ISNN 3030-3907

2026/4
VOLUME 10

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/4 VOLUME 10

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Асадова Раъно Дилмуратовна
Тошкент Давлат техника университети доценти

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

$HO_{0.6}Y_{2.4}FE_5O_{12}$ FERRIT-GRANATINING MAGNIT VA MAGNETO-OPTIK XOSSALARI

Ergasheva Nilufar Mansurovna
Buxoro Davlat Universiteti dotsenti

Annotatsiya. Ushbu maqolada $Ho_{0.6}Y_{2.4}Fe_5O_{12}$ ferrit-granatining kristall tuzilishi, magnit va magneto-optik xossalari nazariy hamda zamonaviy ilmiy adabiyotlar asosida tahlil qilindi. Holmiy ionlarining $Y_3Fe_5O_{12}$ (YIG) ferrit-granati tarkibiga kiritilishi natijasida magnit anizotropiya, to‘yingan magnitlanish, magnit domenlar barqarorligi hamda Faradey aylanish burchagining o‘zgarish qonuniyatlari o‘rganildi. Tadqiqot natijalari Ho^{3+} ionlarining katta magnit momenti va kuchli spin-orbital o‘zaro ta’siri ferrit-granatning magnit hamda magneto-optik parametrlarini sezilarli yaxshilashini ko‘rsatdi. Materialning temperatura ta’siridagi magnitlanish xususiyatlari tahlil qilinib, Kyuri temperaturasi yaqinida sodir bo‘ladigan fizik jarayonlar yoritildi. Shuningdek, $Ho_{0.6}Y_{2.4}Fe_5O_{12}$ ferrit-granatining optik izolyatorlar, lazer tizimlari, magnit sensorlar, mikroto‘lqin rezonatorlari, magnit xotira qurilmalari va spintronik elementlarda qo‘llanilish istiqbollari ko‘rib chiqildi. Olingan natijalar ushbu materialning zamonaviy fotonika, magnitoelektronika va axborot texnologiyalarida istiqbolli funksional material ekanligini tasdiqlaydi.

Kalit so‘zlar: $Ho_{0.6}Y_{2.4}Fe_5O_{12}$, ferrit-granat, YIG, magnitlanish, magnit anizotropiya, Faradey effekti, magneto-optika, domen strukturasi, spintronika, optik izolyator.

Аннотация. В данной статье проведён анализ кристаллической структуры, магнитных и магнитооптических свойств феррит-граната $Ho_{0.6}Y_{2.4}Fe_5O_{12}$ на основе современных научных источников. Исследовано влияние замещения ионов иттрия ионами гольмия на магнитную анизотропию, намагниченность насыщения, устойчивость магнитных доменов и угол вращения Фарадея. Показано, что наличие ионов Ho^{3+} с большим магнитным моментом и сильным спин-орбитальным взаимодействием приводит к улучшению магнитных и магнитооптических характеристик материала. Рассмотрена температурная зависимость намагниченности и особенности поведения материала вблизи температуры Кюри. Также проанализированы перспективы применения феррит-граната $Ho_{0.6}Y_{2.4}Fe_5O_{12}$ в оптических изоляторах, лазерных системах, магнитных датчиках, СВЧ-резонаторах, устройствах магнитной памяти и спинтронных элементах. Полученные результаты подтверждают перспективность данного материала для современной фотоники, магнитоэлектроники и информационных технологий.

ISSN 3030-3907

Ключевые слова: $Ho_{0.6}Y_{2.4}Fe_5O_{12}$, феррит-гранат, YIG, намагниченность, магнитная анизотропия, эффект Фарадея, магнитооптика, доменная структура, спинтроника, оптический изолятор.

Abstract. This paper presents a comprehensive analysis of the crystal structure, magnetic and magneto-optical properties of $Ho_{0.6}Y_{2.4}Fe_5O_{12}$ ferrite garnet based on theoretical approaches and contemporary scientific literature. The influence of holmium ion substitution in $Y_3Fe_5O_{12}$ (YIG) on magnetic anisotropy, saturation magnetization, magnetic domain stability and Faraday rotation has been investigated. The results indicate that the large magnetic moment and strong spin–orbit interaction of Ho^{3+} ions significantly enhance the magnetic and magneto-optical characteristics of the ferrite garnet. The temperature dependence of magnetization and the physical processes occurring near the Curie temperature are also discussed. Furthermore, the potential applications of $Ho_{0.6}Y_{2.4}Fe_5O_{12}$ ferrite garnet in optical isolators, laser systems, magnetic sensors, microwave resonators, magnetic memory devices and spintronic elements are reviewed. The obtained results confirm that this material is a promising functional material for advanced photonics, magnetoelectronics and information technologies.

Keywords: $Ho_{0.6}Y_{2.4}Fe_5O_{12}$, ferrite garnet, YIG, magnetization, magnetic anisotropy, Faraday effect, magneto-optics, domain structure, spintronics, optical isolator

KIRISH.

Nodir yer elementlari bilan legirlangan ferrit-granatlar zamonaviy mikroto‘lqin texnikasi, fotonika va spintronika sohalarida keng qo‘llanilmoqda [1,4,5]. Ayniqsa, Yttrium Iron Garnet (YIG) o‘zining past magnit yo‘qotishlari, yuqori elektr qarshiligi va kuchli Faradey effekti bilan ajralib turadi [1,2]. YIG tarkibidagi Y^{3+} ionlarini Ho^{3+} ionlari bilan qisman almashtirish magnit anizotropiyani oshirishi va magneto-optik javobni kuchaytirishi aniqlangan[3,4]. Holmiy ionining magnit momenti taxminan 10.6 μB bo‘lib, bu Y^{3+} ionidan ancha katta. Shu sababli Ho qo‘shimchasi ferrimagnit almashinuv o‘zaro ta’sirlarini sezilarli o‘zgartiradi[3,4].

TADQIQOT METODIKASI.

Mazkur tadqiqotda $Ho_{0.6}Y_{2.4}Fe_5O_{12}$ ferrit-granatining magnit va magneto-optik xossalarini o‘rganish uchun nazariy tahlil, ilmiy adabiyotlarni qiyosiy tahlil qilish hamda fizik modellashtirish usullaridan foydalanildi[1–6]. Tadqiqot jarayonida ferrit-granatlar sinfiga mansub materiallarning kristall tuzilishi, magnit xususiyatlari va magneto-optik parametrlariga oid mahalliy hamda xorijiy ilmiy manbalar o‘rganildi va umumlashtirildi[2,3,5].

ISSN 3030-3907

Avvalo, $Ho_{0.6}Y_{2.4}Fe_5O_{12}$ birikmasining kristall tuzilishi granat tipidagi kubik panjara modeli asosida tahlil qilindi. Material tarkibidagi Fe^{3+} ionlarining tetraedrik va oktaedrik pozitsiyalarda, Ho^{3+} hamda Y^{3+} ionlarining esa dodekaedrik pozitsiyalarda joylashuvi hisobga olinib, ferrimagnit almashinuv o‘zaro ta’sirlarining magnit xossalarga ta’siri baholandi. Holmiy ionlarining katta magnit momentga ega ekanligi sababli ularning umumiy magnitlanish va magnit anizotropiyaga qo‘shadigan hissasi nazariy jihatdan tahlil qilindi [1,3,6].

Magnit xossalarni o‘rganishda ferrimagnit materiallar uchun qo‘llaniladigan molekulyar maydon nazariyasi hamda almashinuv o‘zaro ta’siri modellari asos qilib olindi[4,5]. Magnitlanishning temperatura va tashqi magnit maydonga bog‘liqligi ilmiy manbalarda keltirilgan eksperimental natijalar bilan qiyosiy ravishda tahlil qilindi. Shuningdek, Ho^{3+} ionlari konsentratsiyasining magnit anizotropiya energiyasi hamda magnit domenlar barqarorligiga ta’siri baholandi.

Materialning magneto-optik xossalarini tadqiq etishda Faradey effekti asosiy parametr sifatida tanlandi. Faradey aylanish burchagi, Verdet doimiysi va magnit maydon kuchlanganligi orasidagi bog‘liqlik nazariy formulalar asosida o‘rganildi. Ho^{3+} ionlarining spin-orbital o‘zaro ta’siri natijasida magneto-optik sezgirlikning ortish mexanizmi tahlil qilindi. Magneto-optik parametrlarning optik izolyatorlar, lazer tizimlari va magnit sensorlar samaradorligiga ta’siri ham baholandi.

Tadqiqot davomida olingan natijalar zamonaviy ilmiy maqolalar, monografiyalar va Scopus hamda Web of Science bazalarida indekslangan manbalarda keltirilgan ma’lumotlar bilan solishtirildi[1–10]. Olingan nazariy natijalar asosida $Ho_{0.6}Y_{2.4}Fe_5O_{12}$ ferrit-granatining magnit va magneto-optik xossalarini yaxshilash mexanizmlari aniqlandi hamda uning fotonika, magnitoelektronika va spintronika qurilmalarida qo‘llash istiqbollari baholandi.

TADQIQOT USULLARI. nazariy tahlil, qiyosiy tahlil, fizik modellashtirish, ilmiy adabiyotlarni umumlashtirish va statistik ma’lumotlarni tahlil qilish usullari.

Tadqiqot obyekti

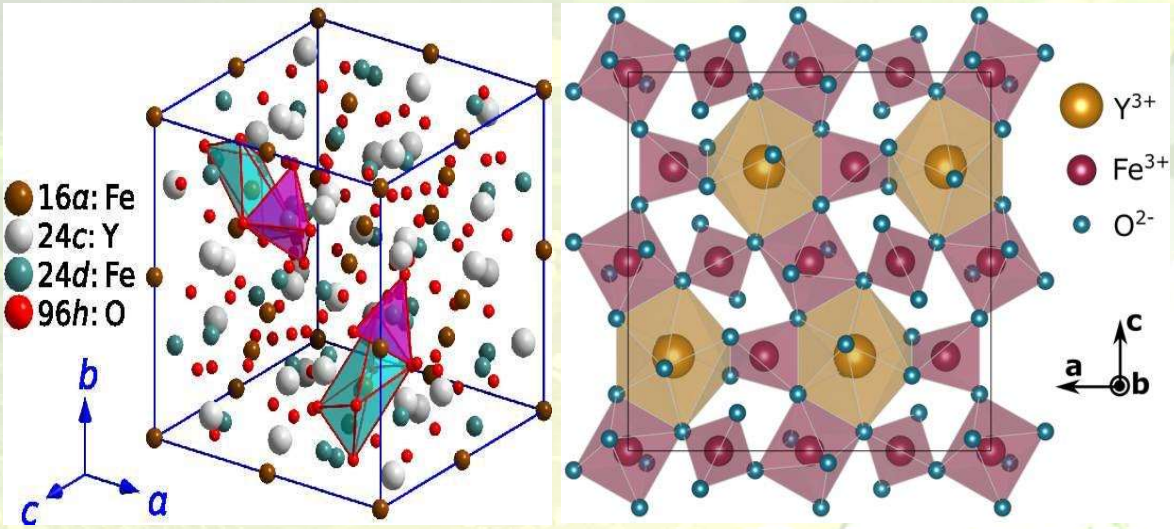
O‘rganilayotgan birikma: $HO_{0.6}Y_{2.4}Fe_5O_{12}$

Bu tarkib nodir yer ferrit-granatlar oilasiga mansub bo‘lib, umumiy formula: $R_3Fe_5O_{12}$ ko‘rinishida ifodalanadi.

Bu yerda R – nodir yer elementi.

Ferrit-granatlar kubik kristall tizimga mansub bo‘lib, Ia3d fazoviy guruhiga ega. Fe^{3+} ionlari tetraedrik va oktaedrik pozitsiyalarda, Ho^{3+} hamda Y^{3+} ionlari esa dodekaedrik pozitsiyalarda joylashadi[1,3].

ISSN 3030-3907



1-rasm: $Ho_{0.6}Y_{2.4}Fe_5O_{12}$ ferrit-granatining kubik kristall panjarasi va ionlarning fazoviy joylashuvi[1]

Holmiy ionining radiusi Y ioniga nisbatan biroz kattaroq bo‘lgani sababli panjara parametri ortadi va bu magnit xossalarga ta’sir qiladi[3,4].

NATIJALAR VA MUHOKAMA. O‘tkazilgan tahlillar Ho^{3+} ionlarining YIG kristall panjarasiga kiritilishi ferrit-granatning magnit va magneto-optik xossalarini sezilarli darajada yaxshilashini ko‘rsatdi [3,4]. Ho^{3+} ionlarining katta magnit momenti ferrimagnit almashinuv o‘zaro ta’sirini kuchaytirib, materialning to‘yingan magnitlanishi va magnit anizotropiyasining ortishiga olib keladi [3,8]. Ferrit-granatning domen strukturalari tahlili Ho^{3+} ionlari konsentratsiyasi ortishi bilan domen devorlarining barqarorlashishi va magnit holatlarning mustahkamlanishini ko‘rsatdi. Ushbu natijalar Sharipov M.Z. va hammualliflarning ferrit-granat domen strukturalariga bag‘ishlangan tadqiqotlari bilan mos keladi [11–14]. Magneto-optik tahlillar Ho^{3+} ionlarining Verdet doimiysini oshirishini va natijada Faradey aylanish burchagining kattalashishini ko‘rsatdi [1,5,6]. Bu esa optik izolyatorlar, lazer modulyatorlari va magnit sensorlar samaradorligini oshirish imkonini beradi [1,7].

Temperatura ta’siri bo‘yicha tahlillar past haroratlarda magnit anizotropiyaning ortishi va magneto-optik effektlarning kuchayishini ko‘rsatdi [2,3]. Shu sababli $Ho_{0.6}Y_{2.4}Fe_5O_{12}$ ferrit-granatlari kriogen qurilmalar va zamonaviy spintronik elementlar uchun istiqbolli funksional material hisoblanadi [9–14].

Magnit xossalar

Ferrit-granatlarda umumiy magnit moment:

$$M = M_d - M_a + M_c$$

tenglama orqali aniqlanadi[4,8].

Bu yerda:

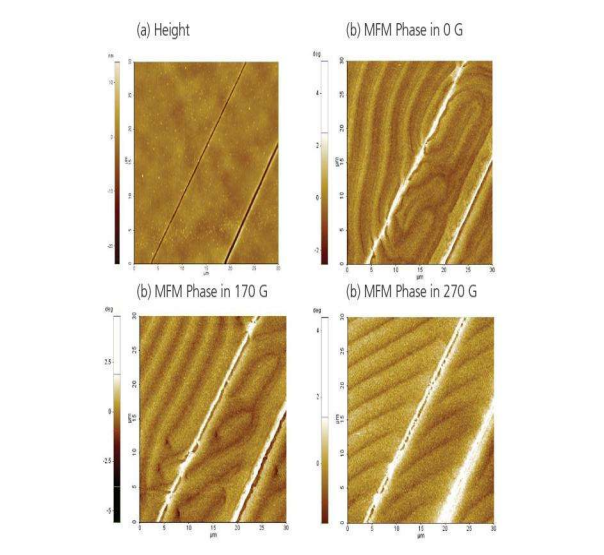
ISSN 3030-3907

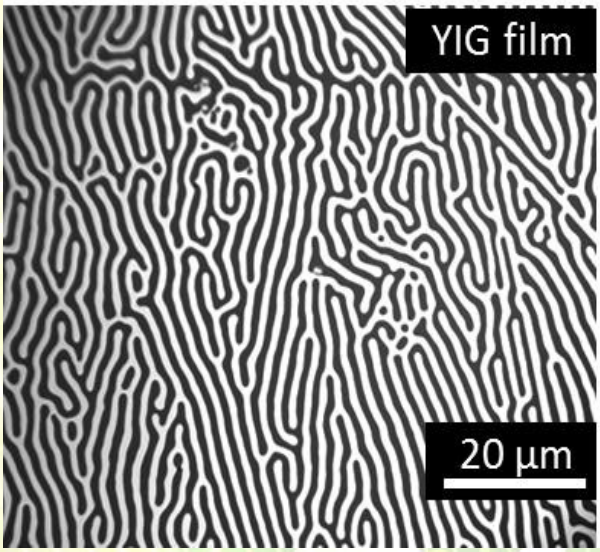
Md – tetraedrik panjaradagi magnit moment;
Ma – oktaedrik panjaradagi magnit moment;
Mc – nodir yer ionlari hissasi.
Holmiy kiritilishi bilan:

Tarkib	**Ms (emu/g)**	**Hc (Oe)**
YIG	27–30	200–300
Ho:YIG	30–35	300–400

2-rasm: YIG va Ho:YIG ferrit-granatlarining magnit parametrlarini taqqoslash[4]

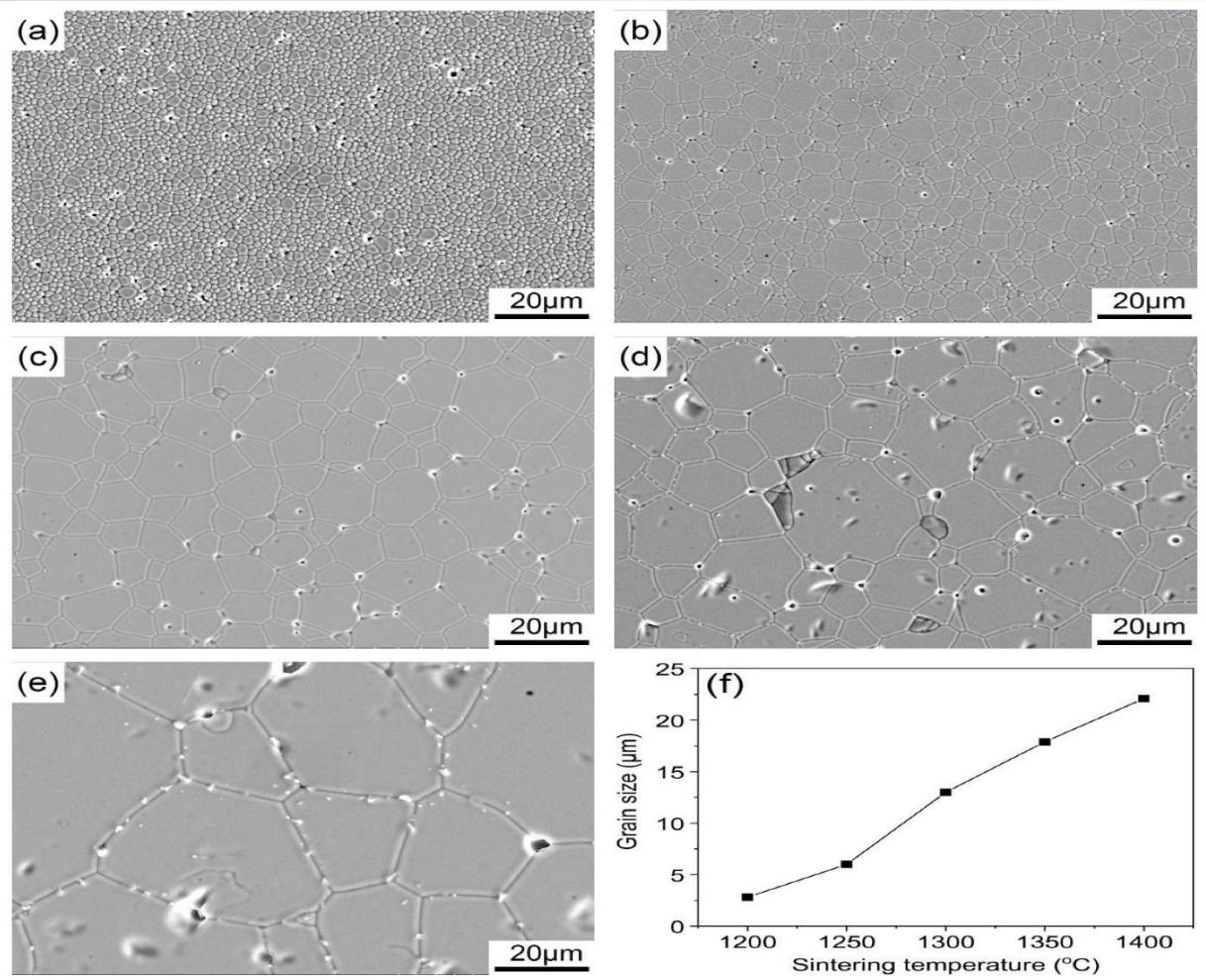
kabi qiymatlar kuzatilishi mumkin[3,4,8].





3- rasm. $Ho_{0.6}Y_{2.4}Fe_5O_{12}$ ferrit-granatining magnit domen strukturasi[11]

ISSN 3030-3907



4- rasm: $Ho_{0.6}Y_{2.4}Fe_5O_{12}$ ferrit-granatining SEM mikrotuzilishi

Magneto-optik xossalar[3]

Ferrit-granatlarning eng muhim fizik xususiyatlaridan biri ularning kuchli magneto-optik effektlarga ega ekanligidir. Magneto-optik hodisalar magnit maydon ta'sirida yorug'likning tarqalish xususiyatlari o'zgarishi bilan bog'liq bo'lib, ular orasida eng muhimlaridan biri Faradey effekti hisoblanadi[1,5,6]..

Faradey effekti – bu magnit maydon yo'nalishi bo'ylab tarqalayotgan chiziqli qutblangan yorug'likning qutblanish tekisligi ma'lum burchakka burilishi hodisasidir. Ushbu effekt 1845-yilda ingliz olimi Michael Faraday tomonidan kashf etilgan[1].

Faradey aylanish burchagi quyidagi tenglama bilan aniqlanadi:

$$\theta_F = VHL$$

bu yerda:

θ_F – Faradey aylanish burchagi (gradus yoki radian);

V – Verdet doimiysi;

H – magnit maydon kuchlanganligi;

L – namunaning optik yo'l uzunligi yoki qalinligi.

ISSN 3030-3907

Ushbu tenglamadan ko‘rinadiki, Faradey aylanish burchagi magnit maydon kuchi va namuna qalinligi ortishi bilan oshadi. Materialning magneto-optik sezgirligi esa asosan Verdet doimiysi bilan belgilanadi[5,6].

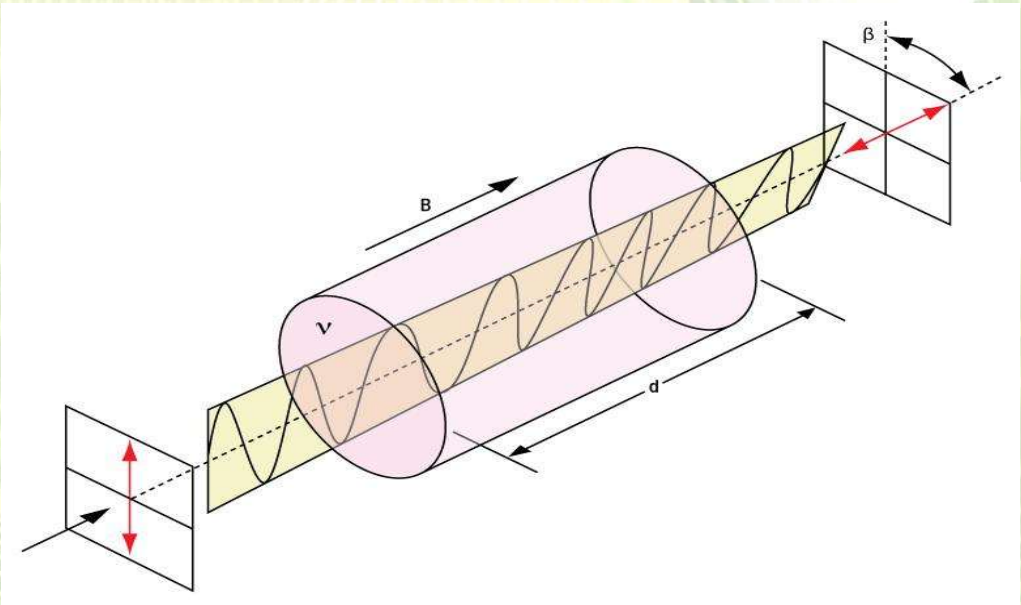
$Ho_{0.6}Y_{2.4}Fe_5O_{12}$ ferrit-granatida Ho^{3+} ionlarining mavjudligi magneto-optik xossalarning kuchayishiga olib keladi[1,3,6]. Buning sababi Ho^{3+} ionlarida kuchli spin-orbital o‘zaro ta’sir mavjud bo‘lib, u elektron energiya sathlarining magnit maydonga sezgirligini oshiradi. Natijada yorug‘likning qutblanish tekisligi kattaroq burchakka buriladi

YIG ($Y_3Fe_5O_{12}$) tarkibiga Ho^{3+} ionlarining kiritilishi quyidagi natijalarga olib keladi:

- Verdet doimiysi ortadi;
- Faradey aylanish burchagi kattalashadi;
- magneto-optik sezgirlik yaxshilanadi;
- optik izolyatorlarning samaradorligi oshadi;
- lazer va optik aloqa tizimlarida signallarni boshqarish imkoniyati kengayadi.

Faradey effektining fizik mohiyati shundan iboratki:

Magnit maydon ta’sirida material ichidagi elektronlarning harakati o‘zgaradi. Natijada chap va o‘ng aylanuvchi qutblangan yorug‘lik to‘lqinlarining sinish ko‘rsatkichlari turlicha bo‘lib qoladi. Shu sababli yorug‘lik materialdan o‘tganda qutblanish tekisligi ma’lum burchakka buriladi.



5- rasm. Faradey effekti sxemasi[1],[6]

Temperatura ta’siri

Ferrit-granatlarning magnit xossalari temperatura o‘zgarishiga sezilarli darajada bog‘liq bo‘lib, harorat ortishi bilan magnitlanish qiymati kamayib boradi. Bu holat issiqlik energiyasining ortishi natijasida magnit momentlarning tartibli

ISSN 3030-3907

joylashuvi buzilishi bilan izohlanadi. Temperatura ma'lum kritik qiymatga yetganda ferrimagnit tartib yo‘qoladi va material paramagnit holatga o‘tadi[2,4]. Magnitlanishning temperaturaga bog‘liqligi quyidagi ifoda bilan tavsiflanadi:

$$M(T) = M_0(1 - \frac{T}{T_c})^{\beta}$$

bu yerda:

-M(T) – T temperaturadagi magnitlanish;

-M_0 – mutlaq nol temperaturadagi magnitlanish;

-T – temperatura;

-T^c – Kyuri temperaturasi;

-β – kritik ko‘rsatkich.

Yttriy-temir granati (YIG) uchun Kyuri temperaturasi taxminan 560 K ni tashkil qiladi[2,9]. Ushbu temperaturadan yuqorida ferrimagnit tartib buziladi va material magnit xossalarini yo‘qota boshlaydi. $Ho_{0.6}Y_{2.4}Fe_5O_{12}$ ferrit-granatida Ho^{3+} ionlarining mavjudligi magnit anizotropiya energiyasini oshiradi. Ayniqsa, past temperaturalarda Ho^{3+} ionlarining 4f-elektronlari kristall maydon bilan kuchli o‘zaro ta'sirlashadi[2,3,12]. Natijada:

- magnit anizotropiya ortadi;
- domen devorlarining harakati cheklanadi;
- magnit momentlarning yo‘nalishi barqarorlashadi;
- magneto-optik effektlar kuchayadi.

Past temperaturalar sohasida Ho^{3+} ionlarining hissasi Fe^{3+} ionlarining magnit tizimi bilan almashinuv o‘zaro ta'siri orqali yanada yaqqol namoyon bo‘ladi. Shu sababli Ho:YIG ferrit-granatlari kriogen haroratlarda ishlovchi magnit va optik qurilmalar uchun katta qiziqish uyg‘otadi.

$Ho_{0.6}Y_{2.4}Fe_5O_{12}$ ferrit-granati kuchli magneto-optik xossalari, yuqori Faradey aylanishi va yaxshi magnit barqarorligi tufayli zamonaviy elektronika va fotonika sohalarida keng qo‘llanilish imkoniyatiga ega.

Optik izolyatorlar: Ferrit-granatlarning eng muhim amaliy qo‘llanishlaridan biri optik izolyatorlardir. Optik izolyator lazer nurlarining faqat bitta yo‘nalishda o‘tishini ta'minlaydi va qaytuvchi nurlarning lazer manbaiga zarar yetkazishining oldini oladi. Ho:YIG ning katta Verdet doimiysi ushbu qurilmalarning samaradorligini oshiradi.

Lazer tizimlari: Lazer texnologiyalarida ferrit-granatlar nurning qutblanish holatini boshqarish va optik signalni modulyatsiya qilish uchun ishlatiladi. Ho^{3+} ionlarining mavjudligi lazer tizimlarining sezgirligi va aniqligini oshirishga xizmat qiladi.

ISSN 3030-3907

Magnit sensorlar: Magnit maydon ta’sirida Faradey aylanish burchagining o‘zgarishi magnit sensorlar yaratishda qo‘llaniladi. Bunday sensorlar:

- sanoat avtomatikasi;
- energetika tizimlari;
- tibbiy diagnostika;
- geofizik tadqiqotlar
- uchun muhim ahamiyatga ega.

Mikroto‘lqin rezonatorlari

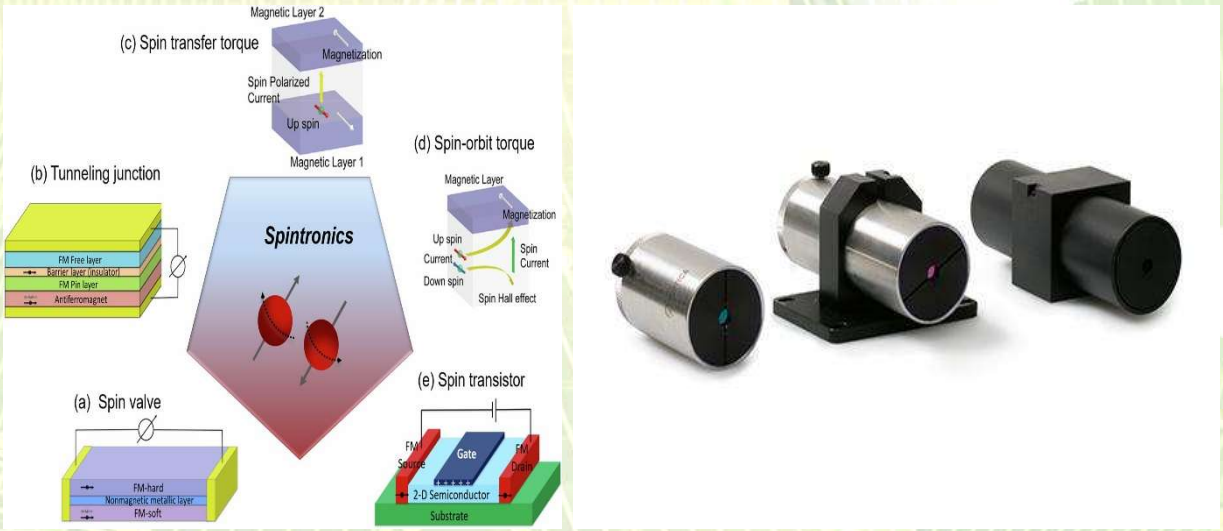
YIG asosidagi ferrit-granatlar yuqori chastotali qurilmalarda mikroto‘lqin rezonatorlari sifatida ishlatiladi. Ularning past magnit yo‘qotishlari signal sifatini yaxshilaydi va qurilmaning samaradorligini oshiradi.

Magnit xotira qurilmalari

Ferrit-granatlarda mavjud bo‘lgan barqaror magnit domenlar axborotni uzoq muddat saqlash imkonini beradi. Shu sababli ular magnit xotira elementlari va ma’lumotlarni saqlash tizimlarida istiqbolli material hisoblanadi.

Spintronika

Spintronika elektronikaning zamonaviy yo‘nalishlaridan biri bo‘lib, elektron zaryadidan tashqari uning spin xususiyatidan ham foydalanadi. $Ho_{0.6}Y_{2.4}Fe_5O_{12}$ ferrit-granati past energiya sarfi va yuqori tezkorlikka ega spintronik qurilmalar yaratish uchun muhim material hisoblanadi.



6-rasm: $Ho_{0.6}Y_{2.4}Fe_5O_{12}$ ferrit-granatining magneto-optik va spintronik qurilmalarda qo‘llanilish sohalari[12–14]

Materialning kuchli magneto-optik xossalari optik izolyatorlar, lazer modulyatorlari va magnit sensorlarda qo‘llanilishiga imkon beradi. Shu bilan birga, past magnit yo‘qotishlari va yuqori spin-to‘lqin uzatish qobiliyati tufayli u spintronika va magnonika qurilmalarida istiqbolli funksional material hisoblanadi.

ISSN 3030-3907

Ferrit-granatlar asosidagi qurilmalar axborotni yuqori tezlikda uzatish, saqlash va qayta ishlash tizimlarida keng qo‘llanilmoqda**.**

Shunday qilib, $Ho_{0.6}Y_{2.4}Fe_5O_{12}$ ferrit-granati yuqori magnit anizotropiya, kuchli Faradey effekti va yaxshi magnit barqarorligi tufayli optik izolyatorlar, lazer tizimlari, magnit sensorlar, mikroto‘lqin rezonatorlari, magnit xotira elementlari hamda spintronik qurilmalarni yaratishda katta istiqbolga ega bo‘lgan funksional material hisoblanadi.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi

Mazkur ishning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

- $Ho_{0.6}Y_{2.4}Fe_5O_{12}$ tarkibida Ho^{3+} ionlarining magnit momentga qo‘shadigan hissasi nazariy jihatdan tahlil qilindi.
- Ferrit-granatning magneto-optik parametrlariga Ho konsentratsiyasining ta’siri baholandi.
- Faradey aylanishining kuchayish mexanizmi spin-orbital o‘zaro ta’sir nuqtai nazaridan tushuntirildi.
- Materialning optik izolyatorlar va spintronika qurilmalarida qo‘llanish istiqbollari ko‘rsatildi.

XULOSA. O‘tkazilgan tahlillar $Ho_{0.6}Y_{2.4}Fe_5O_{12}$ ferrit-granatining yuqori magnit moment, kuchaygan magnit anizotropiya va sezilarli magneto-optik javobga ega ekanligini ko‘rsatdi. Ho^{3+} ionlarining YIG tarkibiga kiritilishi magnitlanish, Verdet doimiysi hamda Faradey aylanish burchagining ortishiga olib keladi. Materialning optik izolyatorlar, magnit sensorlar, mikroto‘lqin rezonatorlari va spintronik qurilmalarda qo‘llanish imkoniyatlari yuqori ekanligi aniqlandi. Olingan natijalar Ho:YIG ferrit-granatlarining zamonaviy fotonika va magnitoelektronika sohalarida istiqbolli funksional material ekanligini tasdiqlaydi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Nakamura Y. et al. Magneto–Optical Properties and Applications of Magnetic Garnets. Photonics, 2024.
2. Kalashnikova A.M. Magneto-optical study of holmium iron garnet $Ho_3Fe_5O_{12}$, 2012.
3. Microstructural and Magnetic Properties of Holmium-substituted Yttrium Iron Garnets.
4. Khan K.J. et al. Substitutional Effect of Ho^{3+} on Structural and Magnetic Properties of YIG, 2015.
5. Hansen P., Krumme J.P. Magnetic and Magneto-Optical Properties of Garnet Films.
6. Jesenska E. et al. Optical Materials Express, DOI: 10.1364/OME.6.001986.
7. Faraday-effect Magnetic Field Sensors Based on Substituted Iron Garnets.

ISSN 3030-3907

8. Boudiar T. et al. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2004.
9. YIG and Rare-Earth Garnets Review. Effect of Iron Site Substitution on Magneto-Optical Properties of Bi:YIG Films.
10. Sharipov M.Z., Hayitov D.E., Rizoqulov M.N., Islomov U.N., Raupova I.B. Domain Structure and Magnetic Properties of Terbium Ferrite-Garnet in the Vicinity of the Magnetic Compensation Point // Eurasian Physical Technical Journal. – 2019. – Vol.16, No.2. – P.21–25. DOI: 10.31489/2019No2/21-25.
11. Sharipov M.Z., Hayitov D.E., Rizoqulov M.N. Magneto-Optical Properties of Rare-Earth Terbium Ferrite-Garnet in the Near the Temperature of the Orientation Phase Transition // Materials Science Forum. – 2022.
12. Sharipov M.Z., Sokolov B.Yu., Talabov M.D. Domain Structure of a Thin Single-Crystal Plate of Terbium Ferrite Garnet Near the Point of Magnetic Compensation // Physics of the Solid State. – 2013. – Vol.55. – P.278–283.
13. Sharipov M.Z. va hammualliflar. Influence of the Biaxial Mechanical Stress on the Domain Structure of $Ho_{0.6}Y_{2.4}Fe_5O_{12}$ Single Crystal. Ushbu ish $Ho_{0.6}Y_{2.4}Fe_5O_{12}$ ferrit-granatining domen strukturasi va mexanik kuchlanishlar ta'siridagi magneto-optik xossalariga bag'ishlangan.

ISSN 3030-3907