

**ИОН-ПЛАЗМА ВА ЛАЗЕР ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ ИНСТИТУТИ,
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSC.30.05.2018.FM/T.65.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

**ТОШКЕНТ АВТОМОБИЛ ЙЎЛЛАРИНИ ЛОЙИХАЛАШ,
ҚУРИШ ВА ЭКСПЛУАТАЦИЯСИ ИНСТИТУТИ**

ОЧИЛОВ ОДИЛ

**МАГНИТ МАТЕРИАЛЛАРДА МАГНИТООПТИК ҲОДИСАЛАР
ВА ОПТИК КОММУТАТОРЛАРНИНГ ЯНГИ АВЛОДИНИНГ
ЭЛЕМЕНТ БАЗАЛАРИ**

01.04.05 – Оптика

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc)
ДИССЕРТАЦИЯ АВТОРЕФЕРАТИ**

ТОШКЕНТ – 2018

Докторлик диссертацияси автореферати мундарижаси

Оглавление автореферата докторской диссертации

Contents of the abstract of doctoral dissertation

Очилов Одил

Магнит материалларда магнитооптик ходисалар ва оптик коммутаторларнинг янги авлодининг элемент базалари 3

Очилов Одил

Магнитооптические явления в магнитных материалах и элементная база оптических коммутаторов нового поколения 27

Ochilov Odil

Magneto-optical phenomena in magnetic materials and elemental bases of the new generation of optical switch boards 51

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ
List of published works 57

**ИОН-ПЛАЗМА ВА ЛАЗЕР ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ ИНСТИТУТИ,
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSC.30.05.2018.FM/T.65.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

**ТОШКЕНТ АВТОМОБИЛ ЙЎЛЛАРИНИ ЛОЙИХАЛАШ,
ҚУРИШ ВА ЭКСПЛУАТАЦИЯСИ ИНСТИТУТИ**

ОЧИЛОВ ОДИЛ

**МАГНИТ МАТЕРИАЛЛАРДА МАГНИТООПТИК ҲОДИСАЛАР
ВА ОПТИК КОММУТАТОРЛАРНИНГ ЯНГИ АВЛОДИНИНГ
ЭЛЕМЕНТ БАЗАЛАРИ**

01.04.05 – Оптика

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc)
ДИССЕРТАЦИЯ АВТОРЕФЕРАТИ**

ТОШКЕНТ – 2018

Докторлик диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2018.1.DSc/FM112 рақам билан рўйхатга олинган.

Докторлик диссертацияси Тошкент автомобиль йўлларини лойиҳалаш, қуриш ва эксплуатацияси институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифаси www.iplt.uz ҳамда «ZiyoNet» ахборот-таълим портали www.ziyo.net манзилларига жойлаштирилган.

Илмий маслаҳатчи:

Мукимов Комил Мукимович
физика-математика фанлари доктори,
профессор, академик

Расмий оппонентлар:

Звездин Анатолий Константинович
физика-математика фанлари доктори,
профессор (Россия Федерацияси)

Валиев Уйғун Вахидович,
физика-математика фанлари доктори, профессор

Кодиров Мумин Кодирович
физика-математика фанлари доктори, профессор

Етакчи ташкилот:

Тошкент давлат техника университети

Диссертация химояси Ион плазма ва лазер технологиялари институти ҳузуридаги илмий даражалар берувчи DSc.30.05.2018.FM/T.65.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2018 йил «___» _____ кунини соат ___ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100125, Тошкент шаҳри, Дўрмон йўли кўчаси, 33-уй. Тел/факс: (99871) 262-32-54, e-mail: info@iplt.uz).

Докторлик диссертацияси билан Ион плазма ва лазер технологиялари институти Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (___ рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 100125, Тошкент шаҳри, Дўрмон йўли кўчаси 29-уй. Тел/факс: (99871) 262-32-54, e-mail: info@iplt.uz.

Диссертация автореферати 2018 йил «___» _____ кунини тарқатилди.

(2018 йил «___» _____ даги _____ рақамли реестр баённомаси).

Х.Б. Ашуров

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раиси, т.ф.д., катта илмий ходим

Д.Т. Усманов

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш илмий котиби, ф.-м. д., катта илмий ходим

Б.Е. Умирзаков

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси, ф.-м.ф.д., профессор

КИРИШ (докторлик (DSc) диссертациясининг аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳон миқёсида фундаментал ва амалий жиҳатдан алоҳида аҳамиятга эга бўлган магнит материалларининг комплекс тадқиқотларини мукамаллаштириш ҳамда уларнинг телекоммуникация соҳасида ахборотларни сақлаш ва узатиш, элемент базаларининг архитектурасини оптималлаштириш муҳим масалалардан бири ҳисобланади. Шу жиҳатдан магнитооптик эффектларининг оптик кўринувчанлик ва яқин инфра қизил (ИК) спектр соҳасида синтез қилинган ферродиелектрик материалларини электр қаршиликлари катта қийматга эга бўлган янги авлодини яратиш алоҳида аҳамиятга эга. Бу борада, Германия, Франция, Япония, Россия ва бошқа ривожланган давлатларда ахборотларни магнит дискларда ёзиш, сақлаш ва ўқишда фойдаланиладиган N-катламли магнит структурасида ёруғликнинг кўп мартаб қайтиши ва ўтиши механизмларини ишлаб чиқишга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда ҳажмли ахборотларни ёзиш қурилмаларини яратиш, ахборотларни ташувчи иккита ҳар хил блох чизиклари, блох нуқталарининг кесишуви олинса, ёзув зичлигини бир неча даражага ошириш, икки фотонли ёзув технологияси асосида дискнинг ҳар иккала томонига бир неча юз қатламли ёзиш усулини ишлаб чиқиш, материал қалинлигида бит ахборотнинг жойлашиш нуқтасини осон ўзгартиришга йўналтирилган мақсадли илмий тадқиқот ишларини олиб бориш алоҳида касб этади. Бу борада хотира қурилмаларининг янги принципларини яратиш жумладан яримўтказгичли интеграль схемалар; ўта яримўтказгичлар; цилиндрик магнит доменлар; заряд алоқали қурилмалар; спинтроника; оптик ҳодисалар (термооптика, электрооптика, ва бошқа тип ёзувлари, голографияни ҳам ҳисобга олганда) ҳамда ноноструктура асосидаги қурилмаларини такомиллаштиришга қаратилган илмий тадқиқотларни амалга ошириш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади.

Республикамизда оптика, хусусан магнит материаллар оптик соҳасида нодир ер магнит материалларининг оптик ва магнитооптик ҳодисаларини физикавий механизмларини аниқлаш, оптик коммутаторлар, конструкциясига боғлиқ ҳолда тола бўйича юборилаётган сигнални киритиш, чиқариш ёки қайта йуналтириш, бир нечта ёки ҳамма спектрал каналларга йуналтириш ва магнит доменлари асосида ишлайдиган магнитооптик қурилмаларни яратиш бўйича кенг қамровли чора тадбирлар амалга оширилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасининг янада ривожлантириш бўйича Харакатлар стратегиясида жумладан, «...милий иқтисодиётнинг рақобатбардошлигини ошириш, иқтисодиётда энергия ва ресурслар сарфини камайтириш, ишлаб чиқаришга энергия тежайдиган технологияларни кенг жорий этиш...» таъкидлаб ўтилган. Мазкур вазифани амалга ошириш, жумладан магнитооптик коммутаторлар технологияси, яъни коммутация тизимларининг тугун тизимларида Фарадей элементлари

ишлатилиши ва бу йўналишида бажарилаётган илмий изланишлар муҳим аҳамият касб этади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «2017-2021 йилларда Ҳаракатлар Стратегиясини келгусида амалга ошириш чоралари тўғрисида»ги Фармони, Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 17 февралдаги ПҚ-2789-сон «Фанлар академияси фаолияти, илмий тадқиқот ишларини ташкил этиш, бошқариш ва молиялаштиришни янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги ва 2018 йил 20 июлдаги ПҚ-3876-сон «Фан ва олий таълим соҳаси ходимларининг меҳнат ҳақи миқдорини янада ошириш, илмий ва илмий-техник фаолият натижалари жорий этилишини давлат томонидан қўллаб-қувватлаш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Қарори, ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг уствор йўналишларига мослиги.

Мазкуртадқиқот Ўзбекистон Республикаси фан ва технологияларни ривожланишининг: II. «Физика, астрономия, энергетика ва машинасозлик» уствор йўналиши доирасида бажарилган.

Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи¹. Магнит материалларда магнитооптик ходисалар ва оптик коммутаторларнинг янги авлодини яратишга йўналтирилган илмий изланишлар жаҳоннинг етакчи илмий марказлари ва олий таълим муассасалари жумладан, Ок-Ридж миллий лабораторияси ва Пердью университети, (АҚШ), Istituto elettrotecnico nazionale Galileo Ferraris torino (Италия), University Paris-Sud Orsay (Франция), Россия Фанлар академияси А.Ф.Иоффе номидаги Физика-техника институти, Л. В. Киренский номидаги Физика институти, М.В.Ломоносов номидаги Москва давлат университети, Киев политехника институти, Украина Фанлар академияси Паст температуралар физика техника институти, Беларусия Республикаси миллий Фанлар академиясининг материалшунослик илмий ишлаб чиқариш маркази, Ўзбекистон Фанлар академияси Ион-плазма ва лазер технологиялари институти, Ўзбекистон Миллий университети, Тошкент давлат техника университети (Ўзбекистон) томонидан олиб борилмоқда.

Ҳажмли ахборотларни ёзиш, сақлаш ва ўқишнинг замонавий усуллари ва воситаларини ишлаб чиқиш ҳамда такомиллаштиришга оид жаҳонда олиб борилган тадқиқотлар натижасида бир қатор илмий натижалар олинган: қурилмаларнинг минитюрзация қилишга интилиш, хотира ва мантиқий қисмларни катта ҳажмли ва кичик вазнли тез ҳаракатчанли қисмлари яратилган (Сёдзон университети, Жанубий Корея, Яманаши университети, Япония); хотирада сақлаш қурилмаларининг янги тамойиллари яратилган

¹ Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи: келтирилган адабиётлар рўйхати [1-56] ва бошқа манбалар асосида амалга оширилди.

(Москва давлат университети); магнитооптик қурилмаларининг конструкциялари ишлаб чиқилган (Киев политехника институти); магнитдоменлари асосида янги қурилмалар яратилган (Ок-Ридж Миллий лабораторияси, АҚШ).

Дунёда магнитооптик ходисалар ва оптик коммутаторларнинг янги авлодини яратиш бўйича қатор, жумладан қуйидаги уствор йўналишларда тадқиқотлар олиб борилмоқда: янги материалларни синтез қилиш; янги магнитооптик материалларининг хусусиятини аниқлаш ва интерпретациясини ишлаб чиқиш; қурилмаларни миниатюризация қилиш ва такомиллаштириш; хотира ва мантиқий қисмларни катта ҳажмли ва кичик вазнли тез ҳаракатчан қисмларини яратиш.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Замонавий компьютерларнинг хотираси ҳажми одатда 10^8 битдан ошмайди, бу одамнинг хотираси ҳажмидан жуда кам ($\sim 10^{12}$ бит). 1970 йиллардан бошлаб дунёнинг етакчи олимлари хотирада сақлаш қурилмаларининг янги тамойилларини яратиш устида интенсив илмий ишлаб чиқаришлар олиб бормоқдалар. Бу йўналишда россиялик олимлар (Г.А.Смоленский раҳбарлигидаги магнетизм ва сегнетоэлектриклар лабораторияси) катта ҳисса қўшдилар. Магнитооптик қурилмаларининг назарияси, ҳисоблаш ҳамда конструкция масалалари ва уларнинг тизимига бағишланган ишларида россиялик ва бошқа чет эллик Рандошкин В.В., Червоненкис А.Я., Берикашвили В.Ш., Миrowsицкий Д.И., Котов В.А., Звездин А.К., Мнейн М.Г., Боровик-Романов А.С., Крейнс Н.М., Тикадзуми С. Бобек Э., Делла Торре Э., Эшенфельдер А. каби олимларнинг ҳиссалари катта.

Ахборотларни термомагнит усулида ёзиш ва улар учун материаллар россиялик олимлар Г.С. Кринчик раҳбарлигидаги илмий груҳ, Балбашев А.М. ва А.Я.Червоненкис украиналик олимлар В.А.Тронько ва Ю.Плаксийлар билан ҳамкорликда электрон нур орқали ахборотлар ёзишни амалга оширишди. d-f металлларнинг аморф ва феррит-гранат плёнкаларида термомагнит ёзишни чет эллик олимлар Erskine J.L., Stern E.A., MacDonald R. E., Beck J. W., Krumme J.P., Werweel J., Haberkampлар амалга оширға эришдилар. Чет эл ва МДХ мамлакатларида магнит доменлари асосида янги қурилмалар яратиш бўйича катта илмий ишлар олиб борилди. Айниқса магнит доменлари панжарасида, диффракция ходисаси асосида яратилган қурилмалар устида интенсив илмий тадқиқот ишлари олиб борилмоқда.

Ассоциатив тизимлар ва гуруҳ назариясининг ривожланиши Тошкент ахборот технологиялари университетида В.М.Соннинг илмий ишларида янада ривож топди, яъни у ассоциатив тизимларнинг янги имкониятларини кўрсатиб берди. Шу муносабат билан илмий тадқиқот ишлари ва янги моделларни ишлаб чиқиш ҳамда юқори тезликда маълумотларга ишлов беришни таминлайдиган ассоциатив тизимларни ҳисоблаш усулларини яратиш долзарб масаладир.

Ўзбекистон Миллий университетида магнит материалларининг хусусиятларини фундаментал ва амалий тадқиқот ишлари К.М. Муқимов ва

У.В. Валиевлар томонидан бошланган. Бу илмий ишлар билан бир қаторда, лабораторияда ахборотларни термомагнит ёзиш, интеграл оптика элементлари, цилиндрли ва чизиклимагнит доменлар асосида микрочиплар, магнитооптик коммутаторларнинг элемент базасини яратиш устида интенсив равишда илмий ишлар олиб борилмоқда.

Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Тошкент автомобил йўлларини лойиҳалаш, қуриш ва эксплуатацияси институтининг илмий тадқиқот ишлари режаси доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади нодир ер феррит-гранат пленкалари ва монокристалларининг оптик ва магнитооптик хусусиятлари механизмларини аниқлаш ва оптик коммутаторларнинг янги элемент базаларини яратишдан иборат.

Тадқиқот вазифалари:

нодир ер феррит гранат эпитаксиал плёнкаларини кимёвий таркибларини ва технологик режимларини, кристалл параметрларини ва оптик хусусиятларини оптималлаштириш;

N-катламли магнит структурасида нурларнинг кўп марта қайтиш қонуниятини тадқиқ қилиш ва ёруғликни қайтиш ва ютилиш механизмларини аниқлаш;

ахборотларни сақлаш ва узатиш элемент базаси қурилмаларининг архитектурасини оптималлаштириш;

магнитооптик анизотропиянинг (фотоэластик-оптикавий-киритилган деформация) тензори компоненталарини илмий тадқиқ қилиш;

нодир ер феррит-гранат эпитаксиаль плёнкаларида ўсиш оптик анизотропия борлигида оптик индикатрисанинг айланиш механизмини аниқлаш;

темир итрий гранатида ножинслилик ва беқарорлик факторларини домен структурасига таъсирининг табиати ва механизмларини аниқлаш;

ахборотларни d-f металлларнинг аморф пленкаларига термомагнит усулида ёзиш учун уларнинг оптик ва магнитооптик хусусиятларининг табиатини аниқлаш;

магнит диффракцион панжаралари асосида оптик коммутаторларнинг тезкор ва юқори ҳажмли янги авлодини яратиш мақсадида, магнит материалларни оптик ва магнитооптик хусусиятларини оптималлаштириш ҳамда оптик мультиплексорлар ва демультимплексорларни ишлаб чиқиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида $Y_3Fe_5O_{12}$, $R_3Fe_5O_{12}$ ва уларнинг Bi, Ga аралашмаларининг эпитаксиал плёнкалари, ҳамда d-f металлларнинг (Tb-Fe, Tb-Gd-Fe, Tb-Fe-Co и Tb-Gd-Fe-Co) аморф плёнкалари олинган.

Тадқиқотнинг предмети ахборотларни ёзиш-сақлаш ва узатиш учун доменлар структурасининг механизмини шакллантириш ва магнитооптик коммутаторларининг янги авлодини техник томонларини ишлаб чиқишни ташкил этади.

Тадқиқотнинг усуллари. Диссертацияда физик хоссаларни ўрганишнинг мураккаб тизимларини тадқиқ қилиш усулларига асосланган, қўйилган масалани ечишга комплекс тизимли ёндошиш яъни оптик ютилиш, Фарадей эффекти, магнит доиравий ва чизиқли дихроизми, фотоиндуцирлаш усули, доменларнинг тизимини магнитооптик визуаллаштириш усули ҳамда магнитооптик қабул қилувчанликни дифференциаллаш усули, Camesa IMS-4F қурилмасида масс-спектроскопни иккиламчи ион усули, микронзонд ва активацион анализ усуллари қўлланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

гранатнинг оптимал химиявий таркиби ва унга Tb, Yb, Dy, ионларининг кирувчанлик коэффицентини, концентрация қийматининг (x) га ва Ga ионларининг температурага боғлиқлиги аниқланган;

қатламли магнит структурасида электромагнит тўлкинларининг тарқалиш механизми ва икки қатламли магнит структурасида, нурларнинг қайтиш ва ўтиш формуллари таклиф қилиниб, Фарадей ва Керр эффектлари ўзаро боғланиши аниқланган;

катта дозали ($D > 5 \times 10^{19}$ ион/см²) ва энергияси $E = 0,5 - 2$ кэВ бўлган кислород ионлар билан нурлантирилган плёнкаларнинг оптик ва магнитооптика хоссалари аниқланган;

темир итрий феррит-гранати плёнкаларида магнитооптик сезувчанликни аниқлаш шунингдек ферромагнитларда магнит ножинслигини ўлчаш усули ва юқори қувватли лазер нурлари тасирида домен деворларининг барқарорлиги аниқланган;

илк бор фотомагнит эффектларининг температурага боғлиқлиги $Y_3Fe_5O_{12}$ монокристалларида импульсли лазер нурлари таъсирида магнитланишининг ўзгариши аниқланган ва $Y_3Fe_5O_{12}:Si$ кристаллида оптик-тола тизимида юқори қувватли имплусли лазерлари учун фотоприёмниклар ишлаб чиқилган;

аморф плёнкаларида ахборотларни ёзиш ва сақлаш учун юқори магнитооптик ассилчанликка эга бўлган спектр соҳаси ҳамда d-f металларнинг (Tb-Fe, Tb-Gd-Fe, Tb-Fe-Co и Tb-Gd-Fe-Co) магнитооптик хоссалари аниқланган;

магнит панжараларида диффракция ва Фарадей ҳодисаси асосида оптик коммутаторларнинг асосий магнитооптик элементи ишлаб чиқилган;

қаттиқ жисм сиртидаги тасвирларни таққослаш учун микроскоп таркибига предмет столчалари, иккита солиштириш тармоқлари, тасвирлар майдонларини қўшиш блоки, объектив, ўтказувчи ойна, визуал-телевизион каналлар ва кузатиш блокларидан иборат такомиллаштирилган қурилма ишлаб чиқилган;

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

эпитаксиал плёнкаларни ўстириш усулини кенгайтириш, ахборотларни ёзиш, сақлаш ва узатиш сифатини яхшилаш усули ишлаб чиқилган;

биржинсли барқарор магнит доменларни олишнинг оптимал шarti ва улар асосида магнитооптик калитлар ва коммутаторлар ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги олинган назария ва тажриба натижалари замонавий илмий усуллар асосида олинган тажриба натижаларининг, бошқа муалифлар тажрибасида олган натижаларига мос келиши ва физикавий оптиканинг замонвий тушунчаларига мослиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий ва аҳамияти $R_3Fe_5O_{12}$ ларининг эпитаксиал плёнкаларини ўстириш технологияси ва $Y_3Fe_5O_{12}$ гранатларда оптик ва магнитооптик хоссалари ўзгаришининг физик табиатини аниқлаш ва шу билан магнит хотираларининг ҳажмини кенгайтириш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти, сифатли плёнкаларни мақсадли ўстириш; оптик ютилишни жиддий камайтириш, магнитооптик ассилликни ошириш; оптик коммутаторларнинг янги авлодини яратиш, қувватли лазер нурлари учун фотоприемниклар ва бу лазерлардан $R_3Fe_5O_{12}$ асосида олинган цилиндр магнит домен қурилмаларининг доменларини силжитишда фойдаланишдан иборат.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Магнит материалларда магнитооптик ҳодисаларни ва оптик коммутаторларнинг янги авлодининг элемент базаларини яратиш асосида:

феррит гранатларда домен тизимларини кўриш ва тасвирнинг сифатини яхшилаш бўйича «Объект юзасининг суръати бўйича уни қиёсий анализ учун қурилма» Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлигининг ихтирога патенти олинган (UZ № IAP 04195, 30.07.2010 й). Ишлаб чиқарилган қурилма доменларининг тасвирлар сифатини юқори аниқликда кузатиш имконини берган;

дозаси $D > 5 \times 10^{19}$ ион/см² энергияси $E = 0,5 - 2$ кэВ бўлган кислород ионлар билан нурлантирилганда плёнкаларнинг оптик ва магнитооптик хоссалари ўзгаришининг аниқланган физикавий механизми Беларуссия Республикаси материалшунослик илмий тадқиқот марказида ихтиёрий таркибдаги юқори сифатли нодир ер феррит-гранатлари плёнкаларини олишда қўлланилган («Белоруссия Миллий Фанлар академияси Материалшунослик илмий ишлаб чиқариш маркази» давлат бирлашмасининг 2018 йил 3 майдаги 16001-23/290-сон маълумотномаси). Илмий натижаларининг қўлланиши юқори сифатли ихтиёрий нодир ер феррит-гранат плёнкаларини олиш имконини берган;

Мах-Цендр интерферометри базасида Vi-ли феррит-гранат плёнкаларида Фарадей эффекти натижалари «Unikon.Uz» илмий техник ва маркетинг тадқиқотлар марказида мультиплексорлар ва демультиплексорларнинг элемент базалари ҳамда ассоциатив коммутация тизимида оптик оқим калитларини шунингдек уй тизимида SOHO (small office, Home office) локал тармоқларни яратишда оптик ҳамда алоқанинг минтақавий ва магистрал тармоқлари комму-таторларини ишлаб чиқишда қўлланилган (Ўзбекистон Республикаси ахбо-рот технологиялари ва коммуникацияларин ривожлантириш вазирлигининг 2018 йил 22 июндаги 338/4556-сон маълумотномаси). Илмий натижаларидан фойдаланиш оптик коммутаторларининг янги авлодининг

элемент базаларини ҳамда минтақавий ва магистрал тармоқларини яратиш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Тадқиқот натижалари 14 та республика ва халқаро илмий-амалий анжумаларда муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши. Диссертация мавзуси бўйича жами 34 та илмий иш чоп этилган, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 18 та илмий мақола нашр этилган ва 1 та ихтирога патент ҳамда 1 та фойдали моделга патент олинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, олти боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 198 бетни ташкил этган.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида ўтказилган тадқиқотларнинг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари, объект ва предметлари тавсифланган, республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиқ берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Магнит материалларда магнитооптик ҳодисалар ва оптик коммутаторларнинг янги авлодининг элемент базалари**» деб номланган биринчи бобида муаммолар ҳолати бўйича мавжуд адабиётлардаги маълумотлар ўрганилган. Магнит материалларда магнитооптика ҳодисаларини тадқиқ қилиш усуллари таснифи ва воситалари келтирилган.

Қўйилган мақсадга мувофиқ назария ва тажриба натижаларни таҳлил қилиш асосида диссертациянинг асосий мақсад ва вазифалари шакллантирилган.

Диссертациянинг «**Тадқиқот намуналари, тажриба қурилмалари ва ўлчаш усуллари**» деб номланган иккинчи бобида тадқиқот намуналарига алоҳида этибор берилган. Феррит гранат плёнкаларининг кимёвий таркиби ҳисобланган. Олинган плёнкаларнинг элемент таркиби Камека (Франция) фирмасининг микроанализатор MS-46 да аниқланган.

$R_3Fe_5O_{12}$ магнит плёнкасининг оптик ва магнитооптик хоссаларига технологик жараёнлар таъсирининг айрим умумий муаммолари ўрганилган. Легировчи қўшимчалар шакл ва сони бўйича иккита асосий талабни қондириши шарт:

1) ўстирилаётган плёнка панжараларининг катталиклари тагликнинг кристалл панжараларига яқин ёки тенг бўлиши шарт, агар бу талаб

қондирилмаса, ҳосил бўлган кучланиш магнит плёнканинг бузилишига олиб келади.

2) плёнкаларнинг таркибига боғлиқ физик катталиклари берилган катталикларга мос (масалан, магнитланиши T_K ва бошқалар) бўлиши шарт. Биринчи талаб легирловчи элементнинг қиймати $Y_3Fe_5O_{12}$ қандай таъсир кўрсатади. Биринчи талабни қониқтириш таглик сифатида кристалл панжараси доимийси $a_0 = 12,383 \text{ \AA}$ бўлган $Gd_3Ga_5O_{12}$ (ГГГ) ва кристалл панжараси доимийси $a = 12,376 \text{ \AA}$ тенг бўлган асосий ўстириладиган материал сифатида $Y_3Fe_5O_{12}$ ни танлаш орқали эришилади.

Гранатнинг панжара доимийси маълумотларидан фойдаланиб ва қатор нодир ер ионларининг панжара доимийсини ўзгартириш, ҳамда Fe ионларини Ga ионлари билан алмаштириш орқали магнит материалларнинг бошқа таркибини танлаш мумкин. Бунинг учун фақат плёнка ва тагликнинг панжара доимийлари бир биридан минимум фарқланиши зарур. 1-жадвалда Y бирорта нодир ер иони билан алмаштириш натижасида ҳосил бўлган кристалл ячейкаларининг катталиклари келтирилган. 1-жадвал маълумотларидан фойдаланиб $Y_3Fe_5O_{12}$ панжара доимийсини, Y ни Tb , Yb и Dy ионларига ал-маштириш натижасида ўзгариши графигини чизамиз (1- расм 1, 2, 3 тўғри чи-зиқлар). Худди шундай $Y_3Fe_5O_{12}$ панжара доимийсини Fe ионини Ga га алмаштирилгандаги ўзгариш графигини ҳам чизиш мумкин (1-расм, 4-тўғри чизик).

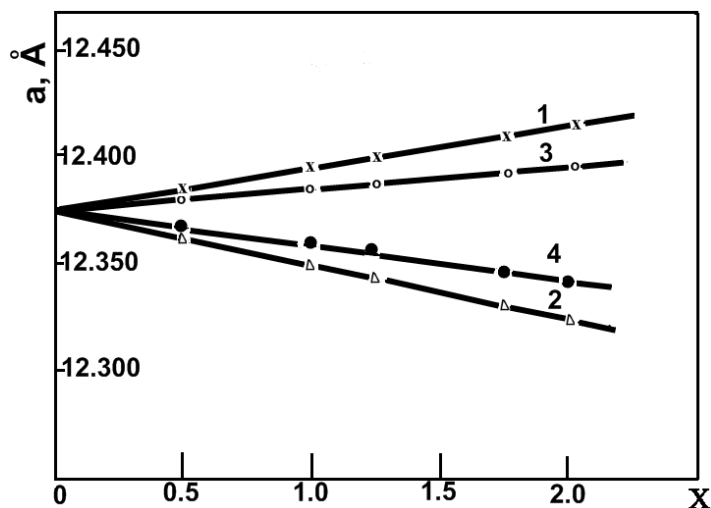
1-жадвал

Нодир ер элементлари ФГ асосидаги гранатларнинг хусусиятлари

R	$a_0 \text{ \AA}$	$\Delta a_0 \text{ \AA}$	$4\pi Ms(300K), \text{ Гс}$	R	$a_0 \text{ \AA}$	$\Delta a_0 \text{ \AA}$	$4\pi Ms 300K), \text{ Гс}$
Sm	12,529	+0,051	1675	Y	12,376	0,000	1767
Eu	12,498	+0,041	1172	Er	12,347	-0,010	1241
Gd	12,471	+0,032	56	Tm	12,323	-0,018	1397
Tb	12,436	+0,020	198	Yb	12,302	-0,025	1555
Dy	12,405	+0,010	376	Lu	12,283	-0,031	1815
Ho	12,376	0,000	882				

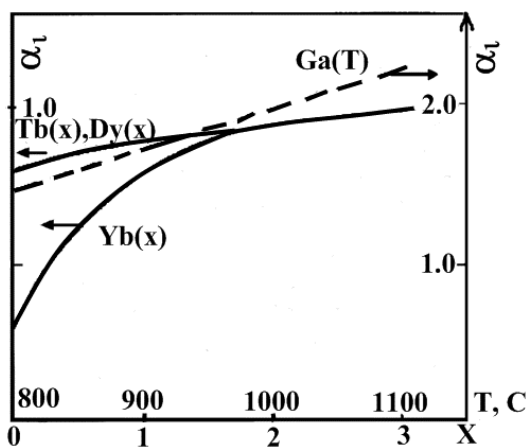
Δa_0 – Y ни нодир ер элементларидан бирортасига алмаштиришнинг доимийлари орасидаги фарқ $-\Delta a_0 = 12,383 - 12,376 = 0,007 \text{ \AA}$ ташкил этади. Бу фарқни компенсация қилиш учун $\Delta a_0 = 0,007 \text{ \AA}$ ни 1. расмга мувофиқ Y ионини $x=0,35$ Tb ионига алмаштириш зарур. Шундай қилиб, зарур бўлган плёнканинг кимёвий таркиби $Y_{2,65}Tb_{0,35}Fe_5O_{12}$ ифода этилади, ҳисобланган панжара доимийси $a = 12,383 \text{ \AA}$ Y ни иккита нодир ер ионлари билан алмаштириш қуйидаги схема орқали амалга оширилади. Yb ($x=0,1$) қийматини танлаб бунда плёнканинг панжара доимийсини ўзгариши натижасида, 1-расм маълумот-ларидан фойдаланиб ихтиёрий гранатнинг кимёвий формуласини берилган панжара доимийси орқали ҳисоблаш мумкин

ва бу катталиқ мисолда $a=12.383\text{\AA}$. Мисол тариқасида $(Y, Tb, Yb)_3Fe_5O_{12}$ шу ФГ ни кимёвий формуласини ҳар хил нодир ер Tb, Yb ионлари учун, таглигининг кристалл панжара доимиси $a=12,383\text{\AA}$ бўлган ҳол учун ҳисоблаймиз. $Y_3Fe_5O_{12}$ панжара доимийси $a = 12,376\text{\AA}$ Тога ва аралаштирилган $Y_3Fe_5O_{12}$ гранат кристалл пажаралари доимийси $Y_{2,9}Yb_{0,1}Fe_5O_{12}$ - 1 расмга мувофиқ $a_0=12,373\text{\AA}$ бўлади.

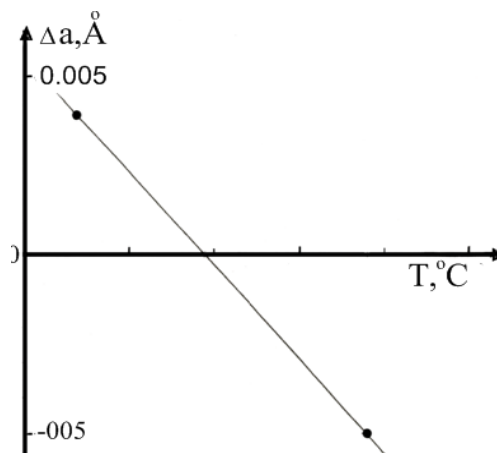


1-расм. Гранатларнинг панжара доимийларини нодир ер ионларининг концентрацияларига боғлиқлик графиги $Y_{3-x}R_xFe_5O_{12}$ ($R=1 -Tb$; $2 -Yb$; $3 -Dy$) ва $4 -Y_3Fe_{5-x}Ga_xO_{12}$.

Фарқларини компенсация қилиш учун зарур катталиқ $\Delta a_0=(12,376-12,373)+(12,383-12,376)=0,010\text{\AA}$. Бундай катталиқларнинг фарқларини компенсациялаш Y ионини $x=0,49Tb$ ионига алмаштириш билан эришилади.



2-расм. Tb, Yb, Dy ионларининг кирувчанлик коэффициентини уларнинг алмаштириш даражасига (x) ва Ga ионини температурасига боғлиқлиги.



3-расм. Плёнка таглик аралашмали эритма $Y_{2,65}Tb_{0,35}Fe_5O_{12}$ $\Delta a = 0,005\text{\AA}$ кристалл таркиби катталиқларининг номослигига боғлиқлиги.

Талаб қилинган плёнканинг кимёвий формуласи кристалл структурасининг панжара доимийси $a_0=12,383\text{\AA}$ бўлган $Y_{2,41}Tb_{0,49}Yb_{0,1}Fe_5O_{12}$.

Худди шундай бошқа плёнкаларнинг талаб қилинган кимёвий формуласини ҳисоблаш мумкин, агар уларнинг панжара доимийлари таглик ГГГ доимийларига яқин ёки тенг бўлса, берилган кимёвий таркибдаги плёнкаларни ўстиришнинг оптимал шароитини аниқлаш учун, плёнканинг параметрларига ўстириш жараёнининг таъсири илмий тадқиқ қилинди. Бунда қуйидаги технологик параметрлари ўзгартирилди масалан; алмаштириш даражаси (x) ва Ga ионлари кирувчанлик коэффициентининг температурага боғлиқлик графиги 2-расмда келтирилган. Кристалл параметрларининг но – мослигини Δa , ўта совуш температурага ΔT боғлиқлиги, назорат ГГГ таглигининг доимий ўсиш частотаси 80 айлана/мин ва ўсиш вақти 10 мин бўлган ҳолда аниқланди. Мисол тариқасида, 3-расмда плёнка таглик–аралашма ва эритма $Y_{2,65}Tb_{0,35}Fe_5O_{12}$, $\Delta a = 0,005\text{Å}$.

Кристалл структура параметрларининг номослигига $\Delta a = 0,005\text{Å}$ боғлиқлик графиги келтирилган.

Тажриба қурилмалари ва ўлчаш усуллари. Тажриба қурилмалар, замонавий спектрометр КСВУ 3 базасида, юқори аниқликдаги ўлчаш асбобларидан фойдаланган ҳолда (селектив кучайтиргич синхрон детектори билан ва вольтметрлар В7-34) ҳамда оптик ютилишни махсус ҳисоблаш қурилмаси орқали магнит доиравий ва чизиқли дихроизмми юқори частотали кварц модуляторини қўллаш орқали ўлчанган. Чизиқли иккиланма синишининг температурага боғлиқлигини ўлчаш усули ишлаб чиқилди. Объектларнинг сифатли тасвирини олиш ҳамда объектларни солиштириш усули ишлаб чиқилди ва ихтирога патент олинди. Ўқув жараёнининг сифатини ошириш мақсадида ўқув жараёнига ахборот-коммуникация технологияларини қўллаб 4 каналли дастурли телевизион микроскоп ишлаб чиқилди. Бу микроскоп интерференция ҳодисаларини намойиш қилишда ва магнит доменларни ўрганишда фойдаланилади. Магнит материалларда магнит ножинслилигини тадқиқ қилиш учун магнитооптик усул ишлаб чиқилди.

«Кўп таркибли ва қатламли магнит плёнкаларида оптик ва магнитооптик ҳодисаларни назарий тадқиқ қилиш» деб номланган учинчи бобида нодир ер ферит-гранатлари эпитаксиал магнит плёнкаларга алоҳида этибор қаратилган, одатда улар таглик ва плёнкаларнинг кристал панжаралари параметрларининг номослиги туфайли кучланган ҳолатда бўлади. Кўп таркибли нодир ер ферит-гранатлари плёнкалар таркибининг қалинлиги бўйича ҳам ножинсликга эга бўлади. Бу ионларнинг диаметрлари ҳар хил ўлчамга эга бўлганлиги туфайли, кристал позицияларида ностатик тақсимланиши билан боғлиқ, шунинг учун бизни ε_{ij}^c тензорининг гранатларнинг шафоф спектрал соҳасида, деформация ва ўсиш билан боғлиқ анизотропияни ҳисобга олгандаги кўриниши қизиқтиради. ε_{ij}^c тензор компоненти қуйидаги кўринишга эга

$$\varepsilon_{ij}^c = \varepsilon_0 \delta_{ij} + \varepsilon_{20} g_{ijkl} M_{ij} + M_k M_l - \varepsilon_{20} \rho_{ijkl} U_{kl} + \varepsilon_{20} r_{ijkl} \beta_k \beta_l \quad (1)$$

бунда $\sqrt{\varepsilon_0} = n_0$ - гранатнинг изотроп кўрсаткичи магнит тартибига боғлиқ эмас; g_{ijkl} , ρ_{ijkl} , r_{ijkl} – мос ҳолда, фотоэластик, деформация ва ўсиш оптик анизотропиялари тензорларининг компоненталаридир. M_k , M_l , M ; β_k вектор компоненталари, β_l ўсиш вектор компонентаси. ε_{ij}^c тензорнинг фотоэластик хиссасининг кўриниши

$$\nabla \varepsilon_0^p = \varepsilon_0^2 \rho_{ijkl} U_{kl}. \quad (2)$$

ρ_{ijkl} тензорнинг аниқ кўринишидан ва U_{kl} матрица тенгламасидан (2)

Фойдаланиб нодир ер ферит-гранатлари эпитаксиал плёнкаларнинг синдириш кўрсаткичи асосий қийматини, фотоэластик туфайли ҳосил бўлган ўзгаришини, плёнка текислигида уч йўналишдаги кўринишини топиш мумкин:

1) Плёнкани (100) текислигига параллел тарқалаётган ёруғлик учун, иккиланма чизиқли синиш қиймати қуйидагича аниқланади

$$\Delta n = \Delta n_{\parallel} - \Delta n_{\perp} = (1/2)n_0^3(\rho_{12} - \rho_{11})(1 + h_{100})U_{\parallel} \quad (3)$$

Бунда Δn_{\perp} ва Δn_{\parallel} иккита чизиқли кутубланган ёруғликнинг мос ҳолда текислик бўйича ва перпендикуляр тарқалишида синиш кўрсаткичини ўзгариши. Шундай қилиб, иккиланма синиш плёнка текислигида ёруғликни тарқалиш йўналишига боғлиқ эмас, яъни кристалл бир ўқли оптик кристалл бўлиб оптик ўқнинг йўналиши, плёнка текислигига перпендикуляр бўлади.

2) Плёнканинг(111) текислигига параллел тарқалаётган ёруғлик учун иккиланма чизиқли синиш қиймати қуйидагича аниқланади

$$\Delta n = n_0^3 \rho_{44} (1 + h_{111})U_{\parallel} \quad (4)$$

яъни бу ҳолда ҳам кристалл бир ўқли бўлади, унинг оптик ўқи плёнка текислигига перпендикуляр бўлади.

3) Плёнканинг(110) текислигига параллел тарқалаётган ёруғлик учун, агар ёруғликнинг тарқалиш йўналиши [110] бўлса иккиланма чизиқли синиш қиймати қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$\Delta n = (\Delta n_1 - \Delta n_2) = n_0^3 \rho_{44} (1 + h_{110})U_{\parallel} \quad (5)$$

[100] йўналиш бўйича

$$\Delta n = (\Delta n_1 - \Delta n_3) = (1/2)n_0^3(\rho_{12} + \Delta \rho / 2 - \rho_{11})(1 + h_{110})U_{\parallel} \quad (6)$$

Бундан кўринадики иккиланма синишнинг қиймати, ёруғликнинг тарқалиш йўналишига боғлиқ ва кристалл кубик ҳолатидан икки ўқли ҳолатга ўтади.

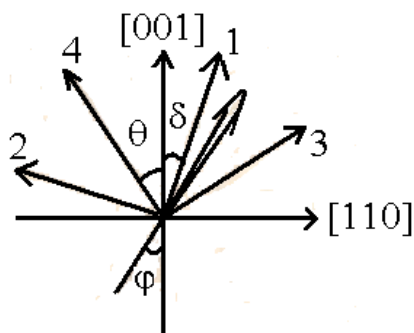
Бу бўлимнинг хулосасида НЕФГ эпитаксиал плёнкаларнинг синдириш кўрсаткичининг қийматини деформация туфайли ўзгартиришнинг тартиби кўрсатилди. Агар нисбий деформация $U_{\parallel} \sim 10^{-4}$ бўлса гранатнинг оддий кристалл панжарасининг доимийси $a_0 \sim 12,4 \text{ \AA}$ деб олинса, деформацияланмаган ҳолатдаги синдириш кўрсаткичи учун иккиланма синиш $\Delta n \sim 10^{-4} - 10^{-5}$ га тенг бўлади (яъни фотоэластик ҳисса билан тенг).

Ёруғликнинг ютилиш соҳасида оптик индикатрисанинг айланиши билан биргаликда, дихроик ўқлар ҳам айланади, кристалл йўналишларида ёруғлик қутуби билан аниқланадиган ёруғлик ютилиши, бу йўналишларда максимум ёки минимум қийматга эга. Оптик индикатрисанинг асосий йўналишини ва дихроик ўқларнинг айланиши, оптик анизотропияни, спонтан магнитланиш туфайли юзага келади деб ҳисобланган. Ҳолбуки бу кристалл ва плёнкаларда, кўп ҳолатларда ўсиш жараёнида оптик анизотропияси бўлади бу эса асосий ўқларнинг бурилишида ва дихроик ўқларнинг магнитланиши айланишида катта таъсир қилади. Бу ҳолни кубик кристаллнинг иккита (100) ва (110) асосий кристалл текислигида анализ қиламиз. Магнитланишнинг айланишида оптик индикатрисанинг ҳаракати илмий адабиётларда етарлича келтирилган, шу сабабдан ўсиш оптик анизотропиясининг асосий ўқларининг ихтиёрий йўналиш ифодасини ёзамиз. Ўсиш оптик дихроизмининг асосий ўқлари, симметрия ўқлари билан мос тушмасин, улар плёнканинг (110) текислигини [100] ўқига қандайдир δ бурчак остида жойлашсин (4-расм). Бу координат системасида 1-2 ўсиш дихроизмини асосий йўналиши билан боғлиқ, ўсиш индикатрисасини ҳиссаси қуйидагича ифодаланади

$$T_{ij} = \begin{bmatrix} K & 0 \\ 0 & K \end{bmatrix} \quad (7)$$

Қулайлик бўлиши учун кристаллографик йўналиш билан боғлиқ координата системасига ўтамиз. Бунда бу ўқларда тенглама қуйидаги кўринишда бўлади

$$T_{ij} = a_{ik} a_{jl} T_{kl}, \quad (8)$$



4-расм. Магнитланишнинг (110) текислигидаги ҳаракатини ҳисоб бурчаги ва дихроик ўқларни координат системаси; 1, 2 - ўқлар кристаллографик дих-роизма; 3, 4 - ўқлар йиғинди эффекти

Бунда, T_{kl} - кристаллографик ўқларнинг бурилиш матрицаси.

Индикатриса тенгламаси, ўсиш ҳиссасини ҳисобга олганда қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\{B'\} + T'_{ij} = \{B''\} \quad (9)$$

Энди $\{B''\}$ диагонал ҳолатга [100] ёки [110] ўқлар атрофида θ бурчакга буриш орқали келтириш мумкин, бу бурчак тангенс индикатрисанинг диагонал ва диагонал бўлмаган компоненталари орқали аниқланади.

$$1. \vec{m} \perp [100], \vec{K} \parallel [100],$$

$$\operatorname{tg} 2\theta = \frac{\sin 2\varphi + 2K/M \sin 2\delta}{1/a(\cos 2\varphi) + (2K/M) \cos 2\delta} \quad (10)$$

бунда φ бурчак магнитланиш \vec{m} ва [001] ўқ орасидаги бурчак; $a = \rho_{44}/\rho_{11} - \rho_{12}$ - магнитооптиканизотропия коэффиценти;

$\rho_{44}\vec{m}^2$ - магнит хиссасининг қиймати; $K = (\alpha_1 - \alpha_2)$ ўсиш дихроизмининг қиймати, $d_1 = \cos \varphi$. Ўсиш дихроизми бўлмаган, $K = 0$ ҳолда ифода (10) қуйидагича ёзилади

$$\operatorname{tg} 2\theta = a \operatorname{tg} 2\varphi \quad (11)$$

Бошқа экстремали ҳолатда $M = 0$ дихроик ўқлари ўсиш дихроизмининг ўқлари билан магнитооптикас тушади ва магнитланишнинг ориентациясига боғлиқ бўлмайди. Оралиқ ҳолатларда дихроик ўқлар K, M ва a параметрларининг аниқ мунособатларига боғлиқ.

$$2. \vec{m} \perp [110], \vec{K} \parallel [110]$$

Магнитланишнинг (110) текисликдаги харакати θ бурчак учун қуйидагича бўлади

$$\operatorname{tg} 2\theta = \frac{\sin 2\varphi + 2K/M \sin 2\delta}{(1/a) \cos 2\varphi + (1 - a^2/2a) \sin^2 \varphi + (2K/M) \cos 2\delta} \quad (12)$$

Ҳисоблар шуни кўрсатадики $\theta(\varphi)$, K/M га кучли боғлиқ бўлиб унинг кўриниши 90 дан 180-градусгача ўзгаради ва унинг амплитудаси камаяди.

Бу боғланишнинг кўриниши a нинг қиймати ва δ бурчак билан аниқланади, бунда дихроик ўқларнинг бошланғич ҳолати $\varphi = 0$.

Дихроик ўқларнинг бурилиши, хар хил таркибли феррит-гранат эпитаксиал плёнкаларда $Y_3Fe_5O_{12}$, $(YBi)_3(FeGa)_5O_{12}$, $(YPr)_5(FeGa)_5$ тажриба қилинган. Олинган тажриба натижалари (12) ифода билан жуда яхши тасвирланган, агар a нинг тегишли параметри ва K/M мунособатнинг қийматларига мос танланган бўлса. Олинган ифода ёрдамида бир қанча бошқа муалифларнинг тажриба натижалари ҳам жуда қониқарли тасвирланган (Lucari F., Terrenzio E., Tomasetti G., Magnetic linear dichroism in Sn doped YIG. J. Appl.Phys., 1981, 52 2301 – 2303. Dorozio F., Luccori F., Tomasetti G., Desvignes J. Near infrared magnitooptical effects in Sb doped YIG. J. Magnetism. and Magnetic. Mat., 1983, 31-34, 593-594).

Диссертацияда нурларнинг қайтиш A ва ўтиш B матрицаларининг ифодаси олинган

$$A = R_1 + t_1 d_2 [I - R_2 D_2 r_1 d_2 - t_2 (T_2 R_2^{-1} t_2 + D_2^{-1} R_2^{-1} d_2^{-1} - r_2)^{-1} T_2 R_2^{-1}]^{-1} R_2 D_2 T_1$$

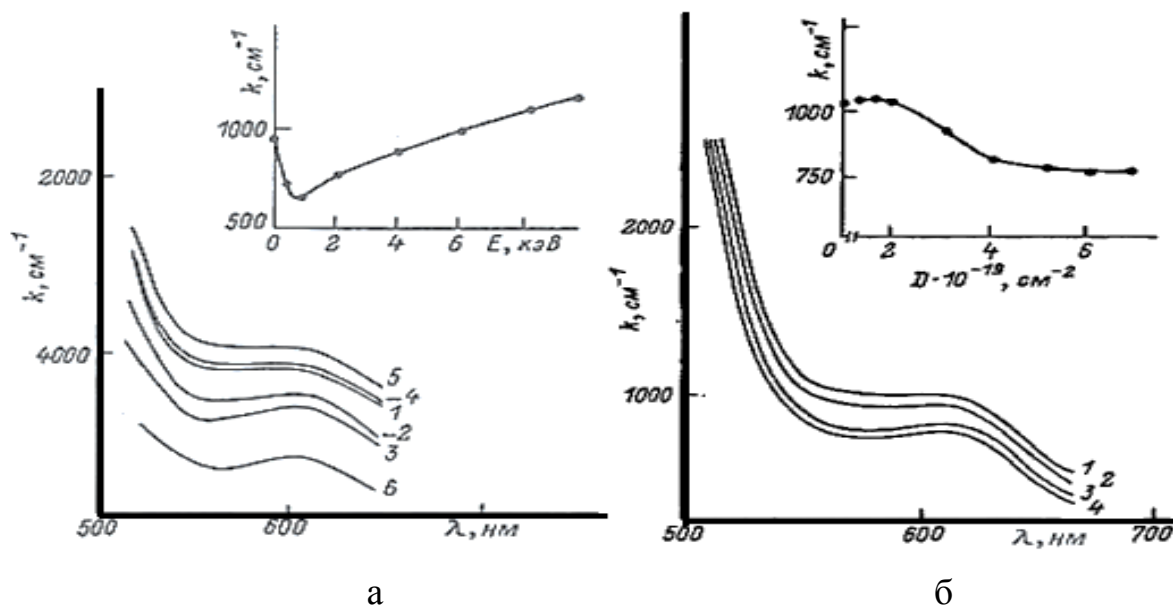
$$B = T_3 [(I - D_2 r_1 d_2 R_2) T_2^{-1} D_2^{-1} (I - D_3 r_2 d_2 R_2) - D_2 r_2 d_2 t_2 d_2 R]^{-1} D_2 T_1 \quad (13)$$

Бу матрицалар ёрдамида нурларнинг қайтиш A ва ўтиш B матрицаларини ихтиёрий (беш, олти ва ҳоқозо)кўп қатламли магнит структуралари учун ҳисоблаш мумкин.

Икки қатламли магнит структураси учун нурларнинг қайтиш матрицаси R_{12}, r_{21} , ва T_{12}, t_{21} ўтиш матрицасининг ифодаси олинган. Бу ифодалар ёрдамида экваториал Керр эффектининг ифодаси олинган.

$$b_2 = \frac{2 \sin 2\varphi e^{-2\xi b}}{A^2 + B^2} [\sin(2\xi a)(M_1 B + M_2 A) - \cos(2\xi a)(M_1 A - M_2 B)] \quad (14)$$

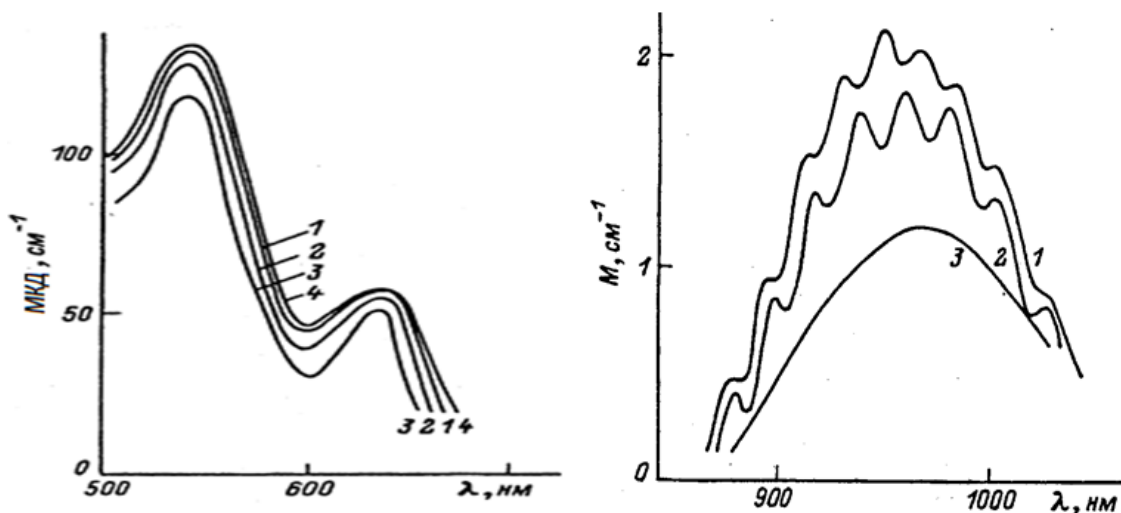
«НЕФГ эпитакциал ва d - f металлларнинг аморф плёнкаларининг оптик ва магнитооптик хоссалари» деб номланган тўртинчи бобда ютилиш спектри ва МДД, $D=10^{18}-10^{20}$ дозали $E = 0,5-10$ кэВ энергияли манфий O^{-2} ионлари билан нурлантирилган ТИФГ плёнкаларида ўтказилган илмий тадқиқот натижалари келтирилган. Плёнкаларни нурлантириш учун $E = 0,5-10$ кэВ энергияли, ток зичлиги $0,6 \text{ мА/см}^2$ гача бўлган манфий O^{-2} ионларидан фойдаланилди. Плёнкаларни $D=10^{18}-10^{20}$ дозали $E = 0,5-10$ кэВ энергияси ман-фий O^{-2} ионлари билан нурлантирилгандан сўнг, энг мухим ўзгаришлар, оптик ютилишнинг спектри 500-650 нм тўлқин узунликларига тўғри келиши аниқланди. Айниқса энергияси $E=0,5-4$ кэВ ионлар билан нурлантирилганда α нинг қийматининг камайиши, нурлантириш дозасининг ошиши 5×10^{18} ион/см²дан $D \sim 2 \times 10^{19}-4 \times 10^{19}$ ион/см² гача ораликда кузатилади. Бундан ташқари, доза миқдорининг оширилиши, ютилиш даражасини ўзгартирмайди. Ютилиш α нинг энг максимум камайиши 15% гача ва бу камайиш $E=1-2$ кэВ нурлантириш энергия оралиғида (5-расм) эришилди.



5- расм $Y_3Fe_5O_{12}$ пленкасининг ютилиш коэффициенти, а) пленка қалинлиги 7,8 мкм. (1-эгри чизик) нурланмаган ва дозаси $3 \times 10^{19} \text{ см}^{-2}$ бўлган манфий O^{-2} ионлар энергияси 1 (2-эгри чизик), 2 (3-эгри чизик), 6 (4-эгри чизик) ва 10 кэВ (5-эгри чизик). б – эгри чизик монокристалл учун. б) қалинлиги 11,6 мкм плёнка (1-эгри чизик) нурланмаган, ва дозалари $D = 0.5 \times 10^{19}$ (2), 1.5×10^{19} (3), $3 \times 10^{19} \text{ см}^{-2}$ (4).

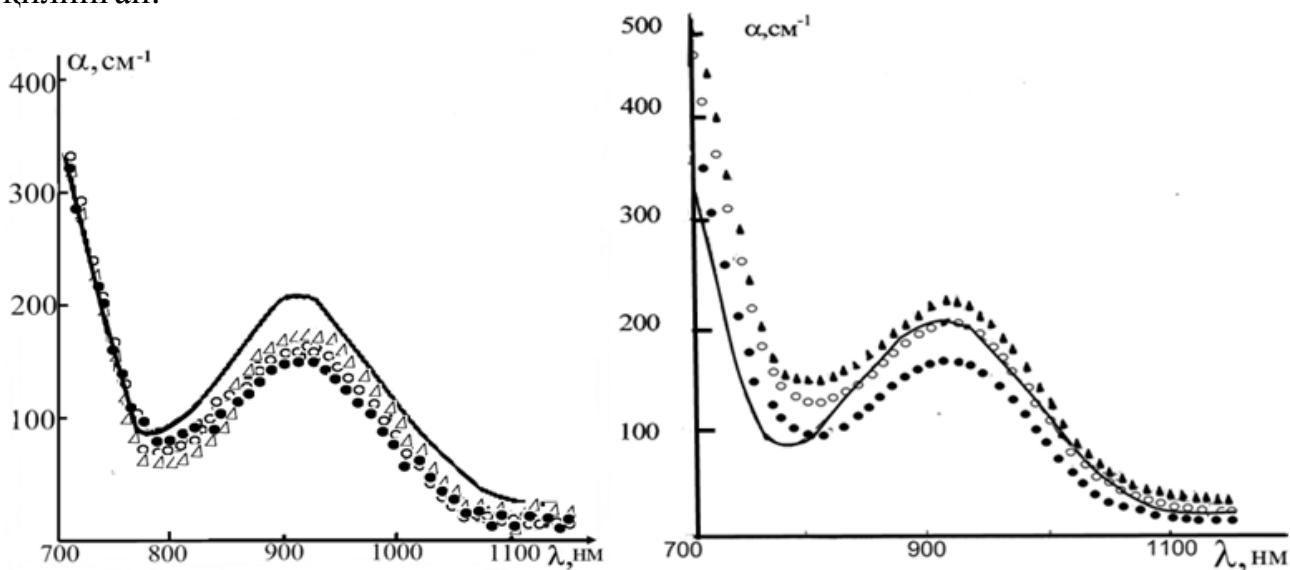
Тадқиқот қилинган плёнкаларнинг магнитли доиравий дихроизми спектрининг, нурлантиришидан кейинги ўзгариши, оптик ютилиш билан бир хил характерга эга эканлиги аниқланди. Магнитли доиравий дихроизми нурлангандан кейинги қийматининг абсолют камайиши 8% дан ортмайди. Шу вақтнинг ўзида, Магнитли доиравий дихроизмнинг нурланиш энергиясининг ўзгариши ахамиятсиз даражада бўлди (6-расм). Тажриба натижаларини анализ қилиб қуйидагича хулоса қилинди, магнитооптик активлик, таркибида РЬ ионлари бўлган $Y_3Fe_5O_{12}$ плёнкаларида уйғонган Fe^{3+} ионларининг

спинорбитал ўзаро таъсирларининг кучайиши билан белгиланади. Ca^{2+} ва Si^{4+} ионлари киритилган $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ монокристалларининг оптик ютилиши ва магнитли доиравий дихроизми спектрлари олинган ва олинган натижалар билан $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ ларни оптик ва магнитооптик хоссалари мулоҳоза қилинган (7-расм).



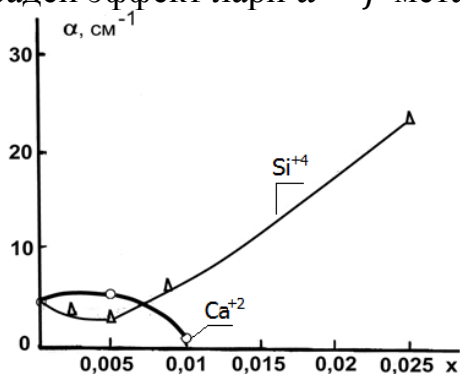
6-расм. $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ плёнкаларининг Магнитли доиравий дихроизми спектри, плёнка қалинлиги 11,6 мкм. (1-эгри чизик) нурланмаган ва дозаси (D : $2 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-2}$, $3 \cdot 4 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-2}$, $4 \cdot 2 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-2}$; энергияси E : 2,3-1 кэВ, 4-6 кэВ) O^{2-} нурлантирилган.

Технологик манбалардан Fe^{2+} ва Fe^{4+} ионларини Ca^{2+} ва Si^{4+} таркибига кириши натижасида ҳосил бўлган қўшимча ютилишни аниқлаш учун $\text{Ca}^{2+}\text{Si}^{4+}$ таркибига Ca^{2+} ва Si^{4+} ионлари киритилган, уларнинг концентрациясига боғлиқ оптик ва магнитооптик спектрлари илмий тадқиқ қилинган.



7-расм. Ютилиш спектри $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}:\text{Ca}_x$ (-0 ; ● $-0,0025$; ○ $-0,0049$; Δ $-0,01$) ва Si_x (-0 ; ● $-0,005$; ○ $-0,009$; ▲ $-0,025$).

Шубхасиз, бир Ca^{2+} (донор) ва Si^{4+} (акцептор) ионларининг концентрацияси технологик манбалардан кирган Fe^{2+} ва Fe^{4+} ионларининг тўлиқ ёки қисман компенсация қилиб Fe^{3+} ҳолатга ўтади бу $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ ҳар хил физик хоссаларнинг ўзгаришидан кўринади. $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}:\text{Ca}^{2+}$ нинг ютилиш спектрида ўтказилган илмий тадқиқотлар оптик ютилиш Ca^{2+} (0,01 атомгача) да 0,8-1,15 мкм спектрал соҳада тўлқин узунлиги 1,15 мкмга тенг бўлган лазер нури учун келтирилган тоза $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ га нисбатан сезиларли камаяди. Шу билан бирга, маркази 0,96 мкм да бўлган ютилиш соҳасини қисқа тўлқин узунлиги томонга силжиши кузатилади. Худди шундай ўзгариш $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}:\text{Si}^{4+}$ ва Si^{4+} ионларининг кичик концентрациясида (0,005 атомгача) 0,8-1,15 мкм бўлган тўлқин узунлиги соҳасида ютилиш қиймати камаяди шу вақтда Si^{4+} ионларини катта концентрациялари тоза $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ га нисбатан ютилишни ошишига олиб келади. 8-расмда ютилиш коэффициентини концентрацияга боғлиқлик графиги $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}:\text{Ca}^{2+}$ ва Si^{4+} лазер тўлқин узунлиги $\lambda=1,15$ мкм учун келтирилган. Оптик ютилиш ва Фарадей эффектлари $d-f$ металлларнинг $\text{Gd}-\text{Co}$, $\text{Gd}-\text{Fe}$, $\text{Gd}-\text{U}$ ва $\text{U}-\text{Co}$

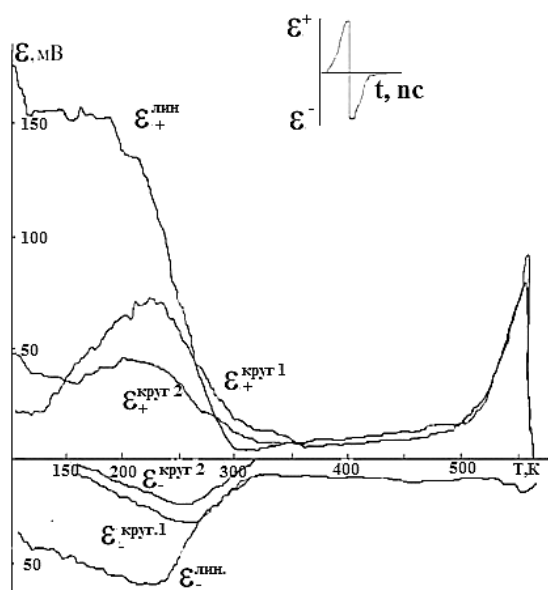


8-расм. Тўлқин узунлиги $\lambda=1,15$ мкм бўлган лазер нурининг $\text{Y}_3\text{Fe}_{5-x}\text{Ca}_x\text{O}_{12}$ ва $\text{Y}_3\text{Fe}_{5-x}\text{Si}_x\text{O}_{12}$ гранатларда ютилиш коэффициентини x - концентрацияга, қайтиш коэффициентини ҳисобга олгандаги боғлиқлиги.

аморф плёнкаларида илмий тадқиқот ўтказилди ҳа ахборотларни ёзиш имконияти мавжудлигини аниқлайдиган магнитооптика асиллиги аниқланди. Ҳар хил компенсация нуктасига эга бўлган плёнкаларни магнит майдонига сезирлиги ва ёзиш тезлигини тагликнинг температурасига боғлиқлиги тажрибада аниқланди. Таглик температурасининг ошиши ажратилган соҳада $T = T_{\text{комп}}$ ташқи магнит майдони ўзгармаганда ёзишнинг чегараси секин камаяди ва ёзиш тезлиги ошади.

Магнит майдонининг маълум даражада ошиши ҳам плёнкаларнинг сезирлигини оширишга олиб келади. Оптимал шароитда сезирлик $0,05 \text{ Ж/см}^2$ гача етиб боради, минимум ёзиш вақти бир бит ахборотни бу қурилмада 2 мксдан кам вақтни ташкил этади. Компенсация нуктасида ёзиш чегара энергияси жиддий ўзгаради, компенсация нуктасидан ўтишда ташқи магнит майдони йўналишини қарама – қарши йўналишга ўзгартириш зарур бўлади. Плёнка материалларининг реверсив хусусиятларини тадқиқ қилиш мақсадида плёнкаларда бир неча марата ёзиш – ўчириш цикллари қайтарилди. Ёзиш энергиясининг зичлиги $0,5 \text{ Ж/см}^2$ бўлганда 104 циклдан сўнг материаллар хусусиятининг ўзгариши кузатилмади. Лекин цикл 105 тага етганда температуранинг $1,5\text{К}$ га камайши аниқланди, бироқ буни ёзиш параметрларига таъсири бўлмайди. Ёзиш энергиясининг $0,5 \text{ Ж/см}^2$ дан оширилса, материалнинг структурасини сезиларли ўзгаришга олиб келади, ҳаттоки бир марталик таъсирда ҳам.

«ФГ магнит ножинслилиги ва магнитланишнинг юқори қувватли лазер нури таъсирида ўзгариши» деб номланган 5-боби ФГ монокристалл ва плёнкаларида магнит ножинслилигини илмий тадқиқ қилишга бағишланган. Плёнкалар учун 0,6328 мкм ва 1,15 мкм тўлқин узунлигга эга бўлган лазер манбаидан фойдаланилди. Монокристаллар учун эса тўлқин узунлиги 1,06 мкм ва 0,53 мкм бўлган имплус қувватли лазердан фойдаланилди (9-расм). $Y_3Fe_5O_{12}$ монокристаллида ҳосил бўлган ЭЮК, Кюри температураси яқинида қузатилган чўққича материалнинг магнит тартиби ҳолатидан, парамагнит ҳолатга ўтганлигидан далолат беради. Материаллар $T = 300$ К температурада тўйинган ҳолатда, яъни квазидомен ҳолатида бўлади. Бу ҳолатда ЭЮК нинг ўзгариши фақат шундай ҳолатда



9-расм. Тўлқин узунлиги 1,06 мкм бўлган ёруғликнинг ҳар хил қутубларини ϵ_+ ва ϵ_- ҳароратига боғлиқлик графиги.

юзга келиши мумкин. Масалан, материалда доменлар музлатилганида дефектлар ҳосил бўлган бўлса. Бу сигналнинг ҳосил бўлиши доменларнинг ҳаракати йўлида магнит ножинсларининг бўлиши-дир. Магнитлаш майдонининг ошиб бориши натижасида мустаҳкам доменлар камая бошлайди ва натижада ЭЮК қиймати камаяди. ЭЮК температурага боғлиқ ўзгариши температуранинг кўтарилиши билан тушунтирилади. Иссиқлик тебранишнинг ортиши натижасида мустаҳкам доменлар камаяди. Материалларда фото актив марказларнинг арзимас даражада бўлиши ҳам фотомангнитланишнинг муҳим ўзгаришга олиб келиши мумкин

(6-расм). Бу эса ўз вақтида доменларни лазер нурилари орқали бошқариш мумкинлигини кўрсатади ҳамда ЦМД қурилмаларида қўллаш имконини беради, чунки доменларни силжитиш учун қўшимча магнит майдони ва мураккаб магнит апликацияларга зарурат қолмайди.

«Оптик коммутаторлар янги авлодининг элемент базалари» деб номланган 6-бобда магнит доменлар асосида яратилган магнитооптик ёруғлик нури калитлари ва дефлекторлари илмий тадқиқот қилинган (10 ва 11-расмлар). Фарадея ҳодисаси асосида ишлаб чиқилган магнитооптик калитлар, оптик коммутация тизимида асосий коммутация элементи сифатида хизмат қилади. Магнитооптик дефлекторларнинг физик асосларининг илмий тадқиқоти магнитооптик интеграл схемаларни лойиҳалаштиришда, техник таклифларни тузишда асос бўлиб хизмат қилади ҳамда қурилмаларнинг бошқарув принципал схемаларини лойиҳалаштиришда ва амалга оширишда, ҳамда алоқа коммутация тизимларининг тугунларида ишлатилади.



10-расм. Доменларни кузатиш (а) ва магнитооптика калитларни тадқиқ этиш қурилмаси (б).

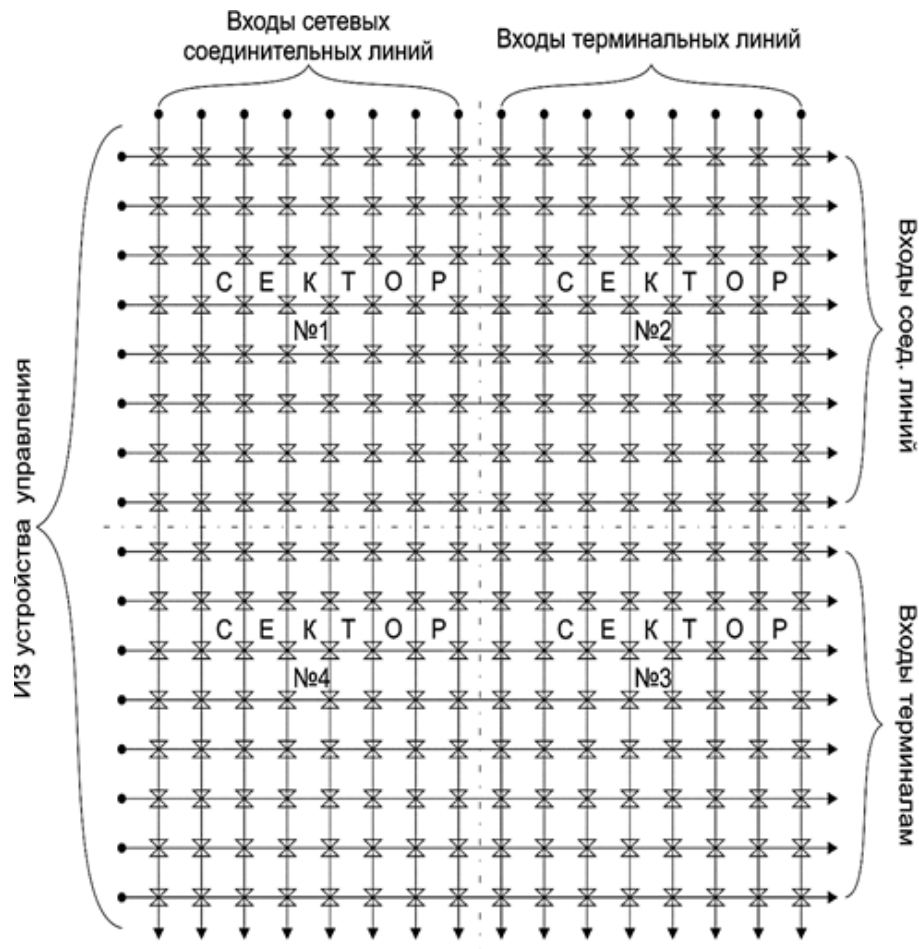


11-расм. Магнитооптик калитларнинг лаборатория макети.

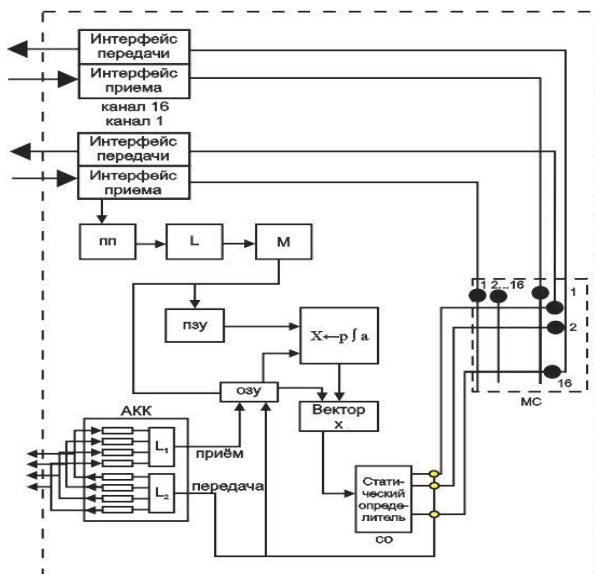
Магнитооптик коммутаторларни ишлаб чиқариш ишлари бўйича олиб борилган ишлар, булар мультимплексорларнинг логик схемалари ва демультимплексорларнинг оптик коммутация тизимларининг айрим тугунларини ишлаб чиқишдан иборат. Уй тизимида SOHO (small office, Home office) локал тармоқларни яратишда, оптик ассоциатив коммутацион фабрикани гуруҳини шакллантириш назариясини ҳамда алоқанинг минтақавий ва магистрал тароқларининг коммутаторларни ишлаб чиқишда.

Коммутация майдони шартли равишда 4 секторга бўлинади, модулларнинг уланиш линияси коммутация 1 сектори; терминал абонентлари линиялари билан уланиш линияси коммутация 2 сектори; уланиш линия модули билан терминал линия коммутация 3 сектори ва абонент терминали билан абонент терминали коммутацияси 4 сектор. Модулнинг асосий блоклари 13-расмдан блок интерфейсов кириш-чиқиш; ахборотларга ишлов беришни бошқариш параллел процессори; дастур хотираси-ПЗУ; оператив хотира-ОЗУ; ахборотларнинг маршрутлашини ишлов бериш параллел процессори-ППМ ва магнит элементлари Фарадей ҳодисасига асосланиб қурилган оптик коммутация майдон-МОЭФ. Оптик коммутацион элемент МОЭФ ўзидан ташкил топган; фотодиода-ФД; 3-та «ВА» типдаги логик схема; Бир дона «ЁКИ» типдаги логик схема. 1 ва 2 схемалар МОЭФ 3-тасигнал бўлганда УУ дан интерфейсга ва эркин сигналларни горизонтал ва вертикал нуқталарга коммутациясини бошқаради. МОЭФ контакти ишлаганда фотодиод орқали сигнал тўхтатилади (14-расм). Ёруғлик

Ўтказгичда сигнал тўхтаганида иш тўхтайдди. АКФ модулининг оптик коммутацион майдонини яшаш учун талаб қилинади: 256 МОЭФ элементи, 256 фотодиод, 256 логик схема тип «ЁКИ» ва 768 логик схема «ВА».

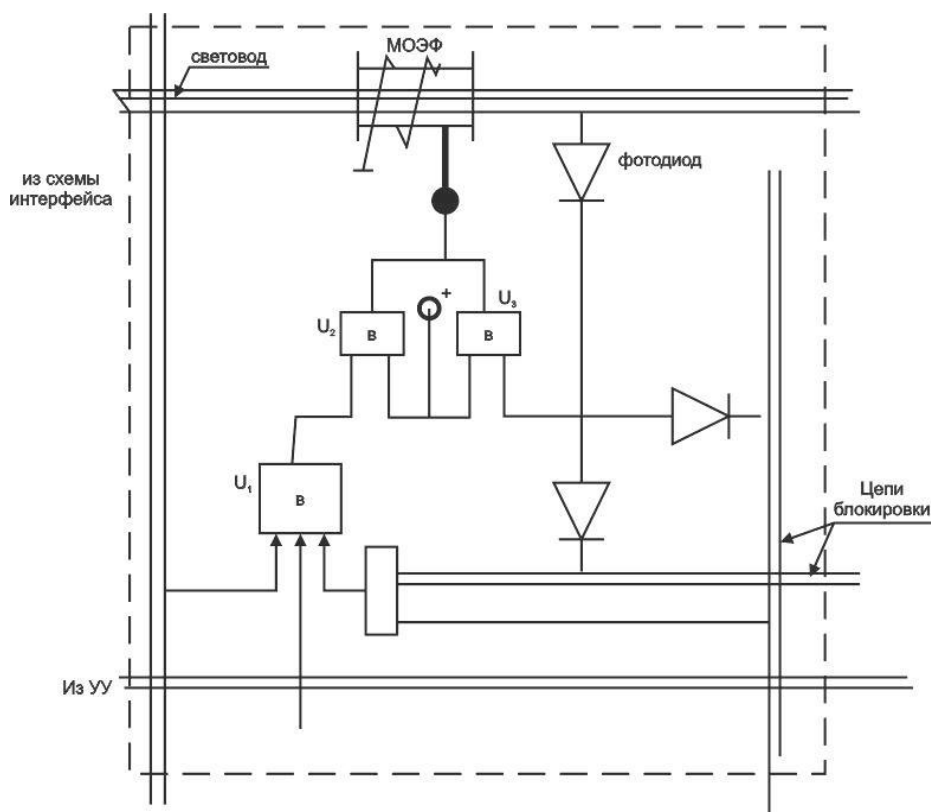


12- расм. Сетевой ва канал даражасидаги коммутатор схемаси, Фарадея элементи коммутация нуқтаси.



- ПП-паралел процессор
- L-мантиқ схема
- M-маршрутлаш
- МС-матрицали боғланиш
- АКК-адрес код коммутатори
- СО-статистик аниқлагич

13-расм. Ассосатив коммутация Фабрикасининг модули схемаси занжири



14-расм. Занжир билан магнитооптик контакт

Шундай қилиб МОЭФ элементи асосида ясалган коммутация тизими тўла оптик тизим бўлиб ёруғлик сигнални электр сигналга ўтказмайди.

ХУЛОСА

Олиб борилган тадқиқотлар натижасида қуйидаги хулосалар тақдим этилди:

1. Нодир ер феррит-гранат плёнкаларнинг оптик ва магнитооптик хоссаларига айрим умумий технологик режимларнинг таъсири, интеграл оптика элементлари ва оптик алоқа тизимларида нодир ер феррит-гранат плёнкаларда тўлқин тарқалиш хусусиятидан фойдаланиб амалий қўлланиши ўрганилди, Tb , Yb , Dy ионларининг кирувчанлик коэффициентини уларнинг алмаштириш даражасига (x) ва Ga ионини ҳароратга боғлиқлиги аниқланди, танланган панжара доимийси учун ихтиёрий гранатнинг кимёвий формуласини ҳисоблаш усули аниқланди.

2. Феррит гранатларда домен тизимларини кўриш ва тасвирларнинг сифатини яхшилаш мақсадида, объект юзасининг суръати буйича уни қиёсий анализ қилиш учун қурилма яратилди.

3. Тўрт қатламли муҳит учун, икки ўлчамли матрица орқали қайтиш ва синиш коэффициентининг ифодаси олинди, бу тўрт ўлчамли матрицага нисбатан ҳисоб вақтини сезиларли камайтиради, қайтиш ва ўтиш коэффициентлари ёрдамида N -қатламли магнит структураси учун магнитооптика Керр эффектини ҳисоблаш ифодаси олинди.

4. $Y_3Fe_5O_{12}$ плёнкаларнинг паст энергияли O^{2-} ионлари билан нурлантирилганда, оптик кўринувчанлик соҳасида оптик ютилиш сезиларли

(15%) га камаиши куйидаги хулосани яъни O^{2-} ионлари билан $D > 10^{19}$ ион/см² ва $E = 0,5-2$ кэВ режимида нурлантириш плёнкаларнинг магнитооптик асслигининг ошишига имкон бериши ўрганилди.

5. Ca^{2+} ва Si^{4+} ионлари $Y_3Fe_5O_{12}$ монокристалларда учрайдиган уч валентли бўлмаган (Fe^{2+} ва Fe^{4+}) темир ионларининг концентрациясини зарядли компенсация ҳисобига ўзгартириши шу билан бирга гранатларни оптик ва магнитооптик хусусиятларини ўзгартириши биринчи марта аниқлангди. Ca^{2+} ионларининг $Y_3Fe_5O_{12}$ таркибига $\sim 0,01$ атом миқдорда киритилиши $\lambda > 1$ мкм тўлқин узунлигида ёруғликнинг ютилишини тахминан нолгача камайтириши ва яқин ИҚ соҳасида Са ли гранатларда магнитооптик асслиги тоза гранатларга нисбатан сезиларли даражада юқори эканлиги аниқланди.

6. Биринчи бўлиб магнит ва эластикли чизиқли дихроизмни ажратиш усули ҳамда нодир ер феррит-гранат эпитаксиал плёнкаларида дихроик ўқларнинг йуналишини аниқлаш усули таклиф қилинган, биринчи бўлиб ФГэпитаксиал плёнкаларида магнит ва эластик чизиқли дихроизм спектрлари олинди. Эластик кучланганлик катта чизиқли эластик дихроизмига олиб келиши кўрсатилган, эластик кучланганлик илмий тадқиқот қилинган плёнкаларда магнитавий чизиқли дихроизм анизотропиясининг характерининг ўзгартирмаслиги ўрнатилган.

7. Биринчи бўлиб, ёруғлик таъсирида кристалл ионлари орасида электронларнинг қайта тақсимланиши бу эса ўз ўрнида, доменларнинг ҳаракатини тормозлайдиган марказлар концентрациясини кўпайтириши бўйича тажриба натижаларини сифатли тушунтириш усули таклиф этилган.

$Y_3Fe_5O_{12}$ кристалланиш шарти магнитли сингдирувчанликка жавобгар марказларнинг структурасини кескин қайта аниқлаши белгиланган. Fe^{3+} кам концентрацияда Si^{4+} алмаштириш монокристалл таркибини яхшилайти ва бу билан доменлар ҳаракатини тормозлайдиган марказларнинг концентрациясини камайтиради.

8. Ахборотларни термомагнит усулида ёзиш учун ўта қулай шароит (110) текисликда ўй ҳароратида ЭЮК сигналининг кескин ўзгарган жойида, юқори қувватга эга бўлмаган лазер нури ёрдамида амалга оширилиши мумкин, бунда ёзиш учун $1 \div 3$ К атрофида температурани ўзгариши етарли эканлиги тажриба асосида аниқланган, юқори температураларда фото ЭЮК $Y_3Fe_5O_{12}:Si^{4+}$ да ҳосил бўлиши, иссиқлик механизм, яъни dM/dT билан паст температураларда эса фото ЭЮК ҳосил бўлиши яъни, фото уйғонувчи мавжуд марказларнинг фаоллашиши уч валентли бўлмаган темир ионларининг ҳосил бўлиши тажрибада аниқланган, $d - f$ металлларнинг аморфплёнкаларида ахборотларни чегараланган нуктада $0,05$ Ж/см² энергия билан кўп марта (10^6 дан кўп) қайта ёзиш мумкинлиги аниқланган.

9. Биринчи марта юқори сезгирликли 10^{-8} Э магнитометр, Мах-Цендр интерферометри асосида ва магнит материалларда Фарадей ҳодисасидан фойдаланиб ишлаб чиқилган. Мах-Цендр интерферометри ҳамда магнит

материалларда Фарадей ҳодисаси асосида мультиплексерлар ва демультимлексерларнинг элемент базасини яратиш имкони аниқланган.

10. Магнитооптик коммутаторларни ишлаб чиқиш, логик схемалар, мультимплексорлар ва демультимплексорлар оптик коммутация тизимлари учун алоҳида тугунларни қуриш, уй шароитида SOHO (small office, Home office) локал тармоқларни яратишда оптик ассоциатив коммутацион фабриканинг гуруҳини шакллантириш назариясини ҳамда алоқанинг минтақавий ва магистрал тармоқларининг коммутаторлари ишлаб чиқилган;

11. Магнитооптик дефлекторларни физикавий асослари бўйича ўтказилган илмий тадқиқотлар натижасида магнитооптик интеграл схемалар ҳамда принципиал схемаларни лойиҳалаштириш ва амалга оширишни бошқариш қурилмалари ҳамда коммутация тизимларининг алоқа тугунлари ишлаб чиқилган.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.30.05.2018.FM/Т.65.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ИНСТИТУТЕ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ
И ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ,
СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

ОЧИЛОВ ОДИЛ

**МАГНИТООПТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В МАГНИТНЫХ
МАТЕРИАЛАХ И ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА ОПТИЧЕСКИХ
КОММУТАТОРОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ**

01.04.05 – Оптика

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ
ДОКТОРА (DSc) ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК**

ТАШКЕНТ–2018

Тема диссертации доктора (DSc) по физико-математическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за B2018.1.DSc/FM112.

Докторская диссертация выполнена в Ташкентском институте по проектированию, строительству и эксплуатации автомобильных дорог.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета по адресу (www.iplt.uz) и Информационно-образовательном портале «ZIYONET» (www.ziyonet.uz).

Научный консультант:	Мукимов Комил Мукимович доктор физико-математических наук, профессор, академик
Официальные оппоненты:	Звездин Анатолий Константинович доктор физико-математических наук, профессор (Российская Федерация) Валиев Уйгун Вохидович доктор физико-математических наук, профессор Кодиров Мумин Кодирович доктор физико-математических наук
Ведущая организация:	Ташкентский государственный технический университет

Защита состоится «__» _____ 2018 года в ____ часов на заседании Научного совета DSc.30.05.2018.FM/T.65.01 по присуждению ученых степеней при Институте ионно-плазменных и лазерных технологий по адресу: 100125, г. Ташкент, ул. Дурмон йули, 33 Тел/факс: (99871) 262–32–54, e-mail: info@iplt.uz.

Диссертация зарегистрирована в Информационно-ресурсном центре Института ионно-плазменных и лазерных технологий за № ____, с которой можно ознакомиться по адресу: 100125, г. Ташкент, ул. Дурмон йули 33. Тел/факс: (99871) 262–32–54, e-mail: info@iplt.uz.

Автореферат диссертации разослан «__» _____ 2018 года.
(протокол рассылки № _____ от «__» _____ 2018 года).

Х.Б. Ашуров
председатель Научного совета по
присуждению ученых степеней, д.т.н., с.н.с.

Д.Т. Усманов
ученый секретарь Научного совета по
присуждению ученых степеней, д.ф.-м.н.,
с.н.с.

Б.Е. Умирзаков
председатель научного семинара при
Научном совете по присуждению ученых
степеней д.ф.-м.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация докторской (DSc) диссертации)

Актуальность и востребованность темы диссертации. В настоящее время важной задачей считаются проводящиеся комплексные исследования магнитных материалов, имеющих фундаментальное и прикладное значение, а также в области телекоммуникаций, создания и оптимизации архитектуры хранения, передачи информации. В этом отношении большие магнитооптические эффекты в видимой и ближней инфракрасной областях спектра, создание новых ферродиелектриков с большим электросопротивлением имеют важное значение. В частности, в Германии, Франции, России, Японии и других развитых странах особое внимание уделяется записи–хранению–считыванию информации на магнитных N-слоистых структурах, свет которых испытывает многократное преломление и отражение.

В мире разработка устройств для объемной записи информации, если взять за основу бита информации пересечение блоховских линий, то можно в несколько раз увеличить плотность записи информации, ведение целенаправленного исследования по разработке методов записи информации на несколько сот слоёв на основе двухфотонной технологии на двустороннем диске, а также особую значимость приобретает возможность легкого изменения информации в толще материала в точке бита. В этом смысле разработка новых принципов памяти, в том числе полупроводниковых интегральных схем, цилиндрических магнитных доменов, зарядных устройств связи, изучение спинтроники, оптических явлений (термооптика, электрооптика, другие типы записи, в том числе голография), а также на основе наноструктур усовершенствование устройств, проведение научных исследований считаются одними из важных задач оптики.

В республике ведутся интенсивные исследования в оптике, особенно в области оптики магнитных материалов, в частности особое значение придается определению физических механизмов, оптических и магнитооптических свойств редкоземельных материалов, оптических коммутаторов в зависимости от направления сигналов по волокну, вводу и выводу или перенаправлению одного, нескольких или всех спектральных каналов и создание магнитооптических устройств, работающих на основе магнитных доменов. В 2017–2021 гг. в Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан было в частности отмечено «...повышение конкурентоспособности национальной экономики и понижение энергетические затраты, широко внедрить в производство энергосберегающие технологии...». Для осуществления поставленной задачи, в частности в технологии магнитооптических коммутаторов, т.е. в точках коммутационных систем, важную роль приобретает использование элементов Фарадея и выполнение научно-исследовательских работ в этом направлении.

Данное диссертационное исследование в определенной степени соответствует задачам, предусмотренных в Указе Президента Республики Узбекистан № УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» от 7 февраля 2017 года, Постановлениям

Президента Республики Узбекистан № ПП-1442 «О приоритетных направлениях развития индустрии Республики Узбекистан на 2011–2015 гг.» от 15 декабря 2015 года, № ПП-2789 «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности Академии наук, организации, управления и финансирования научно-исследовательской деятельности» от 17 февраля 2017 года, № ПП-3876 от 20.07.2018 г. «О мерах по дальнейшему повышению размеров оплаты труда работников сферы науки и высшего образования, а также государственной поддержке внедрения результатов научной и научно-технической деятельности» и в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий Республики Узбекистан II «Физика, астрономия, энергетика и машиностроение».

Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации¹
Научные исследования по магнитооптическим явлениям и созданию нового поколения оптических коммутаторов проводятся в ведущих научных центрах и университетах, в том числе в Ок-Ридж национальной лаборатории, университет Пердью (США), Istituto elettrotecnico nazionale Galileo Ferraris torino (Италия), University Paris-Sud Orsay (Франция), ФТИ им. А.Ф. Иоффе и Физическом институте им. Л.В. Киренского РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова, Киевском политехническом институте, ФТИ низких температур Украинской АН, ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению, Институте ионно-плазменной и лазерной технологий АН РУз, Национальном университете Узбекистана, Ташкентском государственном техническом университете.

Проводимые в мире исследования по современным методам хранения и считывания объёмной информации и производству оборудования дали следующие результаты: миниатюризация устройств, необходимость разработки запоминающих и логических элементов большой емкости и быстродействия при малом весе (Университет Седжон, Южная Корея, Университет Яманаша, Япония); разработаны новые варианты памяти хранения и записи информации (МГУ им. М. В. Ломоносова), конструкция магнитооптических устройств (Киевский политехнический институт); на основе магнитных доменов разработаны новые устройства (Национальная лаборатория Ок-Ридж, США).

В мире ведется множество исследований по магнитооптическим явлениям и созданию нового поколения оптических коммутаторов, в частности по следующим главным направлениям: синтезу новых материалов, открытию новых свойств магнитооптических материалов и интерпретации их; миниатюризации устройств и необходимости разработки

¹ Обзор международных научных исследований по теме диссертации проведен на основе работ, приведенных в списке литературы [1–56].

запоминающих и логических элементов большой емкости и быстродействия при малом весе.

Степень изученности проблемы. Память современных компьютеров обычно не превышает 10^8 бит, что намного меньше памяти человеческого мозга ($\sim 10^{12}$ бит). Начиная с 1970 года ведущими учеными мира ведется интенсивная разработка новых принципов создания запоминающих устройств. Большой вклад в этом направлении сделали российские ученые лаборатории магнетизма и сегнетоэлектричества под руководством академика Г. А. Смоленского в ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН (Санкт-Петербург).

Вопросам теории, расчета и конструирования магнитооптических устройств и систем посвящены труды российских и других зарубежных ученых, например, В. В. Рандошкина, А. Я. Червоненкиса, В. Ш. Берикашвили, Д. И. Мировицкого, В. А. Котова, А. К. Звездина, М. Г. Мнейяна, А. С. Боровик-Романова, Н. М. Крейнса, С. Тикадзуми, Э. Бобека, Э. Делла Торре, А. Эшенфельдера. Вопросы термомагнитной записи информации и материалов для записи исследовал в лаборатории Г.С. Кринчика в МГУ. Российскими учеными А. М. Балбашевым, А. Я. Червоненкисом совместно с украинскими учеными В. А. Тронько и Ю. Плаксий была произведена запись информации электронным лучом. Некоторые зарубежные авторы проводили термомагнитную запись информации в аморфных пленках d-f-металлов и пленках ферритов гранатов. Результаты опубликованы в работах J. L. Erskine, E. A. Stern, R. E. MacDonald, J. W. Beck, J. P. Krumme, J. Werweel, J. Haberkamp Большая работа проведена в области разработки приборов на основе магнитных доменов как за рубежом, так и в странах СНГ. Особенно в области дифракции света в магнитных доменных решетках. Развитие теоретических основ ассоциативных систем и теории групп получило толчок в работах В. М. Сона, где отражены возможности реализации ассоциативных систем. В этой связи представляется актуальным исследование и разработка новых моделей и методов расчета ассоциативных сетей, обеспечивающих высокоскоростную обработку данных.

В нашей республике проводилась большая работа фундаментального и прикладного характера по изучению оптических и магнитооптических свойств магнитных материалов в Национальном университете Узбекистана К. М. Мукумовыми У. В. Валиевым. Наряду с этими исследованиями велась интенсивная работа в области термомагнитной записи информации, элементов интегральной оптики, разработки микрочипов на основе ЦМД и полосовых доменных структур, элементных баз магнитооптических коммутаторов.

Связь темы диссертации с научными исследованиями высшего учебного заведения, в которой выполнена диссертационная работа. Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательских работ Ташкентского института по проектированию, строительству и эксплуатации автомобильных дорог.

Целью исследования являлось исследование формирования основных механизмов и природы оптических–магнитооптических свойств магнитных пленок и монокристаллов редкоземельных ферритов гранатов, а также разработка на основе магнитооптических эффектов нового поколения оптических коммутаторов.

Задачи исследования.

оптимизация химических составов, технологических режимов, кристаллических параметров и оптических свойств эпитаксиальных пленок РЗФГ.

исследование свойств многократно отраженных лучей N-слойной магнитной структуры и описание механизмов отражения и пропускания света таких систем;

оптимизация архитектуры элементных баз устройств хранения и передачи информации.

исследование компонентов тензоров магнитооптической анизотропии (фотоупругая–оптическая–наведенная деформация);

исследование вращения оптической индикатрисы в эпитаксиальных пленках РЗФГ в присутствии ростовой оптической анизотропии;

определение природы и механизмов влияния неоднородностей и дестабилизирующих факторов на доменные структуры железо-иттриевого граната;

изучение природы оптических и магнитооптических свойств аморфных пленок d-f-металлов для термомагнитной записи информации;

оптимизация оптических и магнитооптических характеристик магнитных материалов с целью разработки на основе магнитных дифракционных решёток оптических мультиплексоров и демультимплексоров и нового поколения быстродействующих и более ёмкостных оптических коммутаторов.

Объектом исследования являются эпитаксиальные пленки железо-иттриевого граната, РЗФГ и аморфные пленки d-f-металлов (Tb-Fe, Tb-Gd-Fe, Tb-Fe-Co и Tb-Gd-Fe-Co) и магнитооптические коммутаторы.

Предметом исследования являются механизмы формирования доменных структур для записи–хранения и передачи информации и магнитооптические коммутаторы.

Методы исследований. В качестве методов исследования физических свойств был использован комплексный подход к решению поставленных задач, а именно метод исследования оптического поглощения, эффект Фарадея, магнитного кругового дихроизма, магнитного линейного дихроизма, фотоиндуцированный метод, метод магнитооптической визуализации доменной структуры. Также были использованы дифференциальный метод магнитооптической восприимчивости, метод масс-спектропии вторичных ионов на установке Comesa IMS-4F, методы микронзондового и активационного анализа.

Научная новизна исследований заключается в следующем:

установлены оптимальный химический состав и коэффициент вхождения в состав граната ионов Tb, Yb, Dy, зависящий от степени замещения (x) и Ga от температур;

установлен механизм распространения электромагнитных волн в слоистых магнитных структурах, получены формулы расчета отражения и пропускания света на двухслойной магнитной структуре и установлена взаимосвязь между эффектами Фарадея и Керра;

установлены физические механизмы, определяющие изменение оптических и магнитооптических свойств пленок, подвергнутых облучению O^{-2} дозой $D > 5 \times 10^{19}$ ион/см² при энергии падающих ионов $E = 0,5-2$ кэВ;

разработан метод исследования магнитооптической восприимчивости ЖИГ, продемонстрированы возможности магнитооптического метода для поиска и изучения магнитной неоднородности ферромагнитных материалов. Впервые исследованы и установлены механизмы стабилизации доменных стенок под действием мощного лазерного излучения;

впервые исследованы температурные зависимости фотомагнитного эффекта, заключающегося в изменении намагниченности ЖИГ под действием светового лазерного импульса. Показана возможность использования ЖИГ: Si для создания приемников мощного лазерного излучения в волоконно-оптической системе связи;

установлена спектральная область с высокой магнитооптической добротностью для записи и хранения информации в аморфных пленках d-f-металлов (Tb-Fe, Tb-Gd-Fe, Tb-Fe-Co и Tb-Gd-Fe-Co);

показана возможность создания оптического коммутатора на базе магнитных дифракционных решеток и интерферометра Маха–Цендра с использованием эффекта Фарадея в магнитных материалах мультиплексора и демультиплексоров;

показано, что ассоциативная система коммутации базируется на принципах параллельной обработки большого числа операций, переменной структуры системы обработки информации и реализуемости на базе магнитооптического эффекта Фарадея в качестве переключателя светового потока.

показана разработка теории группообразования оптической ассоциативной коммутационной фабрики для построения локальных сетей домашних систем SOHO (small office, Home office), а также коммутаторов региональных и магистральных сетей связи на базе магнитооптического эффекта Фарадея;

разработано устройство для сравнительного анализа объекта по изображению его поверхности, содержащее микроскоп сравнения, состоящий из двух ветвей сравнения с соответствующими предметными столиками, блок совмещения полей изображений и блок наблюдения, включающий объектив, переключающее зеркало, визуальный и телевизионные каналы, причем блок совмещения полей изображений расположен между ветвями сравнения и блоком наблюдения.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:
предложенный метод выращивания эпитаксиальных пленок расширяет и улучшает качество записи–хранения и передачи информации;

предложены оптимальные условия создания стабильных однородных доменных структур и на их основе разработаны магнитооптические переключатели и коммутаторы.

Достоверность результатов исследований и выводов основывается на физических представлениях, теоретических и экспериментальных данных, подтвержденных применением современных научных методов и результатами других авторов, а также их соответствием современным понятиям физической оптики.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость диссертации определяется тем, что ее результаты позволяют улучшить качество технологии получаемых эпитаксиальных пленок РЗФГ, выявить взаимосвязь между структурными изменениями кристаллов и пленок, подвергнутых ионному облучению и легированию, и связанными с ними изменениями параметров основных микроскопических механизмов, определяющих магнитооптическую активность среды. Проведенные исследования оптических процессов N-слойных магнитных структур, оптических и магнитооптических свойств ЖИГ позволяют выявить физическую природу происходящих процессов и тем самым расширить диапазон применения этих материалов в качестве магнитной памяти.

Практическая значимость результатов исследования дают возможность осуществлять целенаправленное получение качественных пленок и послеростовое воздействие на характеристики пленок ЖИГ, позволяющие существенно уменьшить величину оптических потерь и увеличить их магнитооптическую добротность как в эпитаксиальных пленках ЖИГ, так и в аморфных пленках d-f-металлов;

использовать N-слойные магнитные структуры и магнитные домены в качестве магнитной памяти нового поколения;

использовать магнитные дифракционные решетки в качестве мультиплексоров и демультиплексоров для оптических коммутаторов нового поколения;

использовать обнаруженный фотомагнитный эффект для создания приемников мощного лазерного излучения и доменно-сдвигающих устройств для ЦМД систем на основе РЗФГ.

Внедрение результатов исследований. На основе исследований магнитооптических явлений в магнитных материалах и элементной базы оптических коммутаторов нового поколения:

экспериментальные результаты по улучшению качества изображения и визуализации доменных структур в ферритах гранатах показали, что определение идентичности сравниваемых объектов по искажению муарового изображения объекта позволяет расширить функциональную возможность и обеспечивать его использование при сравнении как плоских объектов с деформированной поверхностью, так и объектов со сложным рельефом

поверхности. На основе полученных результатов был получен патент на изобретение в Агентстве по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан «Устройство для сравнительного анализа объекта по изображению его поверхности», UZ № IAP 04195 от 30.07.2010;

выявлены физические механизмы, которые позволили улучшить кристаллические, оптические и магнитооптические свойства пленок редкоземельных феррит-гранатов, подвергнутых облучению низкоэнергетическими ионами O^{-2} дозой $D > 5 \times 10^{19}$ ион/см² при энергии падающих ионов $E = 0,5-2$ кэВ после технологических процессов и определения оптимальных химических составов и коэффициента вхождения в состав пленок редкоземельных ионов произвольного граната (Справка ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению» № 16001-23/290 от 3 мая 2018 г). Использование научных результатов позволило выращивать высококачественные пленки редкоземельных феррит-гранатов произвольного состава;

экспериментальные результаты исследования дифракции света на магнитных полосовых доменных структурах в Vi содержащих пленках ферритов гранатов и на базе интерферометра Маха–Цендра с использованием эффекта Фарадея в магнитных материалах были применены для разработки основных элементов мультиплексоров и демультимплексоров, а также на базе эффекта Фарадея переключателя светового потока для ассоциативной системы коммутации базируются на принципах параллельной обработки большого числа операций, переменной структуры системы обработки информации и реализуемости. Экспериментально подтверждено, что разработанные теории группообразования оптической ассоциативной коммутационной фабрики использованы для построения локальных сетей домашних систем SOHO (small office, Home office), а также коммутаторов региональных и магистральных сетей связи на базе магнитооптического эффекта Фарадея (Справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан №338/4556 от 22.06.2018 г.). Использование научных результатов позволило получить элементные базеооптические коммутаторы нового поколения.

Апробация работы. Результаты исследования апробированы на 14 республиканских и международных конференциях.

Публикация результатов исследования. Основные результаты диссертации опубликованы в 34 научных работах, из них 1 патент на изобретение, 1 патент на полезную модель, 18 в виде статей в научных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы, списка опубликованных работ и 1 приложения. Она изложена на 198 страницах машинописного текста.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность и востребованность темы диссертации, определено соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан. Приведен обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации, показана степень изученности проблемы. Сформулированы цель и задачи, выявлены объект и предмет исследования, изложены научная новизна и практические результаты исследования. Раскрыта теоретическая и практическая значимость полученных результатов, даны сведения о внедрении результатов исследования, опубликованных работах и структуре диссертации.

В первой главе диссертации «**Магнитооптические явления в магнитных материалах и оптические коммутаторы**» приведен обзор литературных данных по состоянию проблемы. Изучены существующие методы исследования магнитооптических явлений в магнитных материалах.

На основе анализа имеющихся теоретических и экспериментальных данных сформулированы постановка цели и задачи диссертации.

Во второй главе диссертации «**Исследуемые образцы. Экспериментальные установки и методики измерений**» особое внимание уделено исследуемым образцам. Проведен расчет химического состава феррит-гранатовых пленок. Определен элементный состав полученных пленок на микроанализаторе MS-46 фирмы Комека (Франция).

Рассмотрены некоторые общие проблемы влияния технологических режимов на оптические и магнитооптические свойства тонких магнитных пленок РЗФГ. Вид и количество легирующих добавок должен удовлетворять двум основным требованиям:

1) параметр кристаллической ячейки наращиваемой пленки должен быть близок или равен параметру кристаллической решетки подложки, в противном случае возникающие напряжения могут привести к разрушению магнитной пленки;

2) физические параметры пленки должны соответствовать заданным параметрам (например, намагниченность, T_k и т. д.), определяемым составом пленки. Рассмотрим, как влияет первое требование на количество легирующих добавок. Удовлетворение первого требования достигается тем, что в качестве подложки используется гадолиний-галлиевый гранат $Gd_3Ga_5O_{12}$ (ГГГ) с постоянной кристаллической решеткой $a_0 = 12,383 \text{ \AA}$, а в качестве основного наращиваемого материала выбираем ЖИГ с $a = 12,376 \text{ \AA}$.

Используя данные по постоянным решеткам гранатов и их изменения по ряду редкоземельных ионов, а также влияние замещения Fe на Ga , выбираем и другой состав магнитного материала. Необходимо только, чтобы постоянные решеток подложки и пленки минимально различались между собой. В табл. 1 приведены параметры кристаллоструктурной ячейки при замещении Y на один из редкоземельных ионов. Используя данные табл. 1,

построим график изменения постоянной решетки $Y_3Fe_5O_{12}$ при замещении Y на Tb , Yb и Dy (рис. 1, прямые 1, 2, 3).

Таблица 1

Свойства гранатов на основе редкоземельных элементов ФГ

R	a_0 Å	Δa_0 Å	$4\pi Ms(300K)$, Гс	R	a_0 Å	Δa_0 Å	$4\pi Ms(300K)$, Гс
<i>Sm</i>	12,529	+0,051	1675	<i>Y</i>	12,376	0,000	1767
<i>Eu</i>	12,498	+0,041	1172	<i>Er</i>	12,347	-0,010	1241
<i>Gd</i>	12,471	+0,032	56	<i>Tm</i>	12,323	-0,018	1397
<i>Tb</i>	12,436	+0,020	198	<i>Yb</i>	12,302	-0,025	1555
<i>Dy</i>	12,405	+0,010	376	<i>Lu</i>	12,283	-0,031	1815
<i>Ho</i>	12,376	0,000	882				

Δa_0 –изменение постоянной решетки при замещении Y на один из редкоземельных ионов.

Аналогично можно построить график изменения постоянной решетки $Y_3Fe_5O_{12}$ при замещении Fe на Ga (рис. 1, прямая 4). Используя данные рис. 1 можно рассчитать химическую формулу произвольного граната с заданным параметром постоянной решетки, в нашем случае $a=12.383$ Å. Для примера рассчитаем химические формулы феррит-гранатов $(Y, Tb, Yb)_3Fe_5O_{12}$ с различным содержанием редкоземельных ионов Tb и Yb с кристаллоструктурным параметром подложки, $a=12,383$ Å. Постоянная решетки $Y_3Fe_5O_{12}$ $a=12,376$ Å. Разница между искомым химическим составом граната и незамещенным ЖИГ составляет $\Delta a_0=12,383-12,376=0,007$ Å. Для компенсации расхождения параметра $\Delta a_0=0,007$ Å необходимо ввести вместо Y , согласно рис. 1, $x=0,35$ ионов Tb .

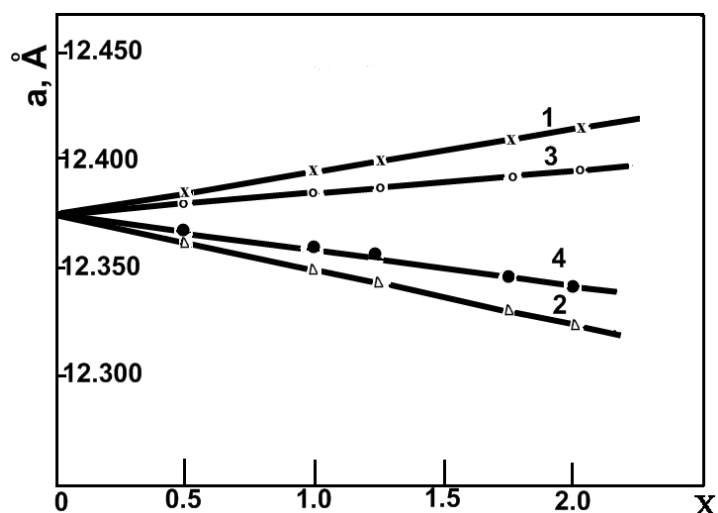


Рис. 1. Зависимость постоянной решетки гранатов от концентрации РЗ ионов $Y_{3-x}R_xFe_5O_{12}$ ($R=1 - Tb$; 2 – Yb ; 3 – Dy) и 4 – $Y_3Fe_{5-x}Ga_xO_{12}$

Таким образом, химический состав требуемой пленки выражается формулой $Y_{2,65}Tb_{0,35}Fe_5O_{12}$, расчетный параметр которой $a=12,383$ Å. При

замещении Y двумя редкоземельными ионами расчет химической формулы производится по следующей схеме. Зафиксируем, например, количество Yb ($x=0,1$), тогда постоянная кристаллоструктурной решетки феррограната $Y_{2,9}Yb_{0,1}Fe_5O_{12}$, согласно рис. 1, $a_0=12,373 \text{ \AA}$.

Необходима компенсация расхождения параметра $\Delta a_0=(12,376-12,373)+(12,383-12,376)=0,010 \text{ \AA}$. Такая компенсация расхождения параметра достигается замещением Y на Tb в количестве $x=0,49$, а химическая формула требуемой пленки выразится формулой $Y_{2,41}Tb_{0,49}Yb_{0,1}Fe_5O_{12}$ с кристаллоструктурным параметром $a_0=12,383 \text{ \AA}$. Аналогично можно рассчитать и другие химические формулы пленок требуемых ФГ с параметрами, близкими или равными кристаллоструктурному параметру подложки ГГГ. Для получения оптимальных технологических условий наращивания пленок с заданным химическим составом было проведено исследование влияния технологических режимов наращивания на параметры пленок. Варьировались такие технологические параметры, как температура переохлаждения $\Delta T^\circ \text{C}$, скорость вращения ω (об/мин), время роста t (мин).

Коэффициенты вхождения ионов Tb, Yb, Dy и Ga определялись в зависимости от степени замещения (x) и температуры из рис. 2. Было определено влияние температуры переохлаждения ΔT на несоответствие кристаллоструктурного параметра Δa при постоянной частоте вращения подложки 80 об/мин и времени роста 10 мин на контрольных подложках ГГГ. В качестве примера на рис. 3 приведена зависимость несоответствия кристаллоструктурных параметров пленки–подложки при различных температурах наращивания раствора–расплава для $Y_{2,65}Tb_{0,35}Fe_5O_{12}$.

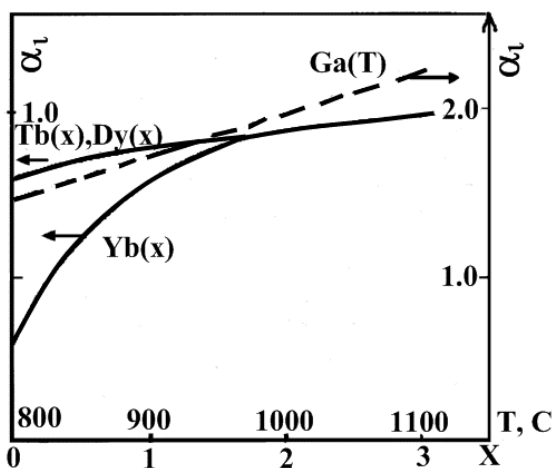


Рис. 2. Зависимость коэффициента вхождения ионов Tb, Yb, Dy от степени замещения (x) и иона Ga от температуры

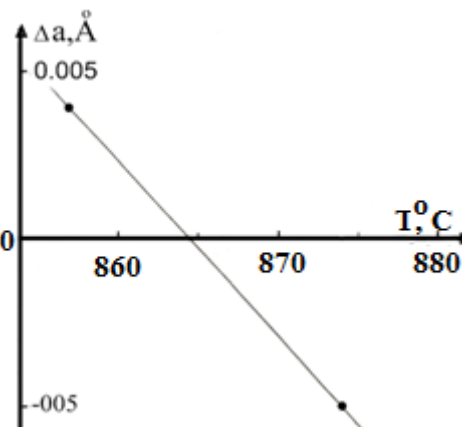


Рис. 3. Зависимость несоответствия кристаллоструктурных параметров пленки–подложки–раствора–расплава $Y_{2,65}Tb_{0,35}Fe_5O_{12} \Delta a = 0,005 \text{ \AA}$

Экспериментальные установки и методики измерений. Экспериментальные установки были разработаны на базе современных спектрометров (КСВУ 3) с использованием высокоточных измерительных приборов (селективный усилитель с синхронным детектором и вольтметром В7-34), а также вычислительных устройств для измерения спектра

оптического поглощения, кругового и линейного дихроизма с применением высокочастотного кварцевого модулятора. Разработана методика измерения температурных зависимостей оптического линейного двупреломления. Разработана методика получения качественного изображения по сравнительному анализу объекта и получен патент на изобретение. В целях повышения качества учебного процесса и внедрения информационно-коммуникационных технологий в учебный процесс было разработан 4-канальный аппаратно-программный телевизионный микроскоп, позволяющий демонстрировать интерференционные явления и изучать магнитные доменные структуры. Разработан МО метод исследования магнитных неоднородностей в магнитных материалах.

В третьей главе «Теоретические исследования оптических и магнитооптических явлений в многокомпонентных и слоистых магнитных пленках» было уделено внимание эпитаксиальным магнитным пленкам РЗФГ, которые обычно находятся в напряженном состоянии, вызванном рассогласованием параметров решеток пленки и подложки, а также существованием неоднородности состава по толщине для многокомпонентных РЗФГ. Это связано с нестатистическим распределением ионов разных размеров по кристаллографическим позициям, нас будет интересовать вид тензора ε_{ij}^c в области окна прозрачности гранатов с учетом деформаций и ростовой анизотропии кристалла. Компонент тензора ε_{ij}^c имеет вид

$$\varepsilon_{ij}^c = \varepsilon_0 \delta_{ij} + \varepsilon_0^2 g_{ijkl} M_k M_l - \varepsilon_0^2 \rho_{ijkl} U_{kl} + \varepsilon_0^2 r_{ijkl} \beta_k \beta_l, \quad (1)$$

где $\sqrt{\varepsilon_0} = n_0$ – изотропный показатель преломления граната, не зависящий от магнитного упорядочения; g_{ijklm} , ρ_{ijkl} , r_{ijkl} – компоненты тензоров соответственно магнитооптической анизотропии, фотоупругости, деформации и ростовой оптической анизотропии; M_k , M_l – компоненты вектора M ; β_k , β_l – компоненты вектора роста.

Выпишем фотоупругий вклад в тензор ε_{ij}^c в виде

$$\nabla \varepsilon_0^p = \varepsilon_0^2 \rho_{ijkl} U_{kl}. \quad (2)$$

Используя явный вид тензоров ρ_{ijkl} и U_{kl} матричного уравнения (2), можно найти изменение значения главных показателей преломления пленки РЗФГ, обусловленные фотоупругостью, для трех случаев ориентации плоскостей пленки:

1) для света, распространяющегося в плоскости пленки, параллельной $\{100\}$, величина двупреломления определяется как

$$\Delta n = \Delta n_{\parallel} - \Delta n_{\perp} = (1/2) n_0^3 (\rho_{12} - \rho_{11}) (1 + h_{100}) U_{\parallel}, \quad (3)$$

где Δn_{\perp} и Δn_{\parallel} – изменение показателей преломления для двух линейно поляризованных световых волн, поляризацией соответственно вдоль и перпендикулярно плоскости пленки.

Таким образом, величина двупреломления не зависит от направления распространения света в плоскости пленки, т.е. кристалл становится оптически одноосным с направлением оптической оси, перпендикулярным плоскости пленки;

2) для света, распространяющегося в плоскости пленки, параллельной {111}, двупреломление имеет вид

$$\Delta n = n_0^3 \rho_{44} (1 + h_{111}) U_{\parallel}, \quad (4)$$

т.е. в этом случае кристалл также становится практически одноосным, причем его оптическая ось перпендикулярна плоскости пленки;

3) для света, распространяющегося в плоскости пленки, параллельной {110}, в случае распространения света вдоль направления [110] двупреломление имеет вид

$$\Delta n = (\Delta n_1 - \Delta n_2) = n_0^3 \rho_{44} (1 + h_{110}) U_{\parallel}, \quad (5)$$

а вдоль направления [100]

$$\Delta n = (\Delta n_1 - \Delta n_3) = (1/2) n_0^3 (\rho_{12} + \Delta \rho / 2 - \rho_{11}) (1 + h_{110}) U_{\parallel}. \quad (6)$$

Следовательно, величина двупреломления зависит от направления распространения света, и кристалл из кубического превращается в двуосный.

В заключении этого раздела укажем порядок характерного изменения величины показателя преломления в эпитаксиальных пленках РЗФГ, вызванного деформацией. При относительной деформации $U_{\parallel} \sim 10^{-4}$ с использованием типичного значения постоянной решетки граната $a_0 \sim 12,4 \text{ \AA}$ и показателя преломления в недеформированном состоянии получаем величины двупреломления $\Delta n \sim 10^{-4} - 10^{-5}$ (т.е. сравним с фотоупругим вкладом).

В области поглощения происходит, наряду с поворотом оптической индикатрисы, поворот дихроичных осей, определяемых как такие направления в кристалле при поляризации света, вдоль которых поглощение максимально или минимально. Считалось, что вращение главных направлений оптической индикатрисы и дихроичных осей создается только спонтанной намагниченностью. Однако во многих случаях в кристаллах и пленках присутствует также РОА, которая может существенно повлиять на вращение главных направлений и дихроичных осей при повороте намагниченности. Проведем анализ для двух главных кристаллографических плоскостей типа (100) и (110) кубического кристалла. Движение оптической индикатрисы при вращении намагниченности достаточно подробно описаны в научной литературе, поэтому выведем общие выражения для случая РОА с произвольным направлением ее главных осей. Пусть главные направления ростового дихроизма не совпадают с осями симметрии, а находятся под некоторым углом δ к оси [100] в плоскости (110) рис. 4. В системе координат 1, 2, связанных главными направлениями ростового дихроизма, выражение для индикатрисы ростового вклада имеет вид

$$T_{ij} = \begin{bmatrix} K & 0 \\ 0 & K \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Для удобства перейдем к системе координат, связанной с кристаллографическими направлениями. В этих осях уравнение имеет вид

$$T_{ij} = a_{ik} a_{jl} T_{kl}, \quad (8)$$

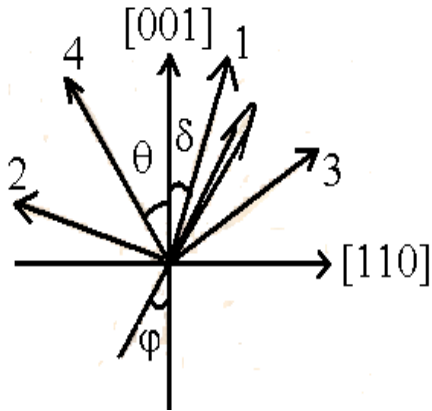


Рис. 4. Система координат, отсчета углов и поворот дихроичных осей при движении намагниченности в плоскости (110); 1, 2 – оси кристаллографического дихроизма; 3, 4 – оси суммарного эффекта

где T_{kl} -- матрица поворота к кристаллографическим осям.

С учетом ростового вклада уравнение индикатрисы можно записать следующим образом:

$$\{B'\} + T'_{ij} = \{B''\}. \quad (9)$$

Теперь индикатрису $\{B''\}$ можно привести к диагональному виду поворотом вокруг оси [100] или [110] на угол θ , тангенс которого определяется диагональными и недиагональными компонентами индикатрисы.

$$1. \vec{m} \perp [100], \vec{K} \parallel [100],$$

$$\operatorname{tg} 2\theta = \frac{\sin 2\varphi + 2K/M \sin 2\delta}{1/a(\cos 2\varphi) + (2K/M)\cos 2\delta}, \quad (10)$$

где φ – угол между намагниченностью \vec{m} и осью [001]; $a = \rho_{44}/\rho_{11} - \rho_{12}$ – коэффициент магнитооптической анизотропии; $\rho_{44}\vec{m}^2$ – величина магнитного вклада; $K = (\alpha_1 - \alpha_2)$ – величина ростового дихроизма, $d_1 = \cos \varphi$. При отсутствии ростового дихроизма $K = 0$ выражение (10) переходит в формулу

$$\operatorname{tg} 2\theta = a \tan 2\varphi. \quad (11)$$

В другом крайнем случае $M = 0$ положение дихроических осей совпадает с осями ростового дихроизма и не зависит от ориентации намагниченности. В промежуточных случаях положение дихроичных осей зависит от конкретных соотношений между параметрами K, M и a .

$$2. \vec{m} \perp [110], \vec{K} \parallel [110].$$

При движении намагниченности в плоскости (110) выражение для угла θ имеет вид

$$\operatorname{tg} 2\theta = \frac{\sin 2\varphi + 2K/M \sin 2\delta}{(1/a) \cos 2\varphi + (1 - a^2/2a) \sin^2 \varphi + (2K/M) \cos 2\delta}. \quad (12)$$

Расчет показывает, что $\theta(\varphi)$ в зависимости от K/M сильно меняется от 90 до 180 градусов и уменьшается амплитуда $\theta(\varphi)$. Вид зависимостей определяется величинами параметра a и углом δ , которые задаются начальными положениями дихроичных осей при $\varphi = 0$. Поворот дихроичных осей был экспериментально исследован на образцах эпитаксиальных пленок

ферритов - гранатов различного состава, а именно $Y_3Fe_5O_{12}$, $(YBi)_3(FeGa)_5O_{12}$, $(YPr)_5(FeGa)_5$. В этой пленке экспериментальные результаты хорошо описываются кривыми, полученными по формуле (12) при соответствующих значениях параметра a и отношения K/M . Полученные выражения были использованы для объяснения экспериментальных результатов других авторов (F. Lucari, E. Terrenzio, G. Tomassetti, Magnetic Linear Dichroism in Sn Doped YIG. J. Appl. Phys., 1981, 52, 2301–2303. F. Dorozio, F. Luccori, G. Tomassetti, J. Desvignes Near Infrared Magneto-optical Effects in Sb Doped YIG. J. Magnetism and Magnetic Mat., 1983, 31–34, 593-594).

В диссертационной работе были получены матрицы отражения A и пропускания B :

$$A = R_1 + t_1 d_2 [I - R_2 D_2 r_1 d_2 - t_2 (T_2 R_2^{-1} t_2 + D_2^{-1} R_2^{-1} d_2^{-1} - r_2)^{-1} T_2 R_2^{-1}]^{-1} R_2 D_2 T_1,$$

$$B = T_3 [(I - D_2 r_1 d_2 R_2) T_2^{-1} D_2^{-1} (I - D_3 r_2 d_2 R_2) - D_2 r_2 d_2 t_2 d_2 R]^{-1} D_2 T_1. \quad (13)$$

С помощью данных матриц рассчитываются матрицы отражения и пропускания для любой многослойной магнитной структуры (пятислойной, шестислойной и т.д.).

Получены выражения для двухслойной магнитной структуры матрицы отражения R_{12}, r_{21} , пропускания T_{12}, t_{21} . С помощью этих выражений были получены выражения для экваториального эффекта Керра:

$$b_2 = \frac{2 \sin 2\varphi e^{-2\xi b}}{A^2 + B^2} [\sin(2\xi a)(M_1 B + M_2 A) - \cos(2\xi a)(M_1 A - M_2 B)]. \quad (14)$$

В главе 4 «**Оптические и магнитооптические характеристики эпитаксиальных пленок РЗФГ и аморфных пленок d-f-металлов**» приводятся результаты по исследованию спектров поглощения и МКД пленок ЖИГ, подвергнутых облучению различными дозами $D = 10^{18}$ - 10^{20} ион/см² отрицательными ионами O^{-2} с энергиями $E = 0,5$ - 10 кэВ. Для облучения пленок использовался источник ионов O^{-2} с энергиями $0,5$ - 10 кэВ и плотностью тока до $0,6$ мА/см². После облучения ионами O^{-2} энергией в диапазоне $E=0,5$ - 10 кэВ и дозами $D = 10^{18}$ - 10^{20} ион/см² было установлено, что наиболее существенные изменения в спектральных зависимостях ОП наблюдаются в области длин волн 500 - 650 нм (рис. 5).

Причем облучение ионами с энергией $E=0,5$ - 4 кэВ приводит к уменьшению величины α по мере набора дозы от $= 5 \times 10^{18}$ ион/см² и до значений $D = \sim 2 \times 10^{19}$ - 4×10^{19} ион/см². Дальнейшее увеличение дозы облучения оставляло уровень поглощения неизменным. Максимальное уменьшение величины α достигало 15 % и наблюдалось при облучении с энергиями $E=1$ - 2 кэВ. Анализ спектров МКД исследованных пленок показал, что после облучения изменения МКД и ОП в зависимости от дозы имеют идентичный характер. Абсолютное уменьшение величины МКД после облучения не превышало 8 %. В то же время изменение МКД с ростом энергии облучающих ионов было незначительным.

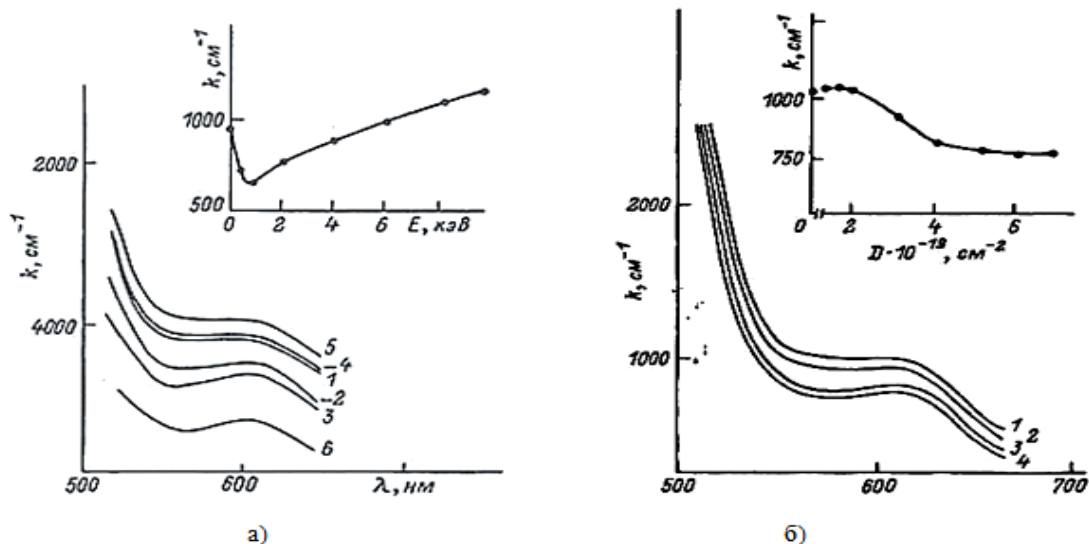


Рис. 5. Спектры поглощения пленок ЖИГ: а) при исходной толщине 7,8 мкм до (кривая 1) и после облучений дозой $3 \times 10^{19} \text{ см}^{-2}$ ионами O^{-2} энергиями 1 кэВ (кривая 2), 2 кэВ (кривая 3), 6 кэВ (кривая 4) и 10 кэВ (кривая 5). Кривая 6 соответствует монокристаллу ЖИГ; б) приведена зависимость ОП в пленке толщиной 11,6 мкм от длины волны при различных дозах облучения ионами кислорода энергией 1 кэВ. Кривая 1 соответствует исходному образцу, кривые 2–4 – облученному с $D = 0.5 \times 10^{19}$, 1.5×10^{19} , $3 \times 10^{19} \text{ см}^{-2}$ соответственно

На основе анализа экспериментальных результатов делается вывод, что рост магнитооптической активности в Pb-содержащих пленках ЖИГ обусловливается увеличением спин-орбитального взаимодействия в возбужденном состоянии ионов Fe^{+3} .

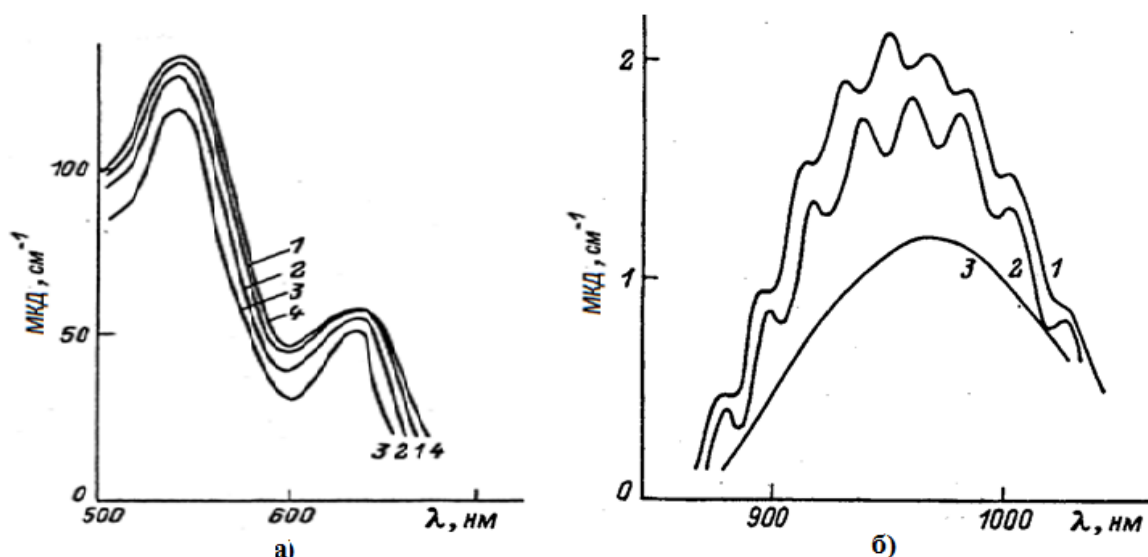


Рис. 6. Спектры МКД в пленке ЖИГ толщиной 11,6 мкм: а) до (кривая 1) и после получения (D : 2 - $2 \times 10^{19} \text{ см}^{-2}$, 3 - $4 \times 10^{19} \text{ см}^{-2}$, 4 - $2 \times 10^{19} \text{ см}^{-2}$; E : 2,3 - 1 кэВ, 4 - 6 кэВ); б) до (кривая 1) и после облучения ионами кислорода дозой $2 \times 10^{19} \text{ см}^{-2}$ энергией 2 кэВ (кривая 2). Кривая 3 была получена для сравнения на монокристалле ЖИГ

Приводятся спектры поглощения и МКД монокристаллов ЖИГ, допированных ионами Ca^{2+} и Si^{4+} (рис. 6); проведено обсуждение полученных

результатов по изучению оптических и магнитооптических свойств ЖИГ. Для выяснения природы дополнительного поглощения иттриевого феррита-граната, вызванного примесями ионов Fe^{+2} и Fe^{+4} технологического происхождения были проведены исследования спектров МКД и оптического поглощения ЖИГ в зависимости от концентрации допирующих ионов Ca^{+2} и Si^{+4} (рис. 7, 8). Очевидно, что при определенных концентрациях допирования ЖИГ ионами Ca^{+2} (доноры) и Si^{+4} (акцепторы) происходит полная или частичная компенсация соответственно Fe^{+2} и Fe^{+4} технологического происхождения до Fe^{+3} -состояния, что должно являться в изменении различных физических свойств ЖИГ. Проведенные исследования спектров поглощения ЖИГ: Ca^{+2} показали, что при исследованных концентрациях ионов Ca^{+2} - (до 0,01 атома на ф.ед.) ОП в области длин волн 0,8–1,15 мкм значительно снижается по сравнению с чистым и ЖИГ.

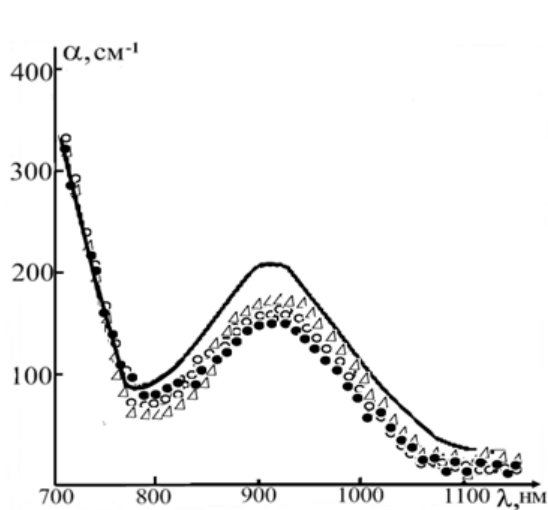


Рис. 7. Спектр поглощения $Y_3Fe_5O_{12}:Ca_x$; — $x=0$; ● — $x=0,0025$; ○ — $x=0,0049$; △ — $x=0,01$

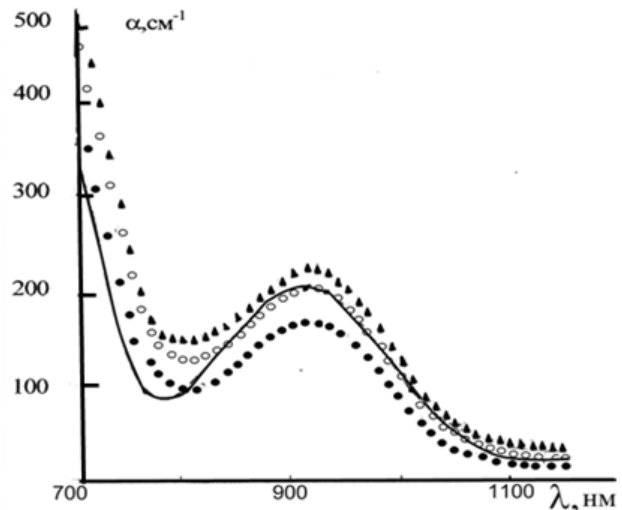


Рис. 8. Спектр поглощения $Y_3Fe_5O_{12}:Si_x$; — $x=0$; ● — $x=0,005$; — $x=0,009$; ▲ — $x=0,025$

При этом наблюдается смещение контура полосы поглощения с центром при 0,96 мкм в область более коротких длин волн. Аналогичное поведение спектров поглощения наблюдается для ЖИГ: Si^{+4} (при малых концентрациях ионов Si^{+4} (до 0,005 атома на ф. ед.) уменьшение величины поглощения в области длин волн 0,8–1,15 мкм, в то время как большие концентрации ионов приводят к общему увеличению поглощения таких металлов, как Gd–Co, по сравнению с чистыми ЖИГ. На рис. 5 для сравнения представлены концентрационные зависимости величины коэффициента поглощения ЖИГ: Ca^{+2} и Si^{+4} , полученные на лазерной длине волны 1,15 мкм (рис.9).

Проводились исследования ОП и ЭФ в аморфных пленках d-f-металлов Gd–Fe, Gd–U, и U–Co и определена магнитооптическая добротность, которая определяет пригодность для записи информации. Экспериментально исследовалась зависимость чувствительности и скорости записи от

температуры подложки и внешнего магнитного поля для пленок с различными точками компенсации.

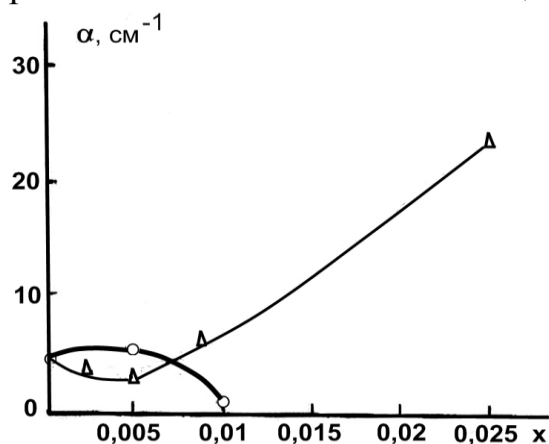


Рис. 9. Зависимость коэффициента поглощения гранатов от концентрации Ca_x и Si_x

С повышением температуры подложки локальной области $T = T_{\text{комп}}$ при неизменном внешнем магнитном поле происходит плавное уменьшение пороговой энергии записи и повышение скорости записи. Увеличение в определенных пределах внешнего магнитного поля также приводит к некоторому повышению чувствительности пленок. При оптимальных условиях чувствительность достигает значения $0,05 \text{ Дж/см}^2$, а минимальное время записи одного бита, полученное на данной

установке, составляет менее 2 мкс. В районе точки компенсации наблюдаются резкие изменения пороговой энергии записи, кроме того, при прохождении точки компенсации необходимо изменять направление внешнего магнитного поля на противоположное. Для исследования реверсивных свойств материала пленки подвергались многократному воздействию циклов записи–стирание. После 104 циклов при плотности энергии записи $0,5 \text{ Дж/см}^2$ никаких изменений свойств материала не наблюдалось. После 105 циклов было обнаружено понижение температуры компенсации на 1,5 К, что, однако, не повлияло на параметры процесса записи. Увеличение энергии записи более $0,5 \text{ Дж/см}^2$ приводит к более существенным структурным изменениям среды даже при однократном воздействии.

Пятая глава «**Магнитные неоднородности и изменение намагниченности под действием мощного лазерного излучения в ФГ**» посвящена исследованию магнитных неоднородностей как в монокристаллах, так и в пленках ФГ. Для пленок были использованы непрерывные лазерные источники с длиной волны $0,6328 \text{ мкм}$ и $1,15 \text{ мкм}$. Для монокристаллов использовались импульсные мощные лазеры с длиной волны $1,06 \text{ мкм}$ и $0,53 \text{ мкм}$. Наблюдаемый пик сигнала ЭДС на монокристалле ЖИГ в области температуры Кюри связан с переходом из магнитоупорядоченного состояния в парамагнитное (рис. 10). Для температуры $T = 300 \text{ К}$ образец находится в насыщенном, т.е. квазидоменном состоянии. Тогда изменение сигнала ЭДС может возникнуть только в том случае, если в образце существуют дефектные области, приводящие к замораживанию доменов.

Возникновение этого сигнала объясняется наличием магнитных неоднородностей на пути движения доменных стенок. По мере повышения величины намагничивающего поля таких жестких доменов становится меньше и как следствие величина сигнала ЭДС уменьшается.

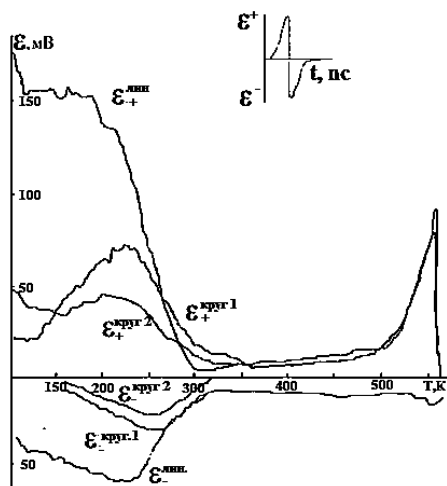


Рис. 10. Температурная зависимость ϵ_+ и ϵ_- для света различной поляризации на длине волны 1,06 мкм

Ход температурной зависимости сигнала ЭДС объясняется ростом температуры. Из-за роста тепловых колебаний, количество жестких доменов уменьшается. Наличие незначительного количества фотоактивных центров может привести к существенным изменениям фотонамагничивания (рис. 6). Это позволяет управлять движением доменов с помощью лазерного луча, что может быть применено в ЦМД приборах, поскольку позволяет сдвигать домены без применения дополнительных магнитных полей, создаваемых в традиционных ЦМД

устройствах посредством сложных систем магнитных аппликаций.

В шестой главе «**Элементная база оптических коммутаторов нового поколения**» приводятся исследования магнитных доменов, на основе которых были разработаны магнитооптические переключатели и дефлекторы луча (рис. 11, 12). Разработанные магнитооптические переключатели на основе явления Фарадея могут служить основным коммутационным элементом оптической системы коммутации.

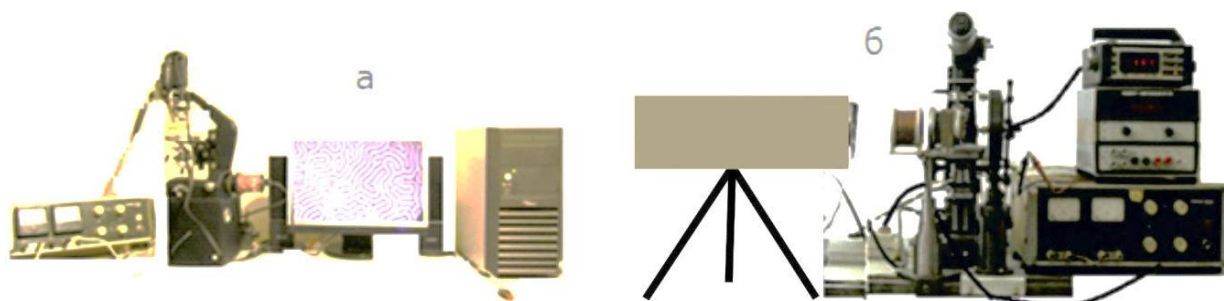


Рис. 11. Установки для наблюдения доменных структур (а) и для исследования магнитооптических переключателей (б)



Рис. 11. Лабораторный макет МО переключателей

Результаты работы по исследованию физических основ магнитооптических дефлекторов могут служить основанием для составления технических предложений по проектированию отдельных магнитоопти

ческих интегральных схем, а также проектирования и реализации принципиальных схем управляющих устройств, коммутационных систем узлов связи. Проведены работы по разработке магнитооптических коммутаторов, логических схем мультиплексоров и демультимплексоров для построения отдельных узлов оптической системы коммутации.

Проведено исследование по разработке теории группообразования оптической АКФ для построения локальных сетей домашних систем SOHO (small office, Home office), а также коммутаторов региональных и магистральных сетей связи. Из рис. 12 видно, что коммутационное поле условно делится на 4 сектора: 1) сектор коммутации по соединительным линиям модулями; 2) сектор коммутации соединительных линий с линиями абонентских терминалов; 3) сектор коммутации терминальных линий с соединительными линиями модулей и 4) сектор коммутации абонентских терминалов с абонентскими терминалами.

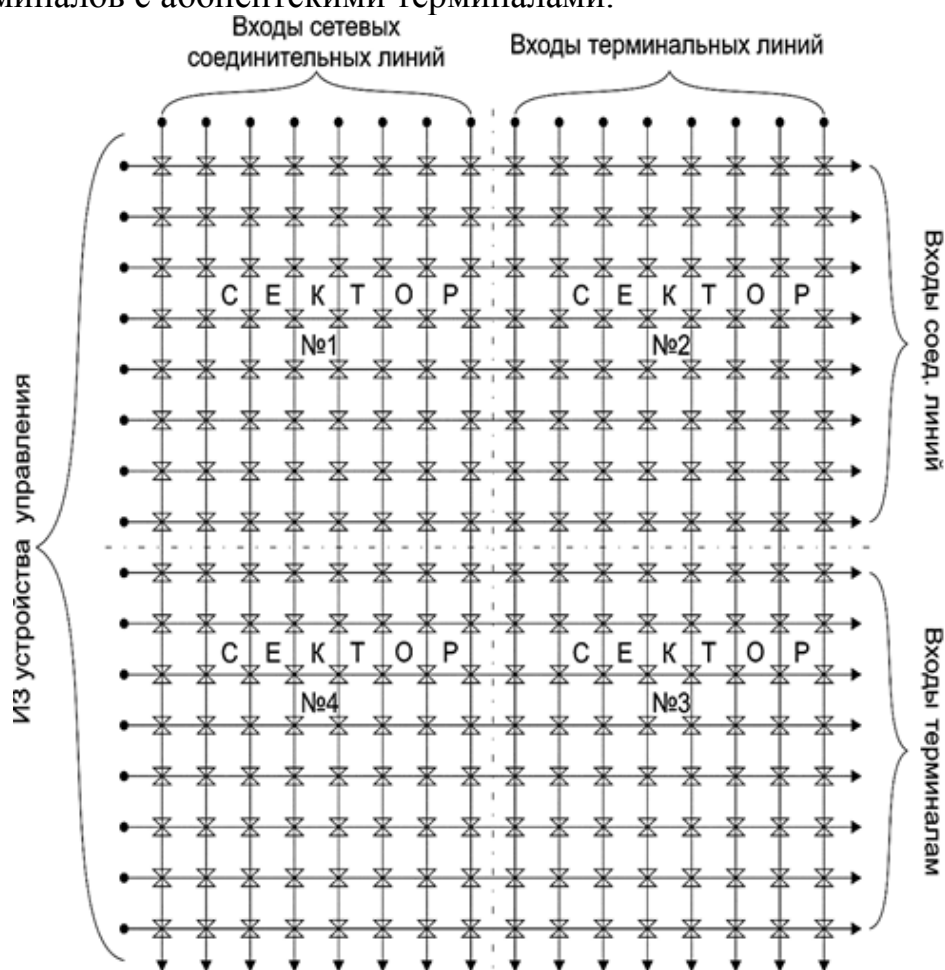


Рис. 12. Схема коммутатора сетевого и канального уровней, где * – точка коммутации элемента Фарадея

Из рис. 13 видно, что основными блоками обработки управляющей информации являются программная память (ПЗУ), оперативная память (ОЗУ), параллельный процессор обработки информации маршрутизации (ППМ) и оптического коммутационного поля, построенных на магнитных элементах, на основе явления Фарадея - МОЭФ. Оптический коммутационный элемент состоит из самого МОЭФ; фотодиода – ФД; 3 логических схем типа

«И»; одной логической схемы ИЛИ. Схемы 1 и 2 служат для включения ЭФ при наличии 3 сигналов: модуля – это блок интерфейсов ввода/вывода;

параллельного процессора из УУ, интерфейса и сигналов свободы горизонтали и вертикали точки коммутации управления. После срабатывания контакта МОЭФ сигнал удерживается через фотодиод (рис. 14). В отбой уходит, когда прекратится световой сигнал на световоде. Для построения оптического коммутационного поля модуля АКФ потребуется 256 элементов МОЭФ, 256 фотодиодов, 256 логических схем типа ИЛИ и 768 логических схем.

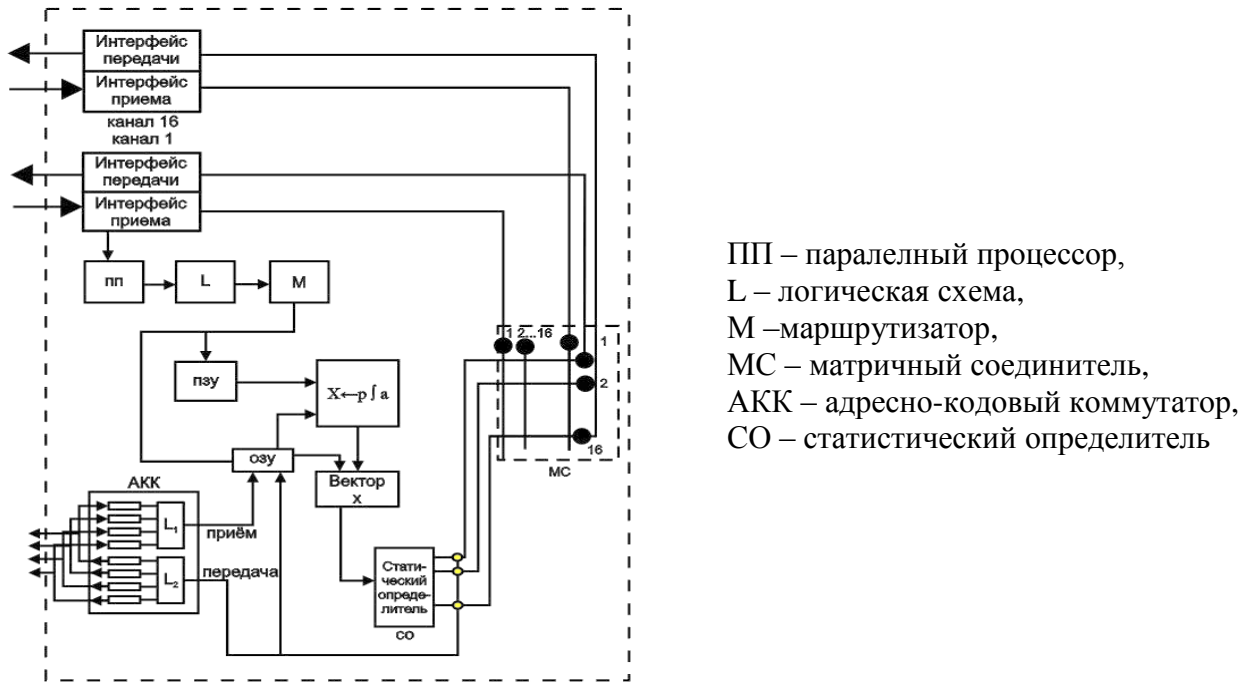


Рис. 13. Магнитооптический контакт с цепями

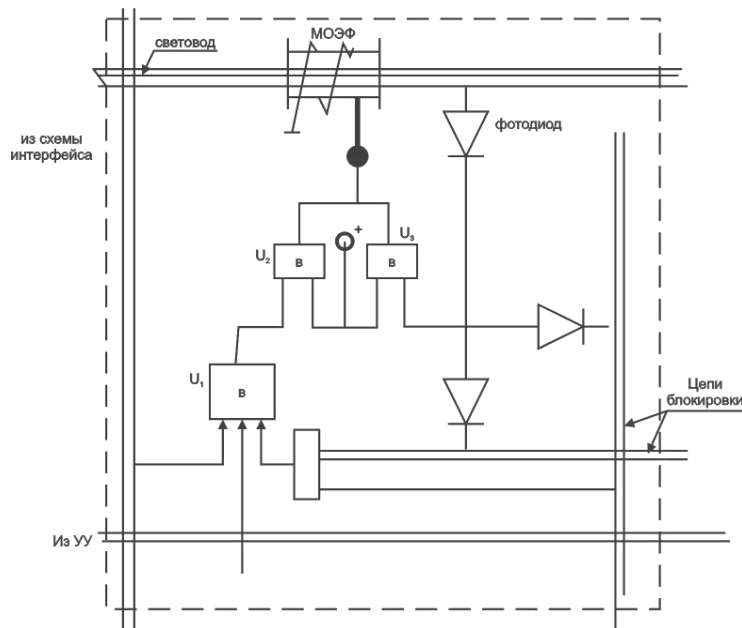


Рис. 14. Функциональная схема модуля АКФ

Таким образом, коммутационная система, построенная на элементах МОЭФ, является полностью оптической без перехода светового сигнала в электрическую.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных исследований сделаны следующие выводы.

1. Установлено влияние технологических режимов на оптические и магнито-оптические свойства тонких магнитных пленок РЗФГ, построены зависимости коэффициента вхождения Tb, Yb, Dy от степени замещения (x) и Ga от температуры, рассчитана химическая формула произвольного граната с заданным параметром постоянной решетки.

2. Установлено, что определение идентичности сравниваемых объектов по искажению муарового изображения объекта позволяют расширить функциональную возможность и обеспечивают его использование при сравнении как плоских объектов с деформированной поверхностью, так и объектов со сложным рельефом поверхности.

3. Получены выражения для четырехслойной среды и коэффициента отражения и преломления с двумерными матрицами, что гораздо уменьшает время счета в отличие от четырехмерных матриц, используя коэффициент отражения и пропускания света для N -слойных магнитных структур, были получены выражения для эффектов Керра.

4. Установлено, что если учесть заметное снижение (примерно на 15%) оптических потерь при облучении низкоэнергетичными отрицательными ионами O^{-2} пленок ЖИГ в видимой области спектра, то полученные результаты позволяют заключить, что облучение ионами кислорода в режимах $D > 10^{19}$ ион/см² и $E = 0,5 - 2$ кэВ может служить эффективным средством увеличения магнитооптической добротности эпитаксиальных пленок ЖИГ.

5. Впервые показано, что примесные Ca^{2+} и Si^{4+} позволяют изменять концентрацию не трёхвалентных ионов железа (Fe^{2+} и Fe^{4+}) в монокристаллах ЖИГ за счет зарядовой компенсации в составе граната. А это в свою очередь позволяет целенаправленно влиять на его оптические и магнитооптические свойства; установлено, что введение ионов Ca^{2+} в состав ЖИГ при концентрациях $\sim 0,01$ атом на ф. ед. позволяет практически до нуля снизить поглощение света на длине волны $\lambda > 1$ мкм. При этом в ближнем ИК диапазоне магнитооптическая добротность Ca –содержащих гранатов оказывается заметно выше магнитооптической добротности чистого ЖИГ.

6. Впервые предложена методика, позволяющая разделить магнитный и упругий линейный дихроизм, а также определить направление дихроичных осей в эпитаксиальных пленках РЗФГ, впервые получены спектры магнитного и упругого линейного дихроизма в эпитаксиальных пленках ферритов-гранатов. Показано, что упругие напряжения приводят к большому упругому линейному дихроизму; установлено, что упругие

напряжения в исследованных пленках не меняют характера анизотропии МЛДх.

7. Впервые предложена модель, качественно объясняющая экспериментальные данные, когда воздействие свет вызывает перераспределение электронов между ионами кристалла, что в свою очередь увеличивает концентрацию центров, тормозящих движение доменных границ, установлено, что условия кристаллизации ЖИГ решающим образом переопределяют структуру центров, ответственных за изменение магнитной проницаемости. В зависимости от условия наращивания ЖИГ в процессе его кристаллизации различные участки объема одного и того же монокристалла могут быть приведены как в независимое от освещенности, так и в светочувствительное состояние. При наращивании монокристаллов ЖИГ необходимо учитывать такие примеси как Fe^{2+} . Замещение малыми концентрациями Fe^{+3} на Si^{+4} улучшает состав монокристалла и тем самым уменьшает концентрацию центров, тормозящих движение доменных границ.

8. Экспериментально установлено, что самые благоприятные условия для термомагнитной записи информации наблюдаются в плоскости (110), т.е. при комнатной температуре, где имеется резкий рост сигнала ЭДС, что позволяет легко производить термомагнитную запись информации небольшой мощностью лазерного излучения. Достаточно для записи изменения температуры около $1 \div 3$ К; установлено, что возникновение фотоЭДС в $Y_3Fe_5O_{12}:Si^{4+}$ при высоких температурах определяется тепловым механизмом, т.е. dM/dT , а при низких температурах возникновение фотоЭДС может быть самым разнообразным: активизация существующих фотовозбужденных центров, образование не трехвалентных ионов железа.

9. Установлено, что аморфные пленки d-f-металлов сохраняют свои свойства при многократной перезаписи информации в локальной точке с энергией $0,05$ Дж/см² (более 10^6 раз).

10. Разработан магнитометр с высокой чувствительностью 10^{-8} Э на базе интерферометра Маха–Цендра с использованием эффекта Фарадея в магнитных материалах; показана возможность создания на базе интерферометра Маха–Цендра с использованием эффекта Фарадея в магнитных материалах мультиплексора и демультиплексоров.

11. Разработаны элементные базы магнитооптического коммутаторов, логические схемы и отдельные узлы оптической системы коммутации, впервые проведены разработка теории группообразования оптической ассоциативной коммутационной фабрики для построения локальных сетей домашних систем SOHO (small office, Home office), а также коммутаторов региональных и магистральных сетей связи.

**SCIENTIFIC COUNCIL No.DSc.30.05.2018.FM/T.65.01
ON AWARD OF SCIENTIFIC DEGREES AT THE INSTITUTE
OF ION-PLASMA AND LASER TECHNOLOGIES**

**TASHKENT INSTITUTE OF DESIGN, CONSTRUCTION
AND MAINTENANCE OF AUTOMOBILE ROADS**

OCHILOV ODIL

**MAGNETOOPTICAL PHENOMENA IN MAGNETIC MATERIALS
AND ELEMENTAL BASES OF THE NEW GENERATION
OF OPTICAL SWITCH BOARDS**

01.04.05 – Optics

**ABSTRACT OF THE DOCTORAL DISSERTATION (DSc)
ON PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES**

TASHKENT-2018

The theme of the doctoral dissertation (DSc) on physical and mathematical sciences was registered by the Supreme Attestation Commission of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under No.B2018.1.DSc/FM112.

The doctoral dissertation was carried out at Tashkent Institute of Design, Construction and Maintenance of Automobile Roads.

The abstract of the dissertation was posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website of the Scientific Council at www.iplt.uz and on the website of «ZiyoNet» Information and Educational Portal at www.ziynet.uz.

Scientific consultant:

Mukimov Komil Mukimovich

Doctor of Physical and Mathematical Sciences,
Professor, Academician

Official opponents:

Zvezdin Anatoliy Konstantinovich

Doctor of Physical and Mathematical Sciences,
Professor (Russian Federation)

Valiev Uygun Vokhidovich

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

Kodirov Mumin Kodirovich

Doctor of Physical and Mathematical Sciences

Leading organization:

Tashkent State Technical University

The defence of the dissertation will be held on «_____»_____2018 at _____ at the meeting of the Scientific Council No.DSc. 30.05.2018.FM/T.65.01 at the Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies (Address: 33 Durmon yuli str., 100125 Tashkent city. Tel./Fax: (+99871)262-32-54, e-mail: info@iplt.uz).

The doctoral dissertation (DSc) can be looked through in the Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies (registered under No. _____). Address: 33 Durmon yuli str., 100125 Tashkent city. Tel./Fax: (+99871) 262-32-54, e-mail: info@iplt.uz.

The abstract of the dissertation was distributed on «_____» _____ 2018.

(Registry record No. _____ dated «_____» _____ 2018.)

Kh.B. Ashurov

Chairman of the Scientific Council on Award of Scientific Degrees, Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher

D.T. Usmanov

Scientific Secretary of the Scientific Council on Award of Scientific Degrees, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher

B.E. Umirzakov

Chairman of the Scientific Seminar of the Scientific Council on Award of Scientific Degrees, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor

INTRODUCTION (abstract of DSc dissertation)

Topicality and relevance of the theme of the dissertation. At present, comprehensive studies of magnetic materials of fundamental and applied importance are carried out in the world, as well as in the field of telecommunications, the creation and optimization of an information transfer storage architecture is considered an important task. In this regard, large magneto-optical effects in the visible and near-infrared regions of the spectrum created by new ferro dielectrics with large electrical resistance are of great importance. In particular, in Germany, France, Russia, Japan and other developed countries, special attention is paid to recording, storing and reading information on magnetic N-layer structures, which the light undergoes multiple refraction and reflection.

In the world, it assumes a particular significance conducting a focused study on developing devices for volumetric information recording, increasing the information recording density several times if the intersection of Bloch lines is taken as information bits, developing methods for recording information based on two-photon technology in several hundred layers on two sides of the disk and changing easily the point of a bit of information at material thickness. In this sense, development of the new principles of memory, including semiconductor integrated circuits, cylindrical magnetic domains, charge coupling devices, spintronics, optical phenomena (including thermo-optics, electro-optics, other types of recording, holography), as well as improvement of devices based on nanostructures and implementation of scientific researches are considered one of the most important tasks in optics.

Intensive research in optics is being carried out in the republic, especially in the field of optics of magnetic materials, in particular, the determination of physical mechanisms of optical and magneto-optical properties of rare-earth materials, optical switches, depending on the design, direction of signals through the fiber input and output or redirection of one, several or all spectral channels, and special measures are being taken to create magneto-optical devices on the basis of working magnetic domains. In particular, the issue of «... increasing the competitiveness of the national economy and lowering energy costs, widely introducing energy-saving technologies into production ...» was noted in the Strategies of Actions on Further Development of the Republic of Uzbekistan in 2017-2021. For the implementation of the task, in particular, the technology of magneto-optical switches, i.e. the use of Faraday elements at the points of switching systems, and the implementation of scientific researches in this area acquire an important role.

The aim of the research is to study the formation of basic mechanisms and the nature of optical and magneto-optical properties of magnetic films and single crystals of rare-earth garnet ferrites (REGF), as well as to develop a new generation of optical switches based on magneto-optical effects.

The tasks of the research are:

-optimizing the chemical compositions, technological regimes, crystal parameters and optical properties of epitaxial films of REGF.

- investigating the properties of multiple reflected rays of an N-layer magnetic structure and describing the mechanisms of reflection and transmission of light of such systems;
- optimizing the architecture of the elemental bases of devices of storage and information transfer;
- investigating the components of magneto-optical anisotropy tensors (photo elastic-optical-induced deformations);
- studying the rotation of optical indicatrix in epitaxial films of REGF in the presence of growth optical anisotropy;
- determining the nature and mechanisms of influence of heterogeneities and destabilizing factors on the domain structures of iron-yttrium garnet;
- studying the nature of optical and magneto-optical properties of amorphous d-f metal films for thermomagnetic recording of information;
- optimizing optical and magneto-optical characteristics of magnetic materials with the aim of developing magnetic diffraction gratings;
- developing optical multiplexers and demultiplexers and a new generation of high-speed and more capacitive optical switches.

The object of the research is epitaxial iron-yttrium garnet films, REGF, amorphous d-f metal films (Tb-Fe, Tb-Gd-Fe, Tb-Fe-Co and Tb-Gd-Fe-Co) and magneto-optical switches.

Scientific novelty of the research consists of the following:

The optimal chemical composition and the coefficient of entry of Tb, Yb, Dy ions into the composition of a garnet depending on the degree of substitution (x) and Ga on temperatures have been established;

The mechanism for the propagation of electromagnetic waves in layered magnetic structures has been established; formulas have been obtained for calculating the reflection and transmission of light on a two-layer magnetic structure, and the interrelation has been established between the Faraday and Kerr effects;

Physical mechanisms have been established that determine the change in the optical and magneto-optical properties of films subjected to O^{2-} irradiation with a dose of $D > 5 \times 10^{19}$ ion/cm² with an incident energy of $E = 0.5 - 2$ keV;

A method has been developed for studying the magneto-optical susceptibility of iron-yttrium garnet, and the capabilities of the magneto-optical method for searching and studying the magnetic inhomogeneity of ferromagnetic materials have been demonstrated. For the first time, mechanisms of stabilization of domain walls under the action of high-power laser radiation have been investigated and established;

For the first time, we have studied the temperature dependences of the photomagnetic effect, which change the magnetization of iron-yttrium garnet under the action of a light laser pulse. We have shown the possibility of using iron-yttrium garnet: Si to create high-power laser radiation receivers in a fiber-optic communication system;

A spectral region with high magneto-optical Q-factor has been established for recording and storing information in amorphous films of d-f metals (Tb-Fe, Tb-Gd-Fe, Tb-Fe-Co and Tb-Gd-Fe-Co);

The possibility of creating an optical switch based on magnetic diffraction gratings and a Mach–Zehnder interferometer using the Faraday effect in magnetic materials of multiplexers and demultiplexers has been shown;

It has been shown that the associative switching system is based on the principles of parallel processing of a large number of operations, the variable structure of the system of information processing and realizability based on the magneto-optical Faraday effect as a switch of the luminous flux.

Grouping theory of an optical associative switching factory have been developed for building local networks of home systems SOHO (small office, Home office), as well as switches of regional and main communication networks based on the magneto-optical Faraday effect;

A device has been developed for comparative analysis of an object from an image in its surface, containing a comparison microscope consisting of two comparison branches with corresponding subject tables, an observation unit that includes a lens, a switching mirror, visual and television channels, and an image field combining unit located between the comparison branches and the observation unit.

Implementation of the research results. Based on the studies of magneto-optical phenomena in magnetic materials and the new generation of the elemental base of optical switches:

Experimental results on the improvement of image quality and visualization of domain structures in garnet ferrites have shown that determining the identity of compared objects by distortion of the moire image of an object allows extending the functionality and ensures its use when comparing both flat objects with a deformed surface and objects with complex surface relief. On the basis of the obtained results, a patent was obtained from the Agency for Intellectual Property of the Republic of Uzbekistan for the invention «A device for comparative analysis of an object from an image in its surface», UZ No. IAP 04195 of 30/07/2010;

Physical mechanisms have been revealed that have allowed improving the crystalline, optical and magneto-optical properties of rare-earth garnet ferrite films subjected to irradiation with low-energy O^{-2} ions with a dose of $D > 5 \times 10^{19}$ ion/cm² at incident-ion energies $E = 0.5-2$ keV after technological processes and determining the optimal chemical compositions and the coefficient of entry of rare-earth ions of an arbitrary garnet into the composition of the films. (Certificate No.16001-23/290 of the State Organisation «Scientific and Production Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Materials Science» of 3 May 2018). The use of the scientific results has allowed the cultivation of high-quality films of rare-earth ferrite-garnets of arbitrary composition;

The experimental results of the research on the diffraction of light on magnetic band domain structures in Bi containing ferrite-garnet films and on the base of the Mach–Zehnder interferometer using the Faraday effect in magnetic materials were used to develop the basic elements of multiplexers and

demultiplexers, as well as on the basis of the Faraday effect, luminous flux switches for an associative switching system are based on the principles of parallel processing of a large number of operations, the variable structure of the system of information processing and realizability. It was experimentally confirmed that the developed grouping theories of optical associative switching factory for building local networks of home systems SOHO (small office, Home office), as well as switches of regional and main communication networks based on magneto-optical Faraday effect (Certificate No.338/4556 of the Ministry of Development Information Technologies and Communication of the Republic of Uzbekistan of 22.06.2018). The use of the scientific results allowed obtaining a new generation of elemental basic optical switches.

Publication of the research results. On the theme of the dissertation a total of 34 scientific works were published, including 1 patent for the invention and 1 patent for the useful model. Of these 18 articles were published in scientific journals recommended by the Supreme Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan for publishing basic scientific results of doctoral dissertations.

The structure and volume of the dissertation. The dissertation was presented on 198 pages consisting of an introduction, six chapters, a conclusion, a list of references, a list of published works and 1 appendix.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; part I)

1. Очилов О. Фотоупругая и ростовая оптическая анизотропия эпитаксиальных пленок редкоземельных ферритов – гранатов // Вестник науки и образования, 2018 г. № 01(37), стр.5-8. (01.00.00. № 14 Research Bib; IF=0.15).

2. Абдурахманов К.П., Очилов О., Очилова О.О. Устройство для сравнительного анализа объекта по изображению его поверхности. Патент на изобретение №IAP 04195 от 30.07.2010. Бюллетень, №7.

3. Очилов О., Сон В.М., Очилов Н.О., Сон А. В., Очилова О.О. Перспективы развития и создания магнитооптических коммутаторов // Инфокоммуникации: Сети - Технологии-Решения 4(16) /2010, стр.21 - 27(05.00.00. №2).

4. Очилов О., Сон В.М., Очилов Н.О., Сон А. В., Магнитооптический дефлектор на основе эпитаксиальной пленки феррита граната иттрия// Инфокоммуникации: Сети - Технологии-Решения 2(10)/2009 стр.5-18 (05.00.00. №2).

5. Очилов О. Исследования изменения намагниченности на поверхности железо иттриевого граната под действием мощного лазерного излучения на длине волны 0,53 мкм // Вестник ТУИТ. 2009. №3, стр.70-74 (.05.00.00. №10).

6. Абдурахманов К.П., Очилов О., Очилова О.О. Учебный прибор для дистанционной демонстрации интерференционных явлений по оптике// Патент на полезную модель № FAP 00435 от 31.12.2008 Бюллетень, №7.

7. Очилов О. Оптические и магнитооптические спектры и термомагнитная запись информации на аморфных пленках d-f металлов// Вестник ТУИТ, 2008, №2 стр.70-73. (.05.00.00. №10).

8. Очилов О. Отражение и пропускание света на двухслойной магнитной структуре// Вестник ТУИТ, 2007. №3, стр. 66-68. (.05.00.00. №10).

9. Очилов О. Расчет химического состава феррит- гранатовых пленок для записи и хранения информации// Инфокоммуникации: Сети - Технологии - Решения. 2007, №3, стр.53-58. (05.00.00. №2).

10. Очилов О. Ахборотларни ёзиш ва сақлаш учун қўлланиладиган магнит плёнкаларининг кристалл ва оптик хусусиятларига технологик режимларнинг таъсири // Инфокоммуникации: Сети-Технологии-Решения 2007, №2, стр.27-31. (05.00.00. №2).

11. Очилов О. Магнитные неоднородности в ферритах гранатах иттрия// Вестник ТУИТ, 2007. №1, стр.98-101. (.05.00.00.№10).

12. Mukimov K.M., Ochilov O., Khalmuratov M.G., Ramazanov A., Mirzakulova U. Study of magnetic non-uniformities in yttrium-iron garnet by the measuring method of magneto-optic susceptibility // Turkish Journal of Physics.1998. Vol.22 No.10, pp. 970 - 975. (01.00.00.No.11 Осиё мамлакатлари нашри; IF=0,4).

13. Ochilov O. Optical anisotropy of iron garnets with growing anisotropy // Turkish Journal of Physics. 1998. Vol.22. No.10, pp. 955-970. Осиё мамлакатлари нашри. (01.00.00.No.11 Осиё мамлакатлари нашри; IF= 0, 4).

14. Khalmuratov M.G., Ochilov O., Mukimov K.M. A stroboscopic Installation for Studying Photomagnetization Processes, Instruments and Experimental Techniques // Vol.40, No.2, 1997, pp.285-286. (01.00.00., No.40, Research Gate. IF=0.608).

15. Mukimov K.M., Ochilov O., Khalmuratov M.G. Temperature and field dependences of photo-induced changes in the magnetization in yttrium iron garnet // Phys. Solid State 39 (7), July 1997, pp.1122-1124, (IF=1.17).

16. Стогний Л.П., Очиллов О., Мукумов К.М., Федотова В.В., Халмуратов М.Г., Рамазанов А.Х. Влияние облучения ионами кислорода на спектры оптического поглощения и магнитного кругового дихроизма эпитаксиальных пленок железо-иттриевого граната // ЖТФ. 1996. Т.66 В 10 с. 192-197. (01.00.00. № 20 МДХ мамлакатлар нашри IF=0.956).

17. Очиллов О., Асиллов Т. Кучкарова Ф. Методические аспекты исследования температурных зависимостей оптического линейного двуупре-ломления. Узбекский физический журнал, 1994, №2, 56-59. (01.00.00. №5).

18. Очиллов О., Халмуратов М.Г., Ибрагим Али., Рамазанов А.Х. Исследование спектров поглощения и магнитного кругового дихроизма $Y_3Fe_5O_{12}$, легированного ионами Si^{4+} и Ca^{2+} // Узбекский физический журнал, 1993, №5, 61-65. (01.00.00. №5).

19. Туркменов Х. И., Очиллов О., Мукумов К.М., Очиллова Н.Х., Туркменова З. Распространение электромагнитных волн в слоистых магнитных структурах// Узбекский физический журнал, 1993, №3, 57-63. (01.00.00.№5)

20. Очиллов О., Асиллов Т., Рамазанов А.Х., Тухлибаев О. Магнитооптическая добротность аморфных пленок Gd-Co и Gd-Fe // Известия АН УзССР. Серия физико-математических наук, 1988. №2. С. 66-68. (01.00.00. №7).

II бўлим (II часть; part II)

21. Очиллов О., Азаматов З.Т., Очиллова О. О Перспективы применения магнитооптических элементов Фарадея. Труды II Международной конференции Оптика и Фотоника -2013, 25-27 сентября, Самарканд.

22. Ochilov O., Ochilova O.O., Abdurakhmanov K.P, Azamatov Z.T. Television microscope for the comparative analysis of object under the image of its surface. Proceedings of the International Seminar on Optics and Photonics, Issyk-Kul, Kyrgyzstan. (Proceedings of SPIE 16-Стран Америки). 2012, September 12-14. pp. 149-151.

23. Ochilov O. Questions of stabilization of domain walls for gradation magneto-optical switchboards. International Conference on IT Promotion in Asia 2008. September 22-26, 2008. pp. 263-265.

24. Очиллов О. Теория интерференционного магнитометра на основе эффекта Фарадея в магнетиках. Андижон давлат университети, «Илмий Хабарнома» 2006, №1-2, стр. 44-47.

25. Очиллов О., Абдурахманов К.П., Азаматов З.Т. Оптические и магнитооптические свойства железо-иттриевого граната с примесями ионов Ca^{2+} и Si^{4+} . Труды научно-практической конференции «Лазерные технологии в промышленности, медицине и в сельском хозяйстве». – Ташкент, 7-9 декабря 2007, стр.54-56.

26. Очиллов О. Движения доменной стенки в иттриевом феррите-гранате легированной кремнием. Республиканская научно-техническая конференция «Ярим ўтказгичлар физикасининг фундаментал ва амалий муаммолари». Ферганский политехнический институт, 2007. стр.82-84.

27. Ochilov O., Mukimov K.M., Khalmuratov M.C., Azamatov Z.T. The investigation of photo-induced changes in the magnetization in yttrium iron garnet. Proceedings of the International Seminar «Holography and optical information processing». – Bishkek, 5-7 September 2001. pp.151-155. (Proceedings of SPIE 16-Стран Америки).

28. Ochilov O. Mukimov K.M., Khalmuratov M.C., Azamatov Z.T. Polarization relations of photo-induced changes of a magnetization in $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}:\text{Si}^{4+}$. Proceedings of the International Seminar «Holography and optical information processing». – Bishkek, 5-7 September 2001. pp.149-150 (Proceedings of SPIE 16 - Стран Америки).

29. Очиллов О., Халмуратов М.Г., Мукимов К.М., Азаматов З.Т., Рамазанов А.Х. О возможности создания фотоманитных датчиков лазерного излучения на основе ферритов-гранатов. Оптическая техника. 1997 г. №1(12), с.42-44

30. Очиллов О., Очиллова Н.Х. Интерференционный магнитометр на основе эффекта Фарадея. VII Всесоюзная научно-техническая конференция «Проблемы магнитных измерений и магнитоизмерительной аппаратуры». – Ленинград, 1989г, часть II, стр.228-229.

31. Очиллов О., Мукимов К.М., Рамазанов А., Асиллов Т. Дифференциальная установка для исследования магнитооптической восприимчивости в ферритах-гранатах. VII Всесоюзная научно-техническая конференция «Проблемы магнитных измерений и магнитоизмерительной аппаратуры». Тезисы докладов, часть II. – Ленинград, 1989, с. 268.

32. Очиллов О., Мукимов К.М., Асиллов Т., Температурная зависимость оптического линейного дупреломления в эпитаксиальных пленках РЗ ферритов гранатов. Тезисы докладов, часть 2, XI Всесоюзная школа - семинар «Новые магнитные материалы микроэлектроники». – Ташкент 1988. с.307, стр.32.

33. Очиллов О., Дикарев О. Н., Гесь А. П., Федотова В. В., Шлыков В.В., Абдураимов А., Рамазанов А.Х. Магнитооптический дефлектор на основе эпитаксиальной пленки феррита-граната иттрия. Тезисы докладов, часть 2. XI Всесоюзная школа-семинар «Новые магнитные материалы микроэлектроники». – Ташкент, 1988, с.307.

34. Очиллов О., Мукимов К.М., Рамазанов А., Хасанов Э.Г. Магнитооптическая восприимчивость в ферритах-гранатах. III Семинар по функциональной магнитоэлектронике. – Красноярск, 1988. стр.126.

Автореферат «Тил ва адабиёт таълими» журнали таҳририятида таҳрирдан
ўтказилди (_____2018 йил)

Босишга рухсат этилди: _____2018 йил
Бичими 60x45 ¹/₈, «Times New Roman»
гарнитурда рақамли босма усулида босилди.
Шартли босма табоғи 3,75. Адади: 100. Буюртма: № _____.

Ўзбекистон Республикаси ИИВ Академияси,
100197, Тошкент, Интизор кўчаси, 68.

«АКАДЕМИЯ НОШИРЛИК МАРКАЗИ»
Давлат унитар корхонасида чоп этилди.