

ՀՀ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ
ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

Գալստյան Օգսեն Արամի

ՄԱԳՆԻՏՈՊՏԻԿԱԿԱՆ ԲԱՐԱԿ ԹԱՂԱՆԹՆԵՐ ՄԱԳՆԻՏԱԿԱՆ ԴԱՇՏԵՐԻ
ՊԱՏԿԵՐԱԳՐՄԱՆ ՀԱՄԱՐ

Ա.04.03 – “Ռադիոֆիզիկա” մասնագիտությամբ
ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի
գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ-2015

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РА
ЕРЕВАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Галстян Огсен Арамович

МАГНИТООПТИЧЕСКИЕ ТОНКИЕ ПЛЕНКИ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ
МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертации на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности
01.04.03 – “Радиофизика”

ЕРЕВАН - 2015

Ատենախոսության թեման հաստատվել է ՀՀ ԳԱԱ Ռադիոֆիզիկայի և
Էլեկտրոնիկայի ինստիտուտում:
Գիտական ղեկավար՝ ֆիզ.-մաթ. գիտ. դոկտոր Ա. Ա. Հախումյան


Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ ֆիզ.-մաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր
Խ. Վ. Ներկարարյան
ֆիզ.-մաթ. գիտ. դոկտոր Ժ. Ս. Գևորգյան

Առաջատար կազմակերպություն՝ ՀՀ ԳԱԱ Ֆիզիկական հետազոտությունների
ինստիտուտ

Ատենախոսության պաշտպանությունը կայանալու է 2015 թ. հունիսի 2-ին, ժամը
14:00-ին, Երևանի պետական համալսարանում գործող ֆիզիկայի 049
մասնագիտական խորհրդի նիստում: Հասցե՝ 0203, Աշտարակ, Ալիխանյան եղբ. 1,
ՀՀ ԳԱԱ ՌՖԷԻ:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ԵՊՀ գրադարանում:
Սեղմագիրն առաքված է 2015 թ. մայիսի 2-ին:

Մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար,
ֆիզ.-մաթ. գիտ. թեկնածու, դոցենտ



Վ.Պ.Քալանթարյան

Тема диссертации утверждена в Институте Радиофизики и Электроники НАН РА.

Научный руководитель: доктор физ.-мат. наук
А. А. Ахумян

Официальные оппоненты: доктор физ.-мат. наук, профессор
Х. В. Неркарян
доктор физ.-мат. наук Ж. С. Геворгян

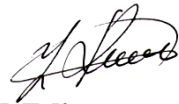
Ведущая организация: Институт физических исследований НАН РА

Защита диссертации состоится 2 июня 2015 г., в 14:00 часов, на заседании
специализированного совета физики 049 при Ереванском Государственном
Университете по адресу: 0203, Аштарак, ул. бр. Алиханян 1, ИРФЭ НАН РА.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕГУ.

Автореферат разослан 2 мая 2015 г.

Ученый секретарь специализированного совета
кандидат физ.-мат. наук., доцент



В.П. Калантарян

Աշխատանքի ընդհանուր բնութագիրը

Ատենախոսության արդիականությունը

Ատենախոսությունը վերաբերվում է մագնիսական դաշտերի պատկերագրման մագնիսաօպտիկական եղանակին, որտեղ որպես տվիչներ օգտագործվում են մեծ Ֆարադեյի պտտման անկյուն ունեցող մագնիսաօպտիկական բարակ թաղանթները: Վերջին ժամանակներում տվյալ պատկերագրման եղանակը կրկին բուռն զարգացում է ապրում, ինչը պայմանավորված է մագնիսաօպտիկական պատկերագրման (ՄՕՊ) հնարավոր կիրառմամբ սպինտրոնիկայում, քանի որ ենթադրվում է ՄՕՊ-ը կարող է հիանալի գործիք լինել ապագայի սպինտրոնային սարքերի ոչ խոտորող գնման համար:

ՄՕՊ եղանակի կիրառման ոլորտներն են՝ էլեկտրոնային և գերբարձր հաճախային (ԳԲՀ) սարքերի գնումը, ուսումնասիրության տակ գտնվող նմուշների մագնիսական կառուցվածքների պատկերագրումը, գերհաղորդիչներում մագնիսական մրրիկների կառուցվածքի գրանցումը, մետաղական նմուշներում մակերևութային և ենթամակերևութային արատների գրանցումը և այլն:

Գոյություն ունեն մագնիսական դաշտերի պատկերագրման զանազան եղանակներ հիմնված տարբեր ֆիզիկական երևույթների վրա, ինչպիսիք են՝ մագնիսական ուժային մանրադիտակը, գերհաղորդիչ քվանտային ինտերֆերենսի սարքը, Հոլլի էֆեկտի տվիչը, մագնիսադիմադրողական տվիչները: Ի տարբերություն վերը նշված եղանակների, ՄՕՊ-ի հիմնական առավելություններն են՝ պարզ փորձարարական համակարգը, արագագործությունը, ինչը հնարավորություն է տալիս իրական ժամանակում ստանալ մագնիսաօպտիկական պատկերը, ինչպես նաև տարբեր ջերմաստիճանային տիրույթներում պատկերագրման հնարավորությունը և բարձր

տարածական լուծողունակությունը, որը արդի ՄՕՊ համակարգերում հասնում է 0.5 մկմ-ի:

ՄՕՊ համակարգի զգայունությունն ու ստացված պատկերների որակը ուղիղ կախում ունեն մագնիսաօպտիկական գրանցող բարակ թաղանթների հատկություններից: Բարակ թաղանթների հիմնական բնութագրերը, որոնք բարձրացնում են համակարգի զգայունությունը, հետևյալն են՝ մեծ Ֆարադեյի պտտման անկյունը, օպտիկական տիրույթում փոքր կլանումները, հեշտ մագնիսացման առանցքի դիրքավորումը թաղանթի մակերևույթին զուգահեռ, և գրանցող թաղանթի հաստությունը: ՄՕՊ համարգերում գրանցող բարակ թաղանթների պատրաստման համար հիմնականում օգտագործվում է իտրիում երկաթ նոնաքարը (YIG կամ $Y_3Fe_5O_{12}$): YIG -ի և նրա լեգիրացված տարբերակների, օրինակ բիսմութով փոխարինված իտրիում երկաթ նոնաքարի (Bi - YIG կամ $Bi_xY_{3-x}Fe_5O_{12}$), մի շարք ֆիզիկական հատկությունները հնարավորություն են ընձեռել դրանք օգտագործել ոչ միայն ՄՕՊ համակարգերում այլ նաև օպտիկական մեկուսիչներում, ԳԲՀ սարքերում, ինտեգրալ ֆոտոնիկայում և սպինտրոնիկայում: ՄՕՊ համակարգերի զարգացումը և կիրառման ոլորտների ընդլայնումը պահանջում է ոչ միայն մագնիսաօպտիկական թաղանթների բնութագրերի կատարելագործում, այլ նաև բարակ թաղանթների պատրաստման հեշտ և մատչելի իրականացվող եղանակի մշակում: Գոյություն ունեն մագնիսաօպտիկական բարակ թաղանթների պատրաստման մի շարք եղանակներ, որոնցից են՝ հեղուկ փուլային էպիտաքսիան (LPE), փոշեպատման եղանակը, իմպուլսային լազերային նստեցման եղանակը (PLD), սուլ-գել գործընթացը և մետաղաօրգանական քիմիական գոլորշու նստեցման եղանակը ($MOCVD$): Գրանցող թաղանթների սինթեզի համար մեր կողմից օգտագործվել է մետաղաօրգանական տարրալուծման եղանակը (UOS), որովհետև այն մատչելի է, պարզ և թույլ է տալիս ճշգրտորեն դեկավարել UOS լուծույթի քիմիական կառուցվածքը և նստեցումը համեմատաբար մեծ մակերեսով տակդիրների վրա:

Ատենախոսության նպատակը

1. ՄՕՏ եղանակի հիման վրա մշակել $\text{Bi}_x\text{Y}_{3-x}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ մագնիսաօպտիկական բարակ թաղանթների պատրաստման տեխնոլոգիա և հետազոտել ստացված նմուշների կառուցվածքային և մագնիսաօպտիկական հատկությունները:
2. Հետազոտել ապակյա ամորֆ տակդիրների վրա ՄՕՏ եղանակով մեծ Ֆարադեյի պտտման անկյունով օժտված թաղանթների աճեցման հնարավորությունը:
3. Հետազոտել ամորֆ տակդիրների վրա աճեցրած $\text{Bi}_x\text{Y}_{3-x}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ թաղանթների մագնիսաօպտիկական հատկությունները և նրանց հիման վրա մշակել մագնիսական դաշտի պատկերագրող փորձարարական սարք:

Գիտական նորույթը

1. Հայտնաբերվել է որ ՄՕՏ եղանակի ջերմամշակման գրաֆիկի նախաբյուրեղացման գործընթացը առավելագույնս նպաստում է պոլիբյուրեղային հաստ Bi-YIG թաղանթների մագնիսաօպտիկական և բյուրեղական հատկությունների բարելավմանը:
2. Ի հայտ է բերվել ՄՕՏ եղանակի սինթեզման օպտիմալ պայմանները և ջերմամշակման ռեժիմները, ինչի միջոցով հնարավոր է դարձել բիսմութի տարբեր կոնցենտրացիայով փոխարինված $\text{Bi}_x\text{Y}_{3-x}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ ($x=1$, $x=2$, $x=2.5$) բարակ թաղանթների պատրաստումը ապակյա տակդիրների վրա:
3. Առաջին անգամ $\text{Bi}_2\text{Y}_1\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ գրանցող բարակ թաղանթների միջոցով, որոնք պատրաստվել են ցածր բյուրեղացման ջերմաստիճաններում 620°C անմիջապես ապակյա տակդիրների վրա, պատկերագրվել են մագնիսական դաշտերի բաշխվածությունը մինչև 0.6 է զգայունությամբ:
4. Առաջին անգամ օգտագործելով հետթրծում 750°C ջերմաստիճանում, ՄՕՏ եղանակի միջոցով իրականացվել է օրթոռոմբիկ ($o\text{-YFeO}_3$) և հեքսագոնալ ($h\text{-YFeO}_3$) իտրիում օրթոֆերիտային (YFeO_3) բարակ թաղանթների պատրաստում ապակյա տակդիրների վրա:

Գործնական արժեքը

1. Պատրաստվել է մատչելի և հեշտ իրագործվող ՄՕՊ համակարգ, որը թույլ է տալիս պատկերագրել մագնիսական դաշտեր մինչև 0.6 Է 0.5 միկրոմետրի հասնող լուծողունակությամբ:
2. Ամորֆ տակդիրների վրա Bi-YIG և օրթոֆերիտային թաղանթների աճեցման եղանակը կարող է լայնորեն կիրառվել մագնիսաօպտիկական, սպինէլեկտրոնային և միկրոալիքային սարքերում մագնիսակալիկ տարրերի պատրաստման համար:

Պաշտպանությանը ներկայացվող հիմնական դրույթները

1. ՄՕՏ եղանակով որակյալ Bi-YIG հաստ թաղանթների պատրաստման համար առանցքային և որոշիչ նշանակություն ունի նախաբյուրեղացման գործընթացը:
2. Բիսմութի բարձր կոնցենտրացիայով փոխարինված Bi-YIG բարակ թաղանթների Ֆարադեյի պտտման անկյունը հնարավոր է մեծացնել հետթրծման ջերմաստիճանի նվազեցման միջոցով:
3. Մեծ մագնիսաօպտիկական բարորակությամբ $\text{Bi}_2\text{Y}_1\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ գրանցող թաղանթները կարող են պատրաստվել անմիջապես ապակյա ամորֆ տակդիրների վրա: Ստացված թաղանթների միջոցով հնարավոր է իրականացնել մինչև 0.6 Է արժեք ունեցող մագնիսական դաշտերի գրանցում:
4. Կարգավորելով բիսմութի կոնցենտրացիան $\text{Bi}_x\text{Y}_{1-x}\text{FeO}_3$ իտրիում օրթոֆերիտային բարակ թաղանթներում հնարավոր է բյուրեղացնել o-YFeO_3 կամ h-YFeO_3 փուլը:

Աշխատանքի ներկայացումը

Ատենախոսության հիմնական արդյունքները բազմիցս քննարկվել են Ռադիոֆիզիկայի և էլեկտրոնիկայի ինստիտուտի Ազդանշանների մշակման ու ԳԲՀ սարքավորումների լաբորատորիաների, ԵՊՀ ԳԲՀ ամբիոնի և Կորեայի Հանրապետության Սոգանգի համալսարանի Միկրոալիքային ֆոտոնիկայի լաբորատորիայի, սեմինարներում և ներկայացվել IRPhE 2014 (2-3 հոկտեմբերի, Ադվերան, Հայաստան), միջազգային գիտաժողովում :

Տպագրություններ

Ատենախոսության թեմայով տպագրվել է 6 աշխատանք, որոնցից 4 հոդված՝ միջազգային և 1 հոդված՝ հայկական գիտական ամսագրերում, և 1 զեկույց՝ ներկայացված միջազգային գիտաժողովում:

Ատենախոսության կառուցվածքը

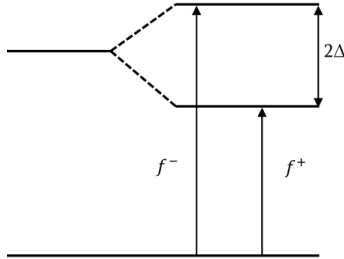
Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, 3 գլուխներից, եզրակացությունից և 100 հղում պարունակող գրականության ցանկից: Աշխատանքի ընդհանուր ծավալը 100 էջ է և պարունակում է 58 նկար:

Ատենախոսության բովանդակությունը

Ներածության մեջ հիմնավորված է ատենախոսության արդիականությունը, հստակ ձևակերպված են աշխատանքի նպատակները, խնդիրներն ու պաշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթները: Նշված է նաև ստացված արդյունքների գիտական նորույթը և գործնական արժեքը:

Գլուխ 1-ում ներկայացված է ատենախոսության հիմքում ընկած Ֆարադեյի երևույթը: 1.1 պարագրաֆում նկարագրված են մագնիսաօպտիկական երևույթները: 1.2 պարագրաֆում ներկայացված է Ֆարադեյի երևույթի արդյունքում էլեկտրամագնիսական ալիքի բևեռացման հարթության պտույտի՝ Ֆարադեյի պտտման անկյան դուրս բերումը ֆեռիմագնիսական միջավայրերի համար:

Պարագրաֆ 1.3-ում ներկայացված է Ֆարադեյի երևույթի միկրոսկոպիկ նկարագրությունը: Էլեկտրամագնիսական ալիքի փոխազդեցությունը նյութը կազմող էլեկտրոնների հետ բացատրվում է էլեկտրական դիպոլային անցումների միջոցով: Գոյություն ունեն երկու տիպի էլեկտրական դիպոլային անցումներ, որոնց միջոցով նկարագրվում են մագնիսաօպտիկական երևույթները՝ «դիամագնիսական» և «պարամագնիսական» անցումներ: Bi-YIG միջավայրերում պարամագնիսական անցումները շատ թույլ են արտահայտված [1], հետևաբար Ֆարադեյի երևույթի միկրոսկոպիկ նկարագրությունը հնարավոր է տալ դիամագնիսական անցումների միջոցով: Նկ. 1-ում պատկերված է դիամագնիսական անցումների դեպքում վերին էներգետիկ մակարդակի ձեռքման (2Δ) սխեմատիկ դիագրամը, որի առաջացման հիմնական պատճառը սպին-օրբիտալ փոխազդեցությունն է: Ճեղքումը հանգեցնում է աջ և ձախ պարույրություն ունեցող ֆոտոնների ստորին մակարդակից դեպի վերին մակարդակ անցումների հավանականության տարբերությանը, ինչի արդյունքում էլ տեղի է ունենում Ֆարադեյի երևույթը:



Նկ. 1. Էներգետիկ մակարդակների սխեմատիկ կառուցվածքը դիամագնիսական անցումների պարագայում:

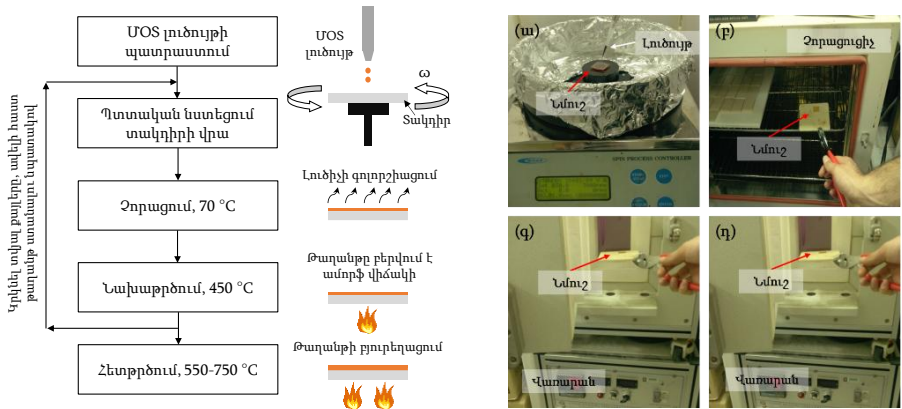
Վիտեկոեկի և համահեղինակների կողմից ցույց է տրվել [2], որ բիսմութի փոխարինումը YIG-ում հանգեցնում է ապին-օրբիտալ փոխազդեցությունների մեծացմանը (ինչը նպաստում է նաև 2Δ -ի մեծացմանը) և անցումների հավանականության մեծացմանը, ինչի արդյունքում տեղի է ունենում նյութի Ֆարադեյի պտտման անկյան մեծացում: Ենթադրվում է, որ հիմնական պատճառը դա բիսմութի փոխարինման արդյունքում նրա $6p$ օրբիտալի միախառնումն է թթվածնի $2p$ և երկաթի $3d$ օրբիտալներին, ինչը հանգեցնում է ազատ էլեկտրոնների ավելացմանը, որոնք կարող են անցում կատարել: Ֆարադեյի պտտման անկյունը, կախված բիսմութի փոխարինման կոնցենտրացիայից, մեծանում է կարգերով և հասնում առավելագույնի ամբողջությամբ փոխարինված BIG-ի համար [3]:

Գլուխ 2-ը ատենախոսության ամենաձավալուն գլուխն է և նվիրված է մագնիսաօպտիկական բարակ թաղանթների աճեցմանը և ուսումնասիրությանը: Ատենախոսության շրջանակներում պատրաստված բարակ թաղանթների բյուրեղական կառուցվածքները ուսումնասիրվել են ռենտգենյան դիֆրակտոմետրի, մագնիսաօպտիկական հատկությունները՝ մեր կողմից մշակված Ֆարադեյի պտտման անկյան չափիչ սարքի, մագնիսական հատկությունները՝ վիբրացիոն մագնիսամետրի, իսկ օպտիկական հատկությունները՝ սպեկտրոմետրի միջոցով:

2.1 պարագրաֆում ներակայացված են YIG-ի ֆիզիկական հատկությունները՝ բյուրեղական կառուցվածքը, մագնիսական, օպտիկական և մագնիսաօպտիկական հատկությունները: Պարագրաֆ 2.2-ում ներակայցված է, թե ինչպես է բիսմութի փոխարինումը ազդում YIG-ի ֆիզիկական հատկությունների վրա:

Պարագրաֆ 2.3-ում ներկայացված են մագնիսաօպտիկական բարակ թաղանթների աճեցման եղանակները: Տրված են ՄՕՏ եղանակի առավելությունները այլ եղանակների նկատմամբ: Նկ. 2-ում բերված են ՄՕՏ եղանակի սխեմատիկ կառուցվածքը և ջերամշակման գործընթացների լուսանկարները:

Պարագրաֆ 2.4-ում նկարագրված է $\text{Bi}_2\text{Y}_2\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ նմուշների ՄՕՏ եղանակի միջոցով սինթեզը, երբ Ֆարադեյի պտտման անկյան մեծացման նպատակով հարկավոր է մեծացնել թաղանթի հաստությունը:

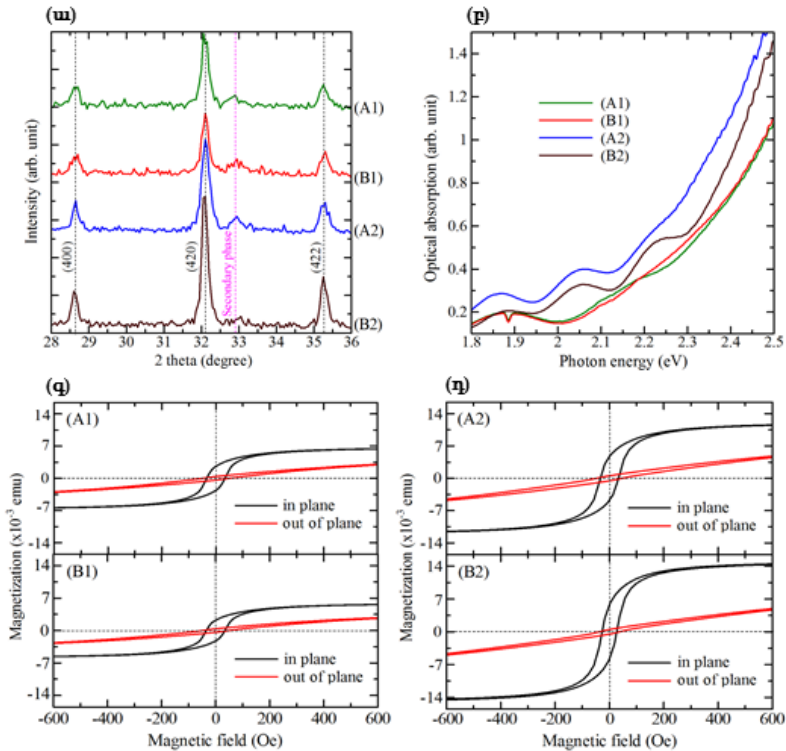


Նկ. 2. ՄՕՏ եղանակի սխեմատիկ կառուցվածքը և լուսանկարները՝ (ա) ՄՕՏ լուծույթի նստեցում, (բ) չորացման գործընթաց, (գ) նախաթորում և (դ) հետթորում:

Հետազոտությունների արդյունքում ապակյա տակդիրների վրա հաջողությամբ աճեցվել են պոլիբյուրեղային թաղանթներ 1.2 մկմ հաստությամբ և $-3.75^\circ/\text{մկմ}$ Ֆարադեյի պտտման անկյունով: Նկ. 3-ում տրված են պատրաստված նմուշների ռենտգենազրամները, օպտիկական կլանման սպեկտրները և մագնիսական հիսթերեզիսները: Նկ. 3-ից հետևում է, որ 1.2 մկմ հաստությամբ B2 նմուշը, որը աճեցվել է մեր կողմից առաջարկված նախաբյուրեղացման գործընթացի միջոցով, ավելի որակյալ կառուցվածքային, օպտիկական և մագնիսական հատկություններ ունի ի տարբերություն նույն հաստությունն ունեցող A2 նմուշի, որը պատրաստվել է առանց նախաբյուրեղացման: Սակայն նույնը չի կարելի ասել ավելի բարակ 0.8 մկմ հաստությամբ առանց

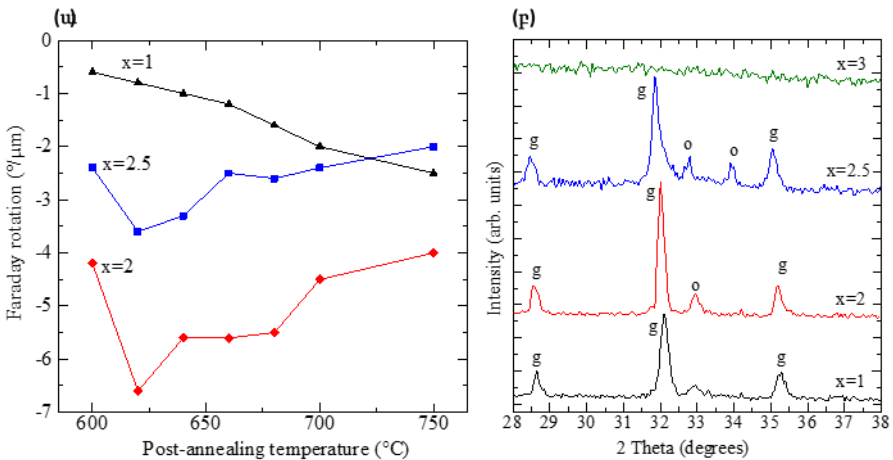
նախաբյուրեղացման A1 և նախաբյուրեղացման միջոցով պատրաստված B1 նմուշների դեպքում: Այսպիսով նախաբյուրեղացման գործընթացը կարևոր պայման է հաստ Bi-YIG թաղանթների սինթեզի համար:

Բիսմութի ավելի մեծ կոնցենտրացիայով փոխարինված YIG թաղանթների պատրաստման նպատակով պարագրաֆ 2.5-ում ցույց է տրված, թե ինչպես է հետթրծման գործընթացը ազդում $\text{Bi}_x\text{Y}_{3-x}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$, ($x=1$, $x=2$, $x=2.5$, $x=3$) նմուշների մագնիսաօպտիկական և կառուցվածքային հատկությունների վրա: Bi-ի կոնցենտրացիայի մեծացմանը զուգընթաց նաև դժվարանում է թաղանթների բյուրեղացումը ապակյա տակդիրների վրա: Այդ նպատակով ապակյա տակդիրների վրա սկզբում նստեցվում է $\text{Bi}_1\text{Y}_2\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ բուֆերային շերտը, այնուհետև նստեցվում է թաղանթի հիմնական $\text{Bi}_x\text{Y}_{3-x}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$, ($x=2$, $x=2.5$, $x=3$) շերտը:



Նկ. 3. Պատրաստված նմուշների (ա) ռենտգենագրամները, (բ) օպտիկական կլանման սպեկտրները, (գ), (դ) մագնիսական հիսթերեզիսները թաղանթի մակերևույթին զուգահեռ (սև) և ողղահայաց (կարմիր) կիրառած մագնիսական դաշտի դեպքում:

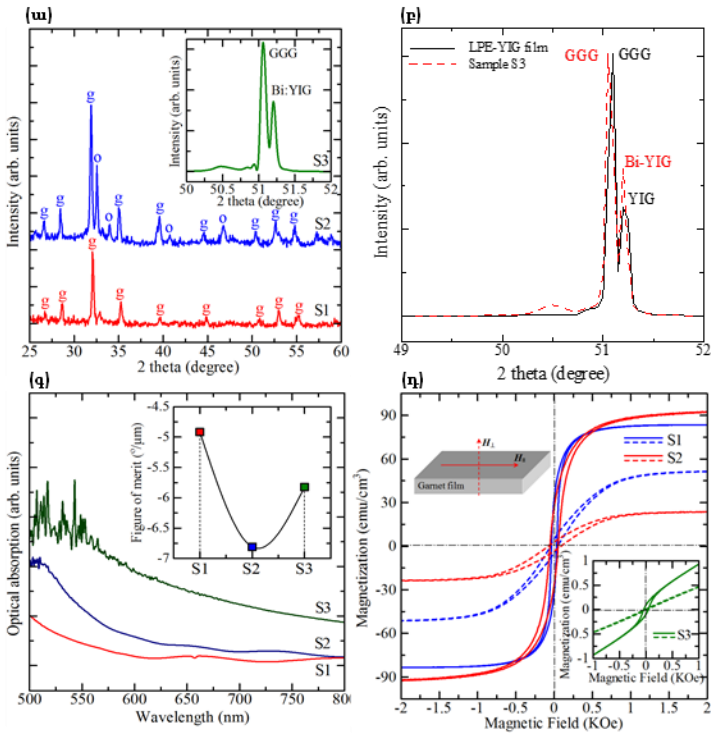
Նկ. 4(ա)-ից հետևում է, որ $\text{Bi}_1\text{Y}_2\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ նմուշների Ֆարադեյի պտտման անկյունը կարելի է մեծացնել հետթրծման բարձր ջերմաստիճանների (750°C) միջոցով իսկ բիսմութի մեծ կոնցենտրացիայով թաղանթների համար $\text{Bi}_x\text{Y}_{3-x}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$, ($x=2, 2.5$) հետթրծման ցածր ջերմաստիճանների (620°C) միջոցով: Նկ. 4(բ)-ից հետևում է, որ մեծ Ֆարադեյի պտտման անկյուն ունեցող նմուշները ավելի լավ են բյուրեղացել: Սա բացատրվում է նրանով, որ բիսմութի 6p օրբիտալի միախառնումը երկաթի և թթվածնի համապատասխան օրբիտալների հետ մեծանում է բիսմութի ավելի լավ բյուրեղացման պարագայում, ինչն էլ իր հերթին մեծացնում է Ֆարադեյի պտտման անկյունը:



Նկ. 4. Պատրաստված նմուշների (ա) Ֆարադեյի պտտման անկյան կախվածությունը հետթրծման ջերմաստիճանից և (բ) $\text{Bi}_1\text{Y}_2\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ (750°C), $\text{Bi}_2\text{Y}_1\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ (620°C), $\text{Bi}_{2.5}\text{Y}_{0.5}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ (620°C) և չբյուրեղացած $\text{Bi}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ նմուշների ռենտգենագրամները: օ-բյուրեղական կառուցվածքում անցանկալի օրթոֆերիտային երկրորդական փուլ, g-հիմնական նոնքարային փուլ:

Պարագրաֆ 2.6-ում ներկայացված է $\text{Bi}_2\text{Y}_1\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ բարակ թաղանթների պատրաստումը անմիջապես ապակյա (նմուշ S2) և Գադոլիմիում Գալիում Նոնաքար (GGG) (նմուշ S3) տակդիրների վրա առանց բուֆերային շերտերի նստեցման: Արդյունքում պատրաստված S2 պոլիբյուրեղային նմուշները ունեն ավելի բարձր մագնիսաօպտիկական բարորակություն (Ֆարադեյի պտտման անկյան հարաբերությունը օպտիկական կլանման գործակցին տվյալ ալիքի

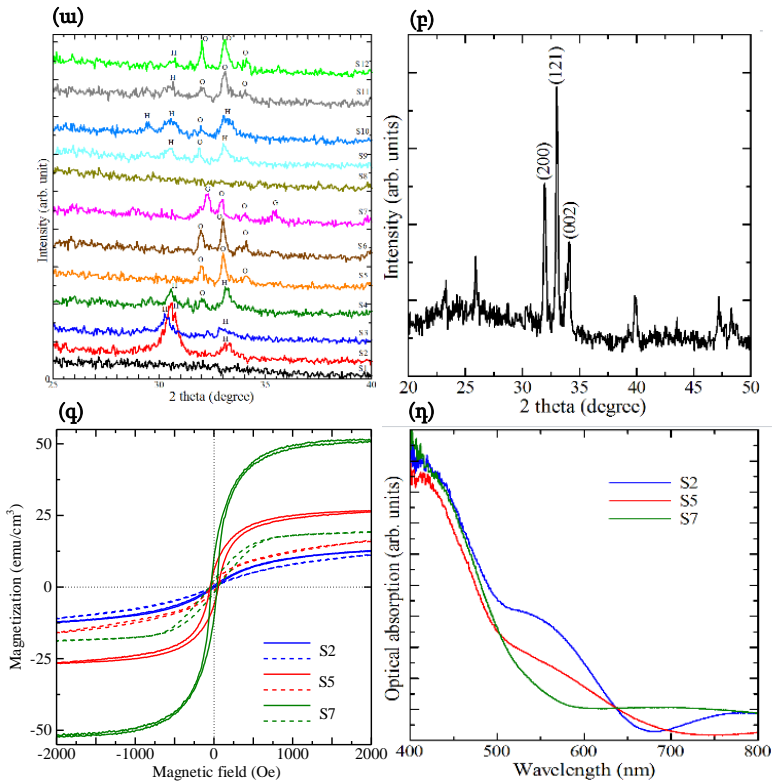
երկարության համար) ի տարբերություն մոնոյուրեդային S3 նմուշի և ապակյա տակդիրի վրա նստեցրած Bi:Y₂Fe₅O₁₂ (նմուշ S1) թաղանթի: S2 նմուշը, ինչպես և մեր կողմից ՄՕՏ եղանակի միջոցով պատրաստված բոլոր նոնաքարային բարակ թաղանթները, ունի թաղանթի մակերևույթին զուգահեռ հեշտ մագնիսացման առանցք: S2 նմուշի նշված առավելությունների պատճառով այն օգտագործվել է որպես գրանցող թաղանթ ՄՕՊ սարքում: Նկ. 5-ում տրված են պատրաստված նմուշների ռենտգենագրամները, օպտիկական կլանման սպեկտրները, մագնիսաօպտիկական բարորակության արժեքները և մագնիսական հատկությունները:



Նկ. 5. Թաղանթների (ա) ռենտգենագրամները (բ) մոնոյուրեդային LPE մեթոդով պատրաստված նմուշի և S3-ի ռենտգենագրամների համեմատությունը, (գ) օպտիկական կլանման սպեկտրները, ներդիրում տրված են մագնիսաօպտիկական բարորակության արժեքները, (դ) մագնիսական հիսթերեզիսները թաղանթի մակերևույթին զուգահեռ (հոր գիծ) և ուղղահայաց (ընդհատ գիծ) չափումների դեպքում, ներդիրում տրված է S3-ի հիսթերեզիսը:

Պարագրաֆ 2.7-ում նկարագրված է մագնիսաօպտիկական խորիում օրթոֆերիտի ($YFeO_3$) բյուրեղական կառուցվածքը, մագնիսական, օպտիկական և մագնիսաօպտիկական հատկությունները:

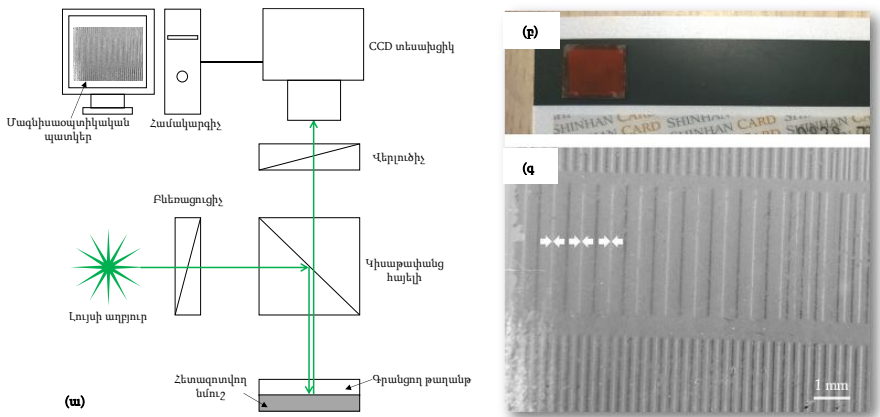
Պարագրաֆ 2.8-ում ներկայացվել է ՄՕՏ եղանակով ապակյա տակդիրների վրա $Bi_xY_{1-x}FeO_3$ թաղանթների պատրաստումը: Ցույց է տրվել, որ բիսմութի փոխարինման միջոցով կարելի է նվազեցնել օրթոռոմբիկ բյուրեղական կառուցվածք ունեցող խորիում օրթոֆերիտային բարակ թաղանթների բյուրեղացման ջերմաստիճանը:



Նկ. 6. (ա) Թաղանթների ռենտգենագրամները, O-օրթոռոմբիկ փուլ, H-հեքսագոնալ փուլ և G-նոնաբարային փուլ (բ) հաստ օրթոֆերիտային թաղանթի ռենտգենագրամը, S2՝ h-YFeO₃, S5՝ o-YFeO₃ և S7՝ o-YFeO₃+Y₃Fe₅O₁₂ նմուշների (գ), մագնիսական հիպերեզիսները թաղանթի մակերևույթին զուգահեռ (հոծ գիծ) և ուղղահայաց (ընդհատ գիծ) չափումների դեպքում, (դ) օպտիկական կլանման սպեկտրները:

Բիսմութի համապատասխան կոնցենտրացիայի ընտրության միջոցով հնարավոր է բյուրեղացնել իտրիում օրթոֆերիտի օրթոռոմբիկ ($o\text{-YFeO}_3$) կամ հեքսագոնալ ($h\text{-YFeO}_3$) փուլը: Նկ. 6-ում տրված են պատրաստված թաղանթների ռենտգենագրամները, մագնիսական հատկությունները և օպտիկական կլանման սպեկտրները:

Գլուխ 3-ը նվիրված է մագնիսական դաշտերի մագնիսաօպտիկական պատկերագրմանը օգտագործելով պարագրաֆ 2.6-ում նկարագրված S2 նմուշը: Պարագրաֆ 3.1-ում տրված են մագնիսաօպտիկական պատկերագրման հիմունքները և կիրառությունները: Պարագրաֆ 3.2-ում տրված է մշակված ՄՕՊ համակարգի նկարագրությունը և աշխատանքի սկզբունքը: Նկ. 7-ում պատկերված է ՄՕՊ համակարգի սխեմատիկ կառուցվածքը: 530 նմ ալիքի երկարությամբ զծայնորեն բևեռացված լույսը կիսաթափանց հայելու միջոցով ուղղորդվում է դեպի գրանցող թաղանթ, որը դրված է հետագոտվող նմուշի առջև: Նմուշի առաջացրած մագնիսական դաշտի ազդեցության պատճառով տեղի է ունենում լույսի Ֆարադեյի անկյան պտույտ:



Նկ. 7. (ա) ՄՕՊ համակարգի սխեմատիկ կառուցվածքը, (բ) բանկային քարտի և մագնիսաօպտիկական բարակ թաղանթի լուսանկարը, (գ) մագնիսական դոմեյնների մագնիսաօպտիկական պատկերը:

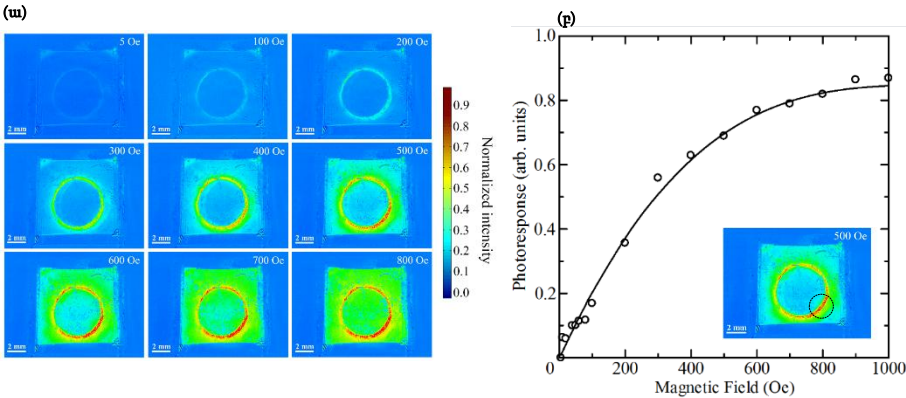
Այնուհետև լույսը, անդրադառնալով թաղանթի վրա նստեցված 40 նմ հաստությամբ հայելուց, երկրորդ անգամ անցնում է մագնիսաօպտիկական միջավայրով և միաջավայրի ոչ-փոխադարձային լինելու պատճառով ևս մի անգամ

տեղի է ունենում Ֆարադայի անկյան պտույտ, կրկին նույն ուղղությամբ: Անրադարձած լույսը կիսաթափանց հայելու և վերլուծիչի (որը պտտված է $\pi/2-\theta$ անկյունով բևեռացուցիչի նկատմամբ) միջով անցնելուց հետո գրանցվում է CCD տեսախցիկի միջոցով: Գրանցված լույսի ինտենսիվությունը տրվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$I = I_0 \sin^2(\theta - 2\theta_F) \tag{1}$$

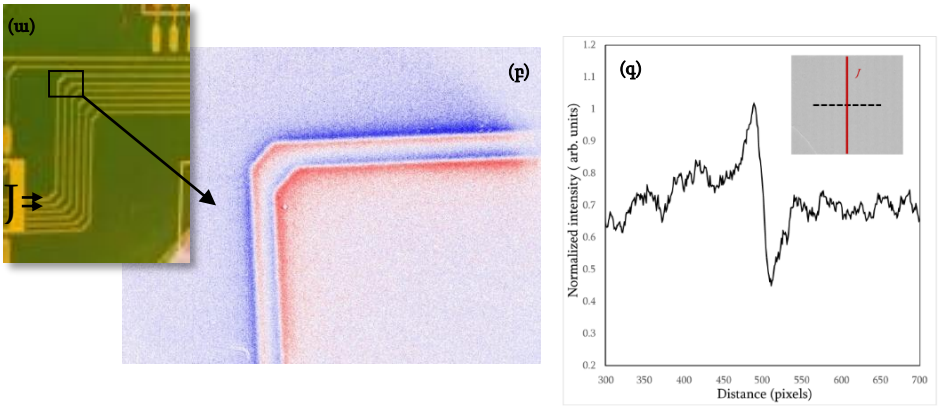
որտեղ՝ I -ն և I_0 -ն համապատասխանաբար գրանցված և սկզբնական լույսի ինտենսիվության արժեքներն են, θ_F -Ֆարադեյի պտտման անկյունն է:

Պարագրաֆ 3.3-ում նկարագրված է օղակաձև մագնիսական դաշտի պատկերագրումը մագնիսաօպտիկական համակարգի միջոցով: Նկ. 8-ում տրված են 5-800 Է մագնիսական դաշտերի բաշխվածության մագնիսաօպտիկական պատկերները և CCD տեսախցիկի կողմից գրանցած լույսի ինտենսիվության կախումը մագնիսական դաշտից, ինչից հետևում է, որ մոտ 800 Է և ավել մագնիսական դաշտերի դեպքում ունենք գրանցած ազդանշանի հագեցում: Այնուհետև պարագրաֆ 3.4-ում նկարագրվում է բանկային քարտի մագնիսական շերտազծի մագնիսական դոմեյնների պատկերագրումը (Նկ. 9 (բ),(գ)): Մեծ Ֆարադեյի պտտման անկյուն ունեցող մագնիսաօպտիկական թաղանթների օգտագործումը հնարավորություն է ընձեռել բարձր կոնտրաստով մագնիսաօպտիկական պատկերներ ստանալ:



Նկ. 8. (ա) Օղակաձև մագնիսական դաշտի աղբյուրի կողմից առաջացրած դաշտի մագնիսաօպտիկական պատկերները, (բ) CCD տեսախցիկի գրանցած ազդանշանի կախվածությունը մագնիսական դաշտից:

Պարագրաֆ 3.5-ում նկարագրվել է տպասալիքային շրթանների էլեկտրական հոսանքների մագնիսաօպտիկական պատկերագրումը (Նկ. 9): Նկ. 9(գ)-ում պատկերված է նորմավորված մագնիսական դաշտի ինտենսիվությունը Նկ. 9 (գ)-ի ներդիրում տրված ընդհատ գծի երկայնքով: Նկ. 9 (գ)-ի ներդիրում պատկերված է 100 մկմ շառավղով հոսանքալարի մագնիսաօպտիկական պատկերը որով հոսում է 32 մԱ էլեկտրական հոսանք: Արդյունքները ցույց են տվել, որ այս հոսանքալարի ստեժած մագնիսական դաշտը նվազագույնն է, որը հնարավոր է գրանցել ՄՕՊ սարքի միջոցով և կազմում է մոտ 0.6 է:



Նկ. 9. (ա) Տպասալիքային շրթայի և մագնիսաօպտիկական բարակ թաղանթի լուսանկարը, (բ) նույն շրթայի մագնիսաօպտիկական պատկերը, (գ) նորմավորված մագնիսական դաշտի ինտենսիվությունը ներդիրում տրված ընդհատ գծի երկայնքով: Կարմիր հոծ գծով նշված է հոսանքալարի դիրքը:

Եզրակացություն

1. Անորֆ ապակյա տակդիրների վրա պատրաստված $\text{Bi}_x\text{Y}_{3-x}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ թաղանթների հիման վրա կարելի է մշակել ՄՕՊ համակարգ, որը հնարավորություն է տալիս պատկերագրել մագնիսական դաշտեր և մագնիսական դրոմեյններ: Նվազագույն գրանցվող մագնիսական դաշտը կազմում է 0.6 է իսկ տարածական լուծողունակությունը 0.5 մկմ:
2. Բարձր որակի պոլիբյուրեղային հաստ Bi-YIG թաղանթներ հնարավոր է պատրաստել ՄՕՏ եղանակում՝ ավելացնելով նախաբյուրեղացման ջերմամշակման գործընթացը: Նախաբյուրեղացման գործընթացը մեծացնում է հաստ թաղանթների բյուրեղացման մակերևույթային

էֆեկտները, ինչը հնարավորություն է տալիս պատրաստել հաստ թաղանթներ՝ օգտագործելով բարակ թաղանթների պատրաստման պայմանները:

3. Բիսմութի բարձր կոնցենտրացիայով Bi-YIG բարակ թաղանթները հնարավոր է բյուրեղացնել ապակյա տակդիրների վրա՝ օգտագործելով բուֆերային շերտերի նստեցման եղանակը: $\text{Bi}_1\text{Y}_2\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ բարակ թաղանթները, որոնք պատրաստվել են առանց բուֆերային շերտի, ավելի լավ են բյուրեղացել հետթրծման բարձր ջերմաստիճանների (750°C) դեպքում իսկ բուֆերային շերտով և մեծ կոնցենտրացիայով թաղանթների համար $\text{Bi}_x\text{Y}_{3-x}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$, ($x=2, 2.5$) հետթրծման ցածր ջերմաստիճանների (620°C) դեպքում:
4. Օգտագործելով բյուրեղացման ցածր $620\text{-}640^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանները, հնարավոր է սինթեզել $-11^\circ/\text{մկմ}$ Ֆարադեյի պտտման անկյունով պոլիբյուրեղային $\text{Bi}_2\text{Y}_1\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ բարակ թաղանթներ անմիջապես ապակյա տակդիրների վրա՝ առանց բուֆերային շերտերի օգտագործման: Նույն եղանակով օգտագործելով ավելի բարձր 750°C բյուրեղացման ջերմաստիճաններ, հնարավոր է սինթեզել նաև մոնոբյուրեղային $\text{Bi}_2\text{Y}_1\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ բարակ թաղանթներ, որոնց բյուրեղային կառուցվածքը համեմատելի է LPE մեթոդով պատրաստված մոնոբյուրեղային թաղանթների հետ:
5. Բիսմութով փոխարինված իտրիում օրթոֆերիտային բարակ թաղանթները $\text{Bi}_x\text{Y}_{1-x}\text{FeO}_3$ աճեցված ապակյա տակդիրների վրա բյուրեղանում են հեքսագոնալ սիմետրիայով (h-YFeO₃) բիսմութի $x=0$ կոնցենտրացիայի դեպքում իսկ $x=0.3\text{-}0.4$ դեպքում օրթոռոմբիկ սիմետրիայով (o-YFeO₃):

Օգտագործված գրականության ցանկ

- [1] Dionne, Gerald F., and Gary A. Allen. "Spectral origins of giant Faraday rotation and ellipticity in Bi-substituted magnetic garnets." *Journal of Applied Physics* 73 (1993) 6127.
- [2] S. Wittekoek, T. Popma, J. Robertson, and P. Bongers, "Magneto-optic spectra and the dielectric tensor elements of bismuth-substituted iron garnets at photon energies between 2.2-5.2 eV" *Phys. Rev. B* 12 (1975) 2777.
- [3] Hansen, P., K. Witter, and W. Tolksdorf. "Magnetic and magneto-optic properties of lead-and bismuth-substituted yttrium iron garnet films." *Phys. Rev. B* 27 (1983) 6608.

Հրատարակված աշխատանքների ցուցակ

1. O. Galstyan, H. Lee, A. Babajanyan, A. Hakhoumian, B. Friedman, K. Lee, “Magneto-optical visualization by Bi:YIG thin films prepared at low temperatures” Journal of Applied Physics, 117, 2015, pp. 163914.
2. O. Galstyan, H. Lee, S. Lee, N. Yoo, J. Park, A. Babajanyan, B. Friedman, K. Lee, “Effect of pre-crystallization on the preparation of thick Bi-YIG films by the metal-organic decomposition method” Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 366, 2014, pp. 24-27.
3. O. Galstyan, H. Lee, J. Park, Y. Lee, K. Lee, A. Babajanyan, D. Cha, “Magneto-optical Imaging Using Bi₂Y₁Fe₅O₁₂ Thin Films Prepared on Glass Substrates by Using the MOD Method”, New Physics: Sae Mulli, Vol. 64, 2014, pp. 1089-1092.
4. O. Galstyan, “Dependence of Magneto-Optical Properties of Bi-YIG Thin Films on Post-Annealing Temperature”, Armenian Journal of Physics, Vol. 8, no. 1, 2015, pp. 21-29.
5. O. Galstyan, Y. Park, J. Park, S. Kim, J. Kim, K. Lee, A. Babajanyan, G. Berthiau, B. Friedman, “Preparation of Bi-YIG Thin Films by the MOD Method for magneto-optical applications”, Proceeding of International Conference on Microwave and THz Technologies and Applications, Aghveran, Armenia, October 2-3, 2014, pp. 151-154.
6. J. Park, O. Galstyan, H. Lee, S. Jeon, N. Yoo, S. Lee, K. Lee, “Preparation of Bi-YIG Thick Films by Using the Metal-organic Decomposition Method”, New Physics: Sae Mulli, Vol. 63, No. 11, 2013, pp. 1254-1258

МАГНИТООПТИЧЕСКИЕ ТОНКИЕ ПЛЕНКИ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

АННОТАЦИЯ

Данная работа посвящена разработке методов получения пленок с большим Фарадеевским вращением на аморфных подложках, исследованию их магнитооптических характеристик и применению для визуализации магнитных полей. В последние годы данный метод магнитооптической визуализации (МОВ) переживает бурное развитие в связи с его большими потенциальными возможностями применения в актуальных областях физики и электроники. В частности МОВ является весьма информативным и невозмущающим методом исследования области спинтроники, структуры и динамики магнитных вихрей в сверхпроводниках, доменной структуры в ферромагнитных материалах, контроля электронных и сверхвысокочастотных устройств, а так же визуализации поверхностных и подповерхностных дефектов исследуемых металлических структур.

Чувствительность МОВ и качество полученных магнитооптических изображений зависит от свойств магнитооптических индикаторных пленок. В основном при приготовлении индикаторных тонких пленок используется висмут замещенный железо итрийвый гранат ($\text{Bi}_x\text{Y}_{3-x}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ или Bi-YIG). Для приготовления Bi-YIG индикаторных пленок мы воспользовались методом металло-органического разложения (МОР), поскольку он является наиболее доступным и простым методом, вместе с тем позволяет контролировать химический состав МОР раствора, а так же дает возможность наносить раствор на подложках с большой площадью.

Основными целями данной работы являются:

1. На основе метода МОР разработать технологию для приготовления $\text{Bi}_x\text{Y}_{3-x}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ тонких пленок, а так же исследовать структурные и магнитооптические свойства данных пленок.
2. Исследовать возможность роста магнитооптических пленок с большим Фарадеевским вращением на стеклянных подложках с помощью метода МОР.

3. Исследовать магнитооптические свойства $\text{Bi}_x\text{Y}_{3-x}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ пленок выращенных на аморфных подложках и на основе этих пленок разработать экспериментальное устройство для визуализации магнитных полей.

В диссертации получены следующие основные результаты:

1. На основе $\text{Bi}_x\text{Y}_{3-x}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ тонких пленок приготовленных на стеклянных подложках можно разработать систему МОВ, которая дает возможность визуализировать магнитные поля и магнитные доменные структуры. Минимальное магнитное поле которое возможно было зарегистрировать составляет 0.6 Э , а пространственное разрешение 0.5 мкм .
2. Было показано, что поликристаллические пленки высокого качества с большой толщиной, могут быть приготовлены с помощью добавления теплового процесса пре-кристаллизации. Процесс пре-кристаллизации увеличивает поверхностные эффекты во время кристаллизации пленок, что позволяет приготавливать пленки с большой толщиной, используя условия приготовления тонких пленок.
3. Bi-YIG пленки с высокими концентрациями замещенного висмута удалось кристаллизовать на стеклянных подложках используя технику нанесения буферного слоя. $\text{Bi}_1\text{Y}_2\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ пленки лучше кристаллизовались без буферных слоев используя высокие температуры пост-отжигания ($750 \text{ }^\circ\text{C}$), а для пленок $\text{Bi}_x\text{Y}_{3-x}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ ($x=2, 2.5$) с буферными слоями, используя более низкие температуры пост-отжигания ($620 \text{ }^\circ\text{C}$).
4. С помощью метода МОР получены поликристаллические $\text{Bi}_2\text{Y}_1\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ тонкие пленки на стеклянных подложках без буферных слоев, с $-11^\circ/\text{мкм}$ Фарадеевским вращением. Для приготовления пленок использованы низкие температуры кристаллизации $620-640 \text{ }^\circ\text{C}$. Тем же методом были приготовлены монокристаллические $\text{Bi}_2\text{Y}_1\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ пленки, структурные свойства которых сопоставимы с пленками полученными методом жидкофазной эпитаксии (LPE).
5. Висмут замещенные итрий ортоферитовые $\text{Bi}_x\text{Y}_{1-x}\text{FeO}_3$ тонкие пленки выращенные на стеклянных подложках могут кристаллизоваться как с гексагональной симметрией ($h\text{-YFeO}_3$) при $x=0$ так и с орторомбической симметрией ($o\text{-YFeO}_3$) при $x=0.3-0.4$ концентрации висмута.

MAGNETO-OPTICAL THIN FILMS FOR MAGNETIC FIELDS VISUALIZATION

SUMMARY

This thesis is devoted to the development of a technique for the preparation of magneto-optical thin films on amorphous glass substrates with high Faraday rotation angle. We presented detailed characterization of prepared films and used them as sensors in magneto-optical imaging (MOI) system. This imaging technique has attracted considerable attention as a sensor platform for the monitoring of electronic devices, imaging of magnetic domains and magnetic fields distributions, inspecting the surface and subsurface defects in metallic specimens, detection of magnetic vortex phenomenon in superconductors and etc. Recent advances in research of magnetics have revealed a possibility of a new technology using an electronic equipment, which are anticipated to be the next generation devices. It is expected that iron spin as an information carrier. This gives the idea of a new emerging field of spintronics in future MOI can be a great tool for the monitoring of spintronic devices.

The sensitivity and quality of the MOI directly depends on the characteristics of magneto-optical indicator thin films. The most desirable material for the preparation of indicator thin films is bismuth substituted yttrium iron garnet ($\text{Bi}_x\text{Y}_{3-x}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ or Bi-YIG). For the synthesis of Bi-YIG films we used the metal-organic decomposition (MOD) method because it is inexpensive, simple and allows us to have a precise control on the composition of the MOD solution and the formation over the large area.

The goals of this work are the following:

- On the basis of MOD method develop technology for the preparation of $\text{Bi}_x\text{Y}_{3-x}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ thin films. Investigate structural and magneto-optical properties of prepared films.
- Investigate the possibility of preparation of magneto-optical thin films with high Faraday rotation angle on glass substrates using MOD method.

- Investigate magneto-optical properties of $\text{Bi}_x\text{Y}_{3-x}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ thin films grown on amorphous glass substrates and use these films to develop experimental setup for the visualization of magnetic fields.

The main obtained results in dissertation are the following:

1. We developed MOI system using $\text{Bi}_x\text{Y}_{3-x}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ thin films prepared on glass substrates which gave the possibility to visualize magnetic fields and magnetic domain structures. The minimum magnetic field value which was possible to detect was about 0.6 Oe and the spatial resolution of magneto-optical images was about 0.5 μm .
2. It was shown that high quality polycrystalline Bi-YIG thin films can be prepared by adding the pre-crystallization heat treatment process. Pre-crystallization process enhances surface effects in the crystallization of thick films which makes it possible to fabricate thicker films using thin film preparation conditions.
3. Using buffer layer deposition technique, Bi-YIG films with high levels of doped Bi have been fabricated on glass substrates. $\text{Bi}_1\text{Y}_2\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ thin films which were prepared without buffer layer showed better crystallinity and magneto-optical activity using 750 °C post-annealing temperatures. While for the $\text{Bi}_x\text{Y}_{3-x}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ ($x=2, 2.5$) films a better quality was obtained by using lower 620 °C post-annealing temperatures.
4. Using MOD method we prepared high concentration $\text{Bi}_2\text{Y}_1\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ thin films with $-11^\circ/\mu\text{m}$ Faraday rotation angle on glass substrate without additional magnetic buffer layers, using 620-640 °C crystallization temperatures. Not only polycrystalline but also single crystalline $\text{Bi}_2\text{Y}_1\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ thin films were prepared which have comparable crystalline characteristics with YIG films prepared by liquid phase epitaxy (LPE).
5. Bismuth substituted yttrium orthoferrite $\text{Bi}_x\text{Y}_{1-x}\text{FeO}_3$ thin films grown on glass substrates can be crystallized with hexagonal symmetry (h- YFeO_3) when bismuth concentration is $x=0$ or with orthorhombic symmetry (o- YFeO_3) when $x=0.3-0.4$.