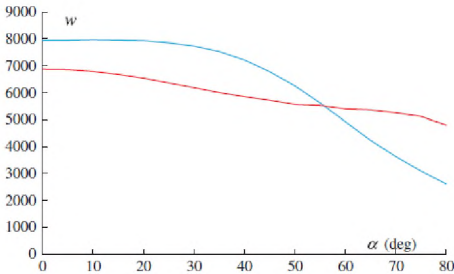
$$\vec{E} = \begin{cases} \vec{E}_i(z) + \vec{E}_r(z), z < 0 \\ \vec{E}_{in}(z), 0 < z < d \\ \vec{E}_t(z), z > d \end{cases} \quad (1)$$

որտեղ \vec{E}_i , \vec{E}_r և \vec{E}_t -ն համապատասխանաբար ընկնող, անդրադարձող և անցնող դաշտերն են, իսկ \vec{E}_{in} -ը ԽՀԲ -ում լրիվ դաշտն է, որտեղ z առանցքը ուղղված է ԽՀԲ-ի պարույրի առանցքով:



Նկ. 2. Լույսի տեղայնացման սպեկտրերը ԽՀԲ -ի ուղղորդի z առանցքի երկայնքով ուժեղ (u) և թույլ (p) դիֆրակտվող սեփական բևեռացումների համար: Մյուս պարամետրերը նույնն են, ինչ նկ. 1-ում են

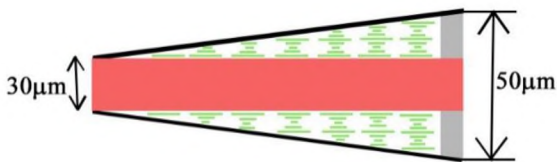
Ինչպես երևում է նկ. 2-ի գրաֆիկներից, լույսի ուժեղ տեղայնացում տեղի է ունենում ուժեղ դիֆրակտվող սեփական բևեռացմամբ լույսի համար և ՖԱԳ-ի սահմաններին մոտ հաճախությունների համար (615-635նմ): Այս պարագրաֆում ներկայացված է նաև 0° , 40° և 80° անկման անկյունների դեպքում ԽՀԲ-ից լույսի անդրադարձման գործակցի, նորմավորված ֆոտոնային վիճակների խտության, լույսի էներգիայի խտության միջինացված գրաֆիկները, ինչպես նաև $|E|^2$ լույսի տեղայնացման սպեկտրերը ՖԱԳ-ի կենտրոնական ալիքի երկարության, ՖԱԳ-ի երկարալիքային և կարճալիքային տիրույթի առավելագույնների և նվազագույնների առաջին և երկրորդ մոդաների համար (տե՛ս ատենախոսության նկ. 2.7, 2.10, 2.11-ը): Այս արդյունքներն ամփոփելով կարելի է պնդել, որ լույսի տեղայնացումը տարբեր կերպ է փոխվում ՖԱԳ-ի տարբեր եզրերում լույսի թեք անկման դեպքում: Մասնավորապես, միջինացված լուսային էներգիան կարճալիքային եզրում դանդաղորեն աճում է անկման անկյան մեծացմանը զուգընթաց մինչև $\alpha \sim 30^\circ$ դեպքում, այնուհետև այն սկսում է կտրուկ նվազել: Երկարալիքային եզրի մոդայի համար միջինացված էներգիայի խտությունը սկսում է դանդաղորեն նվազել անկման անկյան մեծացմանը զուգահեռ և $\alpha \sim 80^\circ$ ից սկսած կտրուկ նվազել: Լույսի փոքր անկման անկյունների դեպքում էներգիայի խտությունը երկարալիքային եզրի մոդայում ավելի փոքր է, քան կարճալիքային եզրի մոդայում, մինչդեռ մեծ անկման անկյունների դեպքում տեղի ունի հակառակ պատկերը:



Նկ. 3. ԽՀԲ շերտում միջինացված լուսային էներգիայի խտության կախվածությունը անկման անկյունից կարճալիքային ($m = +1$ կապույտ կոր) և երկարալիքային ($m = -1$ կարմիր կոր) եզրերի մոդաների համար

Երրորդ գլխում ներկայացված է ԽՀԲ-ից և ներկանյութով հարստացված պոլիմերային շերտից (ՆՀՊԹ) կազմված բազմաշերտ համակարգի սպեկտրային առանձնահատկությունները: Այն կազմված է ներածությունից, երեք պարագրաֆներից և ամփոփումից: **3.1 պարագրաֆը ներածությունն** է, որտեղ խոսվում է շերտավոր համակարգի կարևորության մասին, մասնավորապես բարակ իզոտրոպ կամ անիզոտրոպ շերտ ներմուծելով ՀԲ-ում արատային մոդաների գեներացման մասին: **3.2 պարագրաֆը** փորձարարական է, այն կազմված է երկու ենթակետերից, որոնցից մեկում ներկայացված է նմուշի պատրաստման գործընթացը, իսկ մյուսում ներկայացված է եռաշերտ համակարգից անդրադարձման սպեկտրը գրանցելու համար նախատեսված փորձարարական սարքի գծապատկերը: Այս և վերջին գլխում օգտագործվել է նկ. 4-ում ներկայացված եռաշերտ ՀԲ-ային բջիջը: Նախ

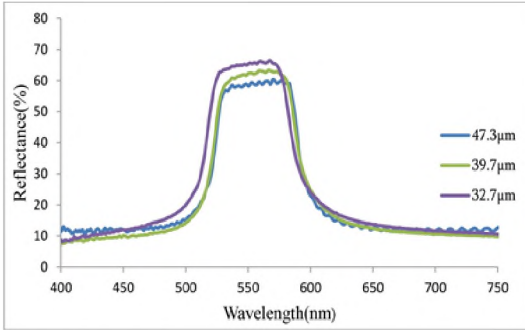
բջջի ապակյա տակդիրների մակերևույթները ենթարկվել են մաքրման, այնուհետև դրանք պատվել են պոլիմիդի համասեռ և բարակ շերտով, օգտագործելով կենտրոնախուսակային սարք՝ սկզբում 500պտոպտ/րոպե արագությամբ 5լրկ տևողությամբ, այնուհետև 25լրկ տևողությամբ 3000պտոպտ/րոպե արագությամբ: Պոլիմիդի համասեռ շերտով պատված ապակիներին սաթի կտորի միջոցով հակազուգահեռ ուղղություններով նրբախազեր են արվել, մոլեկուլներին պլանար կողմնորոշում տալու նպատակով և ապակե մակերևույթները մի կողմից բաժանվել են 10մկմ հաստությամբ միջադիրով, որն էլ ապահովել է բջջի սեպաձևությունը: Փորձում MDA-02-3211 ԽՀԲ խառնուրդն է օգտագործվել, որը սենյակային ջերմաստիճանում բնութագրվում է $p=347$ նմ քայլով: Նրա միջին բեկման ցուցիչը 20°C-ում 589.3նմ ալիքի համար $n_a = 1.604$ ($n_o = 1.7013$ և $n_e = 1.5064$ սովորական և անսովոր բեկման ցուցիչներով) և այն ունի աջ պարուրախոյություն: Ներկանյութով հարստացված պոլիմերային շերտ ստանալու համար լուսամշակվող ակրիլիկ տեսակի հեղուկ պոլիմեր (լուսամշակվող ռեզինային հեղուկ պոլիմեր) և Rhodamine 6G ներկանյութ է օգտագործվել: Իզոտրոպ արատային շերտը պատրաստվել է լուսապոլիմերման միջոցով՝ օգտագործելով ոպտրամանուշակագույն լույս: ՆՀՊԹ-ի բեկման ցուցիչը $n=1.68$ է:



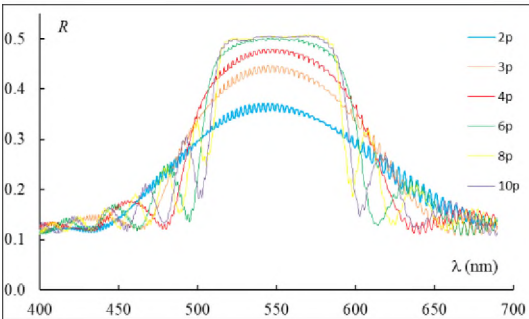
Նկ. 4 ԽՀԲ-ՆՀՊԹ-ԽՀԲ սեպաձև համակարգի գծապատկերը

3.3 պարագրաֆում ներկա-յացված են փորձի արդյունքները և քննարկումը: Մասնավորապես գրանցվել է ԽՀԲ-ՆՀՊԹ-ԽՀԲ համակարգից չբևեռացված լույսի անդրադարձման սպեկտրերը բջջի երեք հաստություններին համապատասխանող տիրույթներում (տես նկ. 5-ը): Տեսածրման արդյունքներից կարելի է նկատել, որ սեպաձև բջջի փոքր հաստությամբ հատվածից մեծ հաստությամբ հատված շարժվելիս դիտվում է անդրադարձման սպեկտրի երկարալիքային շեղում: Սպեկտրի երկարալիքային շեղումից բացի նկատվում է նաև, որ արատային մոդաները սպեկտրի երկարալիքային եզրում ավելի շատ են, քան կարճալիքային եզրում: Ավելին, եռաշերտ համակարգի հաստության մեծացմանը զուգընթաց ՖԼԳ-ից անդրադարձման թեթևակի նվազում է նկատվում, որը տեղի է ունենում շնորհիվ ԽՀԲ մոլեկուլների կարգավորվածության աստիճանի նվազման բջջի հաստության մեծացման հետևանքով: **3.4 պարագրաֆում** ներկայացված է Համբարձումյանի շերտերի գումարման մեթոդով մոդելավորմամբ ստացված ԽՀԲ շերտերի տարբեր հաստությունների դեպքում համակարգից անդրադարձման սպեկտրերը: Այստեղ ԽՀԲ շերտերի հաստությունները միմյանց հավասար են $d_1 = d_2 = d$, իսկ ընկնող լույսը չբևեռացված է: Փորձարարական արդյունքների հետ համեմատելու համար անհրաժեշտ է կատարել միջինացում և՛ ըստ անկման անկյան (0° անկյան

շրջակայքում), և՛ ըստ ալիքի երկարության: Նկ. 6-ում ներկայացված է միջինացված անդրադարձման սպեկտրը տարբեր հաստության ԽՀԲ-ների համար:

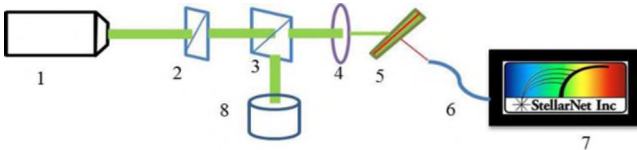


Նկ. 5. ԽՀԲ-ՆՀՊԹ-ԽՀԲ սեպան համակարգից փորձնականորեն գրանցված անդրադարձման սպեկտրերը բջջի երեք տարբեր հաստություններին համապատասխանող դիրքերում (47.3մկմ, 39.7մկմ, 32.7մկմ)



Նկ.6. ԽՀԲ-ՆՀՊԹ-ԽՀԲ համակարգից միջինացված անդրադարձման սպեկտրը: ԽՀԲ-ի հաստությունը փոխվում է $d = 2p$, $d = 3p$, $d = 4p$, $d = 6p$, $d = 8p$, $d = 10p$, որտեղ p -ն ԽՀԲ-ի քայլն է

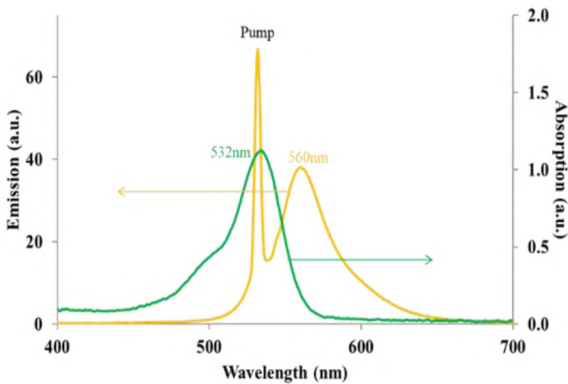
Չորրորդ գլխում ներկայացված է ԽՀԲ-ՆՀՊԹ-ԽՀԲ համակարգից լազերային գեներացիայի առանձնահատկությունները: Այն կազմված է ներածությունից, հինգ պարագրաֆներից և ամփոփումից: **4.1 պարագրաֆը ներածությունն** է, որտեղ հակիրճ ներկայացված է ԽՀԲ-ային հիմքով լազերների կատարելագործման հնարավորությունները: **4.2 պարագրաֆում** ներկայացված է փորձարարական նմուշի պատրաստումը, որը համընկնում է նկ. 4-ի հետ և փորձարարական սարքի գծապատկերը (նկ. 7), որը նախատեսված է ԽՀԲ-ՆՀՊԹ-ԽՀԲ համակարգից լազերային գեներացիա գրանցելու համար:



Նկ. 7. Լազերային ճառագայթում գրանցելու փորձարարական սարքի գծապատկերը 1. Լազերը, 2. Կեսալիքային փուլային թիթեղիկը, 3. Փնջի բևեռացումային բաժանարարը, 4. 100մմ կիզակետային հեռավորությամբ ոսպնյակը, 5. ԽՀԲ-ՆՀՊԹ-ԽՀԲ նմուշը, 6. Լուսատարը, 7. Սպեկտրոմետրը, 8. Հզորաչափը

ԽՀԲ-ՆՀՊԹ-ԽՀԲ բջջի օպտիկական մղումն իրականացվել է 532նմ ալիքի երկարությամբ, 12նվ տևողությամբ և 12.5Հց հաճախությամբ իմպուլսային լազերով: Մղող փնջի հզորությունը ղեկավարելու նպատակով օգտագործվել է կեսալիքային փուլային թիթեղիկ և բևեռացումային փնջի բաժանարար: Լազերային փունջը կիզակետվել է նմուշի վրա 100մմ կիզակետային հեռավորությամբ ոսպնյակով, բջջի նորմալի նկատմամբ 45° անկյան տակ: Լազերային ճառագայթումը ԽՀԲ եռաշերտ համակարգից գրանցվել է StellarNet սպեկտրոմետրի միջոցով, որի լուծողունակությունը 0.75նմ է:

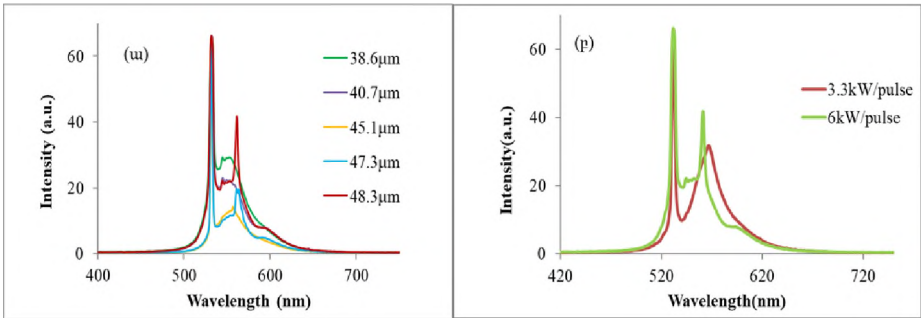
Նախքան բջջի պատրաստելը հետազոտվել է ՆՀՊԹ-ի կլանման և ճառագայթման սպեկտրերը (Նկ. 8), իսկ **4.2.1 ենթապարագրաֆում** ներկայացված է այդ թաղանթի օպտիկական հատկությունների վերաբերյալ հետազոտություններ, մասնավորապես գրանցվել է ՆՀՊԹ-ի կլանման սպեկտրը, նախքան խառնուրդի լուսապլիմերումը և դրանից հետո, որտեղից երևում է, որ լուսապլիմերումից հետո նկատվում է կլանման մոտավորապես 10% չափով նվազում, հավանաբար ոպտրամանուշակագույն լույսի ազդեցությամբ ներկանյութի մոլեկուլների դեգրադացիայի շնորհիվ: Այնուհետև փորձնականորեն ուսումնասիրվել է նաև աջ և ձախ շրջանային բևեռացված լույսի անցումը նվաճ շերտով և ցույց է տրվել, որ շերտը իզոտրոպ է, քանի որ անցման գործակիցը գրեթե նույնն է մնում լույսի աջ և ձախ բևեռացումների համար:



Նկ. 8. ՆՀՊԹ-ի կլանման և ճառագայթման սպեկտրը

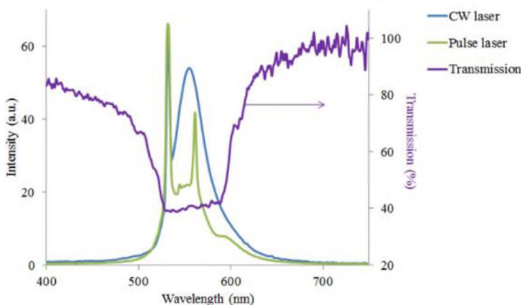
Այնուհետև **4.3 պարագրաֆում** սեպաձև բջիջը տեսաձերելով և հաստատուն պահելով մղող փնջի հզորությունը գրանցել ենք լազերային ճառագայթում (Նկ. 9): Քանի որ ՆՀՊԹ-ի հաստությունը 30մկմ է, ինչը բավականին հաստ է համարվում, ուստի արատային

մոդաները միմյանց բավականին մոտ են դասավորվել և նեղ լազերային գագաթներ չեն առաջացել:



Նկ. 9. (ա) սեպածն ԽՀԲ-ՆՀՊԹ համակարգից փորձնականորեն գրանցված լազերային ճառագայթումը բջջի տարբեր հաստությունների համար, երբ մղման միջին հզորությունը հաստատուն 6կՎտ/իմպուլս է, (բ) 561նմ ալիքի երկարությամբ լազերային գագաթի վարքը, երբ մղման միջին հզորությունը 3,3կՎտ/իմպուլս և 6կՎտ/իմպուլս է

Բարձր մղման հզորությունների դեպքում, բացի 561նմ ալիքի երկարությամբ գագաթի նոր գագաթներ են առաջանում արատային մոդաներից: Մղման էներգիան բաշխվում է այդ նոր գագաթների միջև այդ պատճառով որոշակի գագաթների ինտենսիվությունը ցածր է ստացվել: Նաև արատային մոդաների միմյանց մոտ գտնվելու պատճառով որոշ գագաթներ վերածածկվել են: Նկ. 10-ում պատկերված է ևս մեկ փորձարարական հետազոտության արդյունք, որտեղ իմպուլսային լազերի փոխարեն օգտագործվել է 532նմ ալիքի երկարությամբ և 20մՎտ հզորությամբ անընդհատ լազեր: Այս դեպքում գրանցվել է ֆլուորեսցենցիայի սպեկտրը սեպածն համակարգից և, ինչպես նկատվում է գրաֆիկներից, անընդհատ և իմպուլսային մղման դեպքերում գրանցված ճառագայթումը տարբեր է, ինչը ցույց է տալիս, որ իմպուլսային մղման ժամանակ գրանցվել է լազերային ճառագայթում: Բացի այդ, նկ. 10-ից երևում է, որ գրանցված լազերային գագաթները առաջացել են ՖԱԳ-ի ներսի արատային մոդաներից:



Նկ. 10. Սեպածն ԽՀԲ-ՆՀՊԹ համակարգից փորձնականորեն գրանցված լազերային ճառագայթման (Pulse laser), ֆլուորեսցենցիայի (CW laser) և անցման (Transmission) սպեկտրերը

Փորձնական եղանակով գնահատվել է նաև լազերային գեներացիա ստանալու համար անհրաժեշտ մղման շեմային իզոլությունը, որը տվյալ եռաշերտ համակարգի համար 0.8կՎտ/իմպուլս է: **4.4 պարագրաֆում** ներկայացված է ԽՀԲ-ՆՀՊԹ համակարգի ՖՎԽ-ի վարքը ԽՀԲ շերտերի և արատային շերտի հաստության փոփոխման դեպքում: Արատային մոդաների քանակը կախված է իզոլորոպ շերտի հաստությունից և այն մեծանում է շերտի հաստության մեծացմանը զուգահեռ, մինչդեռ ԽՀԲ շերտերի հաստությունը չունի ազդեցություն արատային մոդաների քանակի վրա, այն փոխում է ՖՎԽ-ն: **4.5 պարագրաֆում** Բերեմանի 4x4 մատրիցական մեթոդով հաշվարկվել է ԽՀԲ-ՆՀՊԹ-ԽՀԲ համակարգից չբևեռացված լույսի անցման սպեկտրը, երբ իզոլորոպ շերտի երկու սահմաններին ԽՀԲ-ի ուղղորդի կողմնորոշումը միմյանց ուղղահայաց է եղել: ՆՀՊԹ-ի երկու սահմանները ազատ են և չունեն որևէ սահմանային պայմաններ, որը ազդում է ԽՀԲ մոլեկուլների վրա: Դիելեկտրիկ շերտի երկու կողմում ԽՀԲ-ների ուղղորդների կողմնորոշումը որոշվում է ԽՀԲ-ների հաստություններով: Հաշվարկները կատարվել են իզոլորոպ շերտի տարբեր բեկման ցուցիչների և ԽՀԲ շերտերի 4.3-9.5մկմ հաստության դեպքում: Այս բոլոր դեպքերում և՛ պարբերական, և՛ անընդհատ բաշխվածությամբ արատային մոդաներ են նկատվել ՖԱԳ-ի ներսի որոշակի սպեկտրային գծի երկայնքով: Արատային մոդաների այսպիսի վարքը ՆՀՊԹ շերտի երկու կողմերում ԽՀԲ-ի սահմաններին լույսի բազմակի անդրադարձմամբ պայմանավորված փուլի առաջացման արդյունք է: Ինչպես հայտնի է, այսպիսի ԽՀԲ կառուցվածքից անդրադարձած լույսը ձեռք է բերում ուղղորդի կողմնորոշմամբ պայմանավորված փուլ, այսպես կոչված երկրաչափական փուլ, որը ընկնող լույսի այիքի երկարությունից անկախ է և միայն որոշվում է ԽՀԲ-ների ուղղորդի կողմնորոշմամբ, այսինքն անդրադարձման մակերևույթին ԽՀԲ-ի տեղային օպտիկական առանցքի ազիմուտալ անկյամբ: Փորձարարական արդյունքները ստուգելու նպատակով հաշվարկել ենք ընկնող հարթ այիքի անցման սպեկտրը տեսանելի տիրույթում $n = 1.68$ բեկման ցուցիչով և 30մկմ հաստությամբ իզոլորոպ շերտի համար: Արատային մոդայի այիքի երկարությունները համեմատաբար լավ համընկել են փորձարարական սպեկտրի մոդաների հետ: Եվ վերջին **4.6 պարագրաֆում** ներկայացվել է նշված եռաշերտ համակարգից գրանցված լազերային ճառագայթման բևեռացմանը նվիրված փորձարարական հետազոտություն: Տույց է տրվել, որ հնարավոր է գծային բևեռացմամբ օպտիկական մղում օգտագործելով գեներացնել շրջանային բևեռացմամբ լազերային ճառագայթում ոչ խիրալ, ֆլուորեսցենտ ներկանյութով հարստացված պոլիմերային շերտից, որը գտնվում է երկու նույնական ԽՀԲ շերտերի միջև:

ԱՄՓՈՓՈՒՍ

Սույն ատենախոսական աշխատանքում ուսումնասիրված է լույսի թեք անկմամբ տարածման խնդիրը պլանար կողմնորոշմամբ ԽՀԲ-ային շերտում, ինչպես նաև տեսականորեն և փորձնական եղանակով հետազոտվել է սեպաձև ԽՀԲ-ային շերտում ներդրված հարթ իզոտրոպ շերտից կազմված համակարգի սպեկտրային առանձնահատկությունները: Ուսումնասիրվել է նաև նշված համակարգի արատային մոդաների համար լազերային ճառագայթում ստանալու հնարավորությունը:

Տեսական հաշվարկները ցույց են տվել, որ ԽՀԲ-ային շերտի վրա լույսի թեք անկման դեպքում ՖԱԳ-ի երկու եզրերում լույսի տեղայնացումը տարբեր է, մասնավորապես լույսի փոքր անկման անկյունների դեպքում էներգիայի խտությունը երկարալիքային եզրի մոդայում ավելի փոքր է, քան կարճալիքային եզրի մոդայում, մինչդեռ մեծ անկման անկյունների դեպքում հակառակ պատկերը տեղի ունի:

Ուսումնասիրվել է նաև սեպաձև ԽՀԲ-ում ներդրված ՆՀՊԹ-ից կազմված համակարգի օպտիկական հատկությունները, մասնավորապես հնարավոր է եղել ստանալ արատային մոդաներ ՖԱԳ-ի ներսում, որոնք նույն բնույթի են, ինչ Ֆաբրի-Պերոյի ռեզոնատորի մոդաները, քանի որ այս դեպքում ԽՀԲ-ները հանդիսացել են դիֆրակտային հայելիներ, իսկ ներդրված ՆՀՊԹ-ն՝ ակտիվ միջավայր: Տեսական հաշվարկները ցույց են տվել, որ փոփոխելով ԽՀԲ-ի հաստությունը հնարավոր է փոխել մոդաների համար ՖՎԽ-ը և այն չի ազդում մոդաների քանակի վրա: Մեկ այլ մոդելով էլ, որը ավելի մոտ է փորձարարական դեպքին, ցույց է տրվել որ ՖԱԳ-ի ներսի սպեկտրային գծի երկայնքով հնարավոր է ստանալ ինչպես անընդհատ, այնպես էլ պարբերական կերպով արատային մոդաների գեներացում, ինչը կապված է ՆՀՊԹ-ի սահմանին ԽՀԲ-ի ուղղորդի կողմնորոշմամբ: Փորձնականորեն հետազոտվել է նաև ԽՀԲ-ՆՀՊԹ սեպաձև համակարգից գրանցված լազերային ճառագայթման բևեռացումը և ցույց է տրվել, որ գծային բևեռացմամբ օպտիկական մղում կիրառելով հնարավոր է ստանալ շրջանային բևեռացմամբ լազերային ճառագայթում:

Այսպիսով, ատենախոսական աշխատանքում ստացված հիմնական արդյունքներն են՝

1. Առաջին անգամ, տեսականորեն ցույց է տրվել, որ ՖԱԳ-ի, ինչպես կարճալիքային, այնպես էլ երկարալիքային եզրերի ալիքների համար լույսի տեղայնացումը տարբեր է կախված լույսի անկման անկյունից, մասնավորապես լույսի փոքր անկման անկյունների դեպքում էներգիայի խտությունը երկարալիքային եզրի մոդայում ավելի փոքր է, քան կարճալիքային եզրի մոդայում, մինչդեռ մեծ անկման անկյունների դեպքում տեղի ունի հակառակ պատկերը: Ինչպես նաև ցույց է տրվել, որ մեծ անկման անկյունների դեպքում լույսի լրիվ ներքին անդրադարձում կարող է դիտվել սեփական մոդաների համար, երբ դիէլեկտրիկ սահմանները փոքրագույն ազդեցություն ունեն լույսի տարածման վրա:
2. Առաջին անգամ փորձնականորեն ուսումնասիրվել է սեպաձև ԽՀԲ-ՆՀՊԹ համակարգի օպտիկական հատկությունները և ցույց է տրվել, որ սեպաձև ԽՀԲ-

ՆՀՊԹ համակարգի ՖԱԳ-ում ի հայտ են գալիս արատային մոդաներ, որոնք նման են Ֆարրի Պերոյի ռեզոնատորի մոդաներին:

3. Տեսականորեն ցույց է տրվել, որ ԽՀԲ-ՆՀՊԹ համակարգում կախված խոլեստերիկների հաստությունից կարող է փոխվել արատային մոդաների ՖՎԽ-ն և այն չի կարող ազդել մոդաների քանակի վրա:
4. Առաջին անգամ տեսական հաշվարկներով ցույց է տրվել, որ ՖԱԳ-ի ներսի սպեկտրային գծի երկայնքով հնարավոր է ստանալ ինչպես անընդհատ, այնպես էլ պարբերական կերպով արատային մոդաների գեներացիա: Այսպիսի յուրահատուկ սպեկտրային վարքը ուղղակիորեն կապված է իզոտրոպ շերտի սահմանին ԽՀԲ-ների ուղղորդի կողմնորոշմամբ:
5. Փորձնականորեն ցույց է տրվել, որ ԽՀԲ-ՆՀՊԹ համակարգի արատային մոդաներին համապատասխանող ալիքի երկարությունների համար հնարավոր է ստանալ բազմամոդ լազերային ճառագայթում:
6. Փորձնականորեն հետազոտվել է ԽՀԲ-ՆՀՊԹ համակարգից գրանցված լազերային գեներացիայի բևեռացումը և ցույց է տրվել, որ օգտագործելով գծային բևեռացմամբ օպտիկական միում նշված համակարգից հնարավոր է ստանալ շրջանային բևեռացմամբ ճառագայթում:

Գրականություն

- [1] Busch K. and John S. Liquid-Crystal Photonic-Band-Gap Materials: The Tunable Electromagnetic Vacuum. *PHYSICAL REVIEW LETTERS*, VOLUME 83, NUMBER 5, (1999)
- [2] Yablonovitch E. Inhibited Spontaneous Emission in Solid-State Physics and Electronics. *PHYSICAL REVIEW LETTERS*. VOLUME 58, NUMBER 20, (1987)
- [3] Gong Q., Hu X. Photonic crystals: Principles and Applications. Taylor & Francis Group. Pan Stanford Publishing Pte. Ltd, (2014), 13-24p 319p
- [4] Obayya S., Farhat M., Hameed O. and Fayez N. Optical Computing Devices Based on Photonic Liquid Crystal Layers. *Computational Liquid Crystal Photonics: Fundamentals, Modelling and Applications*, First Edition. John Wiley & Sons, Ltd, (2016) 229p
- [5] Yun, J., Kim, S., So, S., Kim, M. and Rho, J. Deep learning for topological photonics. *Advances in Physics: X*, 7(1), (2022), p. 2046156
- [6] Park, W., Park, H., Choi, Y.S. and Yoon, D.K. Optical Rotation-Based Tunable Color Filter Using Chiral Photonic Crystal. *Advanced Optical Materials*, 10(22), (2022), p. 2201099
- [7] Coles H., & Morris S. Liquid-crystal lasers. *Nature Photonics*, 4(10), (2010), pp. 676–685
- [8] Mysliwiec J., Szukalska A., Szukalski A. and Sznitko L.. Liquid crystal lasers: the last decade and the future. *Nanophotonics* vol. 10(9), 2021, pp. 2309–2346

Հրատարակված աշխատանքների ցուցակ

Գիտական հոդվածներ

1. Rafayelyan M.S., Gharagulyan H., Sarukhanyan T.M., Gevorgyan A.H., Hakobyan R.S., Alaverdyan R.B. Light energy accumulation by cholesteric liquid crystal layer at oblique incidence, *Liquid Crystals (Q2)*, 46(7), (2019), pp. 1079-1090.
2. Gharagulyan H., Sarukhanyan T.M., Ninoyan A.V., Gevorgyan A.H., and Alaverdyan R.B. Spectral Peculiarities of Multilayer Cholesteric Wedge-Cell System with Dye-Doped Polymer Layer, *Optics and Spectroscopy (Q3)*, 128(10), (2020), pp. 1644-1648.
3. Sarukhanyan T.M. The Polarization of Laser Generation from the Cholesteric Liquid Crystal–Dye-Doped Polymer Layer–Cholesteric Liquid Crystal System. *Journal of Contemporary Physics (Armenian Academy of Sciences) (Q4)*, 56(2), (2021), pp. 103-108.
4. Sarukhanyan T.M., Gharagulyan H., Sargsyan M.L., Grigoryan H., Gevorgyan A.H., Alaverdyan R.B., Hakobyan R.S. Lasing peculiarities in cholesteric multilayer structure with dye-doped polymer film depending on the concentration of laser dye and pumping energy. *Proceedings of Optics of Liquid Crystals 2019 (OLC-2019)*, *Molecular Crystals and Liquid Crystals (Q3)*, 713(1), (2021), pp. 15-25
5. Sarukhanyan T.M., Gharagulyan H., Rafayelyan M.S., Golik S.S., Gevorgyan A.H., Alaverdyan R.B. Multimode Robust Lasing in a Dye-Doped Polymer Layer Embedded in a Wedge-Shaped Cholesteric. *Molecules (Q2)*, 26(19), (2021), pp. 6089-6099

Կոնֆերանսների թեզիսներ

1. Sarukhanyan T. M., Gharagulyan H., Gevorgyan A. H., Alaverdyan R. B. Lasing in Cholesteric-Polymer Wedge-Cell System, *Book of Abstracts of Laser Physics 2018*, Ashtarak, Armenia, p 49
2. Gharagulyan H., Sarukhanyan T., Rafayelyan M., Gevorgyan A.H., Alaverdyan R.B. The light localization peculiarities in the planar cholesteric liquid crystalline layer at the oblique incidence. *Book of Abstracts of ACLC-2019*, Shenzhen, China, p. 125
3. Sarukhanyan T.M., Gharagulyan H., Alaverdyan R.B., Gevorgyan A.H. Lasing in three-layer cholesteric-dye-doped polymer-cholesteric sandwich cell, *Book of Abstracts of Laser Physics 2019*, Ashtarak, Armenia, p 32
4. Sarukhanyan T.M., Gharagulyan H., Gevorgyan A.H., Alaverdyan R.B. Thermal influence on the optical properties of a cholesteric-polymer layer-cholesteric system. *Book of Abstracts of Optics-2019*, Yerevan, Armenia, p 106
5. Sarukhanyan T.M., Gharagulyan H., Gevorgyan A.H., Alaverdyan R.B. Lasing polarization peculiarities in cholesterics separated by dye-doped polymeric layer, *Book of Abstracts of Optics Virtual 2020*, Paris, France, Online webinar, p 30

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации изучена проблема наклонного распространения света в планарно-ориентированном холестерическом жидкокристаллическом (ХЖК) слое, а также теоретически и экспериментально исследованы спектральные характеристики системы, состоящей из изотропного слоя, внедренного в клиновидный ХЖК слой. Также исследована возможность лазерной генерации для дефектных мод указанной системы.

Теоретические расчеты показали, что в случае наклонного падения света на ХЖК локализация света на двух краях фотонной запрещенной зоны (ФЗЗ) разная. Плотность световой энергии на длинноволновой краевой моде меньше, чем на коротковолновой краевой моде для малых углов падения, в то время как в случае больших углов падения происходит обратная картина. Также были изучены оптические свойства системы, состоящей из слоев полимера, легированного красителем (СПЛК), внедренного в клиновидный ХЖК. Удалось получить дефектные моды внутри ФЗЗ, которые имеют то же происхождение, что и моды резонатора Фабри-Перо, поскольку в данном случае ХЖК являются дифракционными зеркалами, а внедренный СПЛК - активной средой для лазера. Теоретические расчеты показали, что, изменяя толщину ХЖК, можно изменять плотность фотонных состояний (ПФС) для дефектных мод и это не влияет на количество мод. С помощью другой модели, которая ближе к экспериментальному случаю, показано, что можно получить как периодическую, так и непрерывную генерацию дефектных мод вдоль определенных спектральных линий внутри ФЗЗ. Такое устойчивое спектральное поведение индуцированных дефектных мод наблюдается впервые и напрямую связано с геометрически-фазовой природой спиралей ХЖК вокруг изотропного дефектного слоя. Поляризация лазерного излучения, регистрируемого от клиновидной системы ХЖК-СПЛК, также была экспериментально исследована, и было показано, что можно получить круговое поляризованное лазерное излучение, используя линейно поляризованную оптическую накачку.

В рамках диссертации получены следующие основные результаты:

1. Впервые теоретически показано, что локализация света для коротковолновой и длинноволновой краевых мод ФЗЗ различается в зависимости от угла падения света, в частности, при малых углах падения света плотность энергии в длинноволновой краевой моде меньше, чем в коротковолновой краевой моде, а при больших углах возникает обратная картина. Также было показано, что при больших углах падения полное внутреннее отражение света может наблюдаться для собственных мод, где диэлектрические границы оказывают минимальное влияние на распространение света.

2. Впервые экспериментально исследованы оптические свойства клиновидной системы ХЖК-СПЛК и показано, что в ФЗЗ клиновидной системы ХЖК-СПЛК возникают дефектные моды, похожие на моды резонатора Фабри-Перо.
3. Теоретически показано, что ПФС дефектных мод может изменяться в зависимости от толщины холестериков в системе ХЖК-СПЛК и не может влиять на количество мод.
4. Впервые теоретическими расчетами было показано, что можно получить как непрерывную, так и периодическую генерацию дефектных мод вдоль внутренней спектральной линии ФЗЗ. Такое уникальное спектральное поведение напрямую связано с характером ориентации директора ХЖК на границе изотропного слоя.
5. Экспериментально показана возможность получения многомодового лазерного излучения для длин волн, соответствующих модам дефектов системы ХЖК-СПЛК.
6. Экспериментально исследована поляризация лазерной генерации, регистрируемой системой ХЖК-СПЛК, и показано, что при использовании линейно поляризованной оптической накачки можно получить лазерную генерацию с круговой поляризованностью.

SUMMARY

The problem of oblique propagation of light in a planar-oriented cholesteric liquid crystalline (CLC) layer is studied, as well as, the spectral characteristics of a system consisting of an isotropic layer embedded in a wedge-shaped CLC layer are theoretically and experimentally investigated in the PhD thesis. The possibility of laser generation for the defect modes of the mentioned system is also studied.

The theoretical calculations have shown that in the case of oblique light incidence on the CLC layer, the localization of light on the two edges of the photonic bandgap (PBG) is different. The light energy density on the long-wavelength edge mode is less than on the short-wavelength edge mode for small incidence angles while in the case of large incidence angles the reverse picture takes place. The optical properties of the system composed of the dye-doped polymer layer (DDPL) embedded in the wedge-shaped CLC were also studied. It was possible to obtain defect modes inside the PBG, which are of the same origin as the modes of the Fabry-Perot resonator because in this case, the CLCs serve as diffraction mirrors and the embedded DDPL is an active medium for the laser. Theoretical calculations have shown that by changing the thickness of the CLC, it is possible to change the density of states (DOS) for the defect modes and it does not affect the number of modes. Using another model, closer to the experimental case, it is shown that both continuous and periodic generation of defect modes can be obtained along particular spectral lines inside the PBG. which is related to the orientation of the CLC optical axis along the border of DDPL. Such robust spectral behavior of induced defect modes is observed for the first time and it is directly related to the geometric-phase nature of CLC helices around the isotropic defect layer. The polarization of the laser radiation recorded from the wedge-shaped system of the CLC-DDPL was also experimentally investigated and it was shown the possibility of obtaining circularly polarized laser radiation using a linearly polarized excitation.

Summarizing, the following main results are obtained in the framework of the dissertation:

1. For the first time, it was theoretically shown that the localization of light for both short-wavelength and long-wavelength edge modes of PBG is different depending on the light incidence angle. At small light incidence angles, the energy density in the long-wavelength edge mode is less than in the short-wavelength mode, while at large angles the opposite picture occurs. It is also theoretically shown that at large incidence angles, a total internal reflection of light can be observed for eigenmodes when dielectric boundaries have a minimal effect on the light propagation.
2. For the first time, the optical properties of the wedge-shaped CLC-DDPL system were experimentally studied and it was shown that defect modes similar to Fabry-Perot resonator modes appear in the PBG of the wedge-shaped CLC-DDPL system.

3. It was shown that the DOS of defect modes can change depending on the thickness of cholesterics in the CLC-DDPL system and it cannot affect the number of modes.
4. For the first time, it was theoretically shown that it is possible to obtain both continuous and periodic generation of defect modes along the internal spectral line of the PBG. Such robust spectral behavior is directly related to the nature of the orientation of the director of the CLCs at the boundary of the isotropic layer.
5. It was experimentally shown that it is possible to obtain multimode laser radiation for the wavelengths corresponding to the defect modes of the CLC-DDPL system.
6. The experimental investigation of the polarization of the laser generation recorded from the CLC-DDPL system shows that using a linearly polarized optical pumping it is possible to obtain circularly polarized laser generation from the mentioned system.