



MAGNETO-OPTICAL INVESTIGATION OF THE FARADAY EFFECT IN RARE-EARTH FERRITE-GARNETS

M.Z.Sharipov

Researcher

Bukhara Engineering and Technology Institute

Bukhara, Uzbekistan

Z.Kh. Fayziyeva

Researcher

Bukhara State Medical Institute

Bukhara, Uzbekistan

ABOUT ARTICLE

Key words: ferrite garnets, crystals, epitaxial films, plane-parallel plates

Received: 01.10.22

Accepted: 03.10.22

Published: 05.10.22

Abstract: This article describes a magneto-optical study of the Faraday effect in rare-earth ferrite garnets. The Faraday effect is an odd magneto-optical effect in terms of magnetization, that is, the sign of the Faraday rotation depends on whether the direction of the light propagating in the crystal coincides with the direction of the magnetization vector M , or is antiparallel to the vector M . This circumstance underlies the well-known method of visual observation of magnetic domains in rare-earth ferrites - garnets.

NOYOB TUPROQLI FERRIT-GRANATLARDA FARADAY EFYEKTINING MAGNIT-OPTIK TEKSHIRUVI

M.Z.Sharipov

Tadqiqotchi

Buxoro muhandislik-texnologiya instituti

Buxoro, O'zbekiston

Z.X. Fayziyeva

Tadqiqotchi

Buxoro davlat tibbiyot instituti

Buxoro, O'zbekiston

MAQOLA HAQIDA

Kalit so'zlar: ferrit granatlar, kristallar, epitaksiyal plyonkalar, tekis-parallel plitalar

Annotasiya: Ushbu maqolada noyob yer ferrit granatlaridagi Faraday effektining

magnit-optik tadqiqi tasvirlangan. Faraday effekti magnitlanish nuqtai nazaridan g'alati magnit-optik effekt bo'lib, ya'ni Faraday aylanish belgisi kristalda tarqalayotgan yorug'lik yo'nalishi M magnitlanish vektori yo'nalishiga to'g'ri kelishiga yoki unga antiparallel bo'lishiga bog'liq. vektor M . Bu holat noyob yer ferritlari - granatalarda magnit domenlarini vizual kuzatishning taniqli usuli asosida yotadi.

МАГНИТООПТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ФАРАДЕЯ В РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ФЕРРИТАХ-ГРАНАТАХ

М.З.Шаринов

Исследователь

Бухарский инженерно-технологический институт

Бухара, Узбекистан

З.Х. Файзиева

Исследователь

Бухарский государственный медицинский институт

Бухара, Узбекистан

О СТАТЬЕ

Ключевые слова: ферриты-гранаты, кристаллы, этипаксиальные пленки, плоскопараллельные пластинки

Аннотация: В данной статье идёт описание магнитооптического исследования эффекта фарадея в редкоземельных ферритах-гранатах. Эффект Фарадея нечетный по намагниченности магнитооптический эффект, то есть знак фарадеевского вращения зависит от того, совпадает направление распространяющегося в кристалле света с направлением вектора намагниченности M , или антипараллельно вектору M . Это обстоятельство лежит в основе хорошо известного метода визуального наблюдения магнитных доменов в редкоземельных ферритах-гранатах.

ВВЕДЕНИЕ

Редкоземельные ферриты-гранаты – кристаллы черного цвета, то есть не прозрачны для света видимого диапазона. Поэтому при оптических и магнитооптических исследованиях редкоземельных ферритов-гранатов в видимом диапазоне длин волн «на просвет» используются либо их этипаксиальные пленки, либо образцы в виде плоскопараллельных пластинок толщиной не более 100 мкм.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Беспримесные монокристаллы редкоземельных ферритов-гранатов в области длин волн $1 \div 6$ мкм имеют окно прозрачности, где коэффициент оптического поглощения α очень мал ($< 0,1 \text{ см}^{-1}$) [1]. Однако в этом интервале могут присутствовать несколько узких пиков поглощения, связанных с электронными переходами в ионах R^{3+} в c – подрешетке (исключение составляют ионы Lu^{3+} , Y^{3+} , Gd^{3+} и La^{3+}). В окне прозрачности поглощение определяется примесями и разного рода несовершенствами образцов. Для света с длинами волн короче 1 мкм поглощение в редкоземельных ферритах-гранатах обусловлено электродипольными переходами в ионах железа. В спектральной области $10 \div 100$ мкм поглощение этих кристаллов весьма интенсивно и связано с колебательным спектром молекул. Для длин волн более 100 мкм вплоть до СВЧ диапазона редкоземельные ферриты-гранаты обладают высокой прозрачностью, а уровень поглощения в них определяется дефектами кристаллической решетки. Однако для задач прикладной магнитооптики основной интерес представляют видимая и ближняя ИК области спектра.

Спектры поглощения редкоземельных ферритов-гранатов в видимом и ближнем ИК диапазоне определяются суперпозицией вкладов от внутриионных электродипольных переходов в Fe^{3+} в кристаллическом поле с типичной силой осциллятора $f \approx 10^{-5}$ и значительно более интенсивных переходов межионного типа с обменом заряда в области выше 20000 см^{-1} с типичной силой осциллятора $f \approx 10^{-4}$ [1]. Тот факт, что запрещенные по спину и четности переходы ионов Fe^{3+} в видимой области спектра имеют интенсивность $10^{-4} \div 10^{-5}$ вместо 10^{-7} , как этого требует теория, объясняется существованием кооперативного эффекта спаренных спиновых комплексов, который снимает запрет по спину для одноионных переходов типа ${}^6A_1 \rightarrow {}^4T_1$ [1,2].

Внутриподрешеточные парные переходы в ионах Fe^{3+} и переходы с переносом заряда ответственны за оптическое поглощение в диапазоне длин волн короче 0,45 мкм [1]. В видимом диапазоне доминирующий вклад в коэффициент поглощения α вносят два перехода в кристаллическом поле a – и d – подрешеток.

Поскольку редкоземельные ферриты-гранаты являются трехподрешеточными ферримагнетиками, фарадеевское вращение в них формируют вклады от каждой магнитной подрешетки. В настоящее время принято считать, что эффект Фарадея в этих кристаллах определяется аддитивной суммой вкладов различных магнитных подрешеток и может быть представлен в виде [3-5]

$$\theta_F = \pm (\theta_{Fe} \mp \theta_R). \quad (1)$$

Здесь θ_R – фарадеевское вращение, обусловленное редкоземельной подрешеткой, которое может быть представлено как [3-5]

$$\theta_R = (B M_R^0 + D M_R^{VV}) \omega^2 (\omega_0^2 - \omega^2)^{-1}, \quad (2)$$

где первое слагаемое описывает «парамагнитный» вклад, а второе – вклад «смешивания», ω – частота падающего света, ω_0 – эффективная частота оптических переходов в редкоземельном ионе, определяющая наблюдаемый эффект Фарадея, M_R^0 и M_R^{VV} – соответственно магнитный момент, связанный с различной заселенностью подуровней основного мультиплета, и ванн-флековский вклад в магнитный момент, B и D – коэффициенты, определяющие магнитооптическую активность редкоземельного иона;

$$\theta_{Fe} = (C_a M_a - C_d M_d),$$

– фарадеевское вращение железных подрешеток, C_a и C_d – зависящие от частоты падающего света коэффициенты, характеризующие магнитооптическую активность соответственно a – и d – подрешеток железа, а M_a и M_d – магнитные моменты этих подрешеток [3].

Выражение (1) справедливо в магнитных полях, больших поля насыщения, когда магнитные моменты подрешеток коллинеарны направлению внешнего поля $\mathbf{H}$. Верхние знаки в (1) относятся к области температур ниже, а нижние – выше температуры магнитной компенсации T_c (для ферритов-гранатов с тяжелыми редкоземельными ионами). Эти знаки отражают ориентацию магнитных моментов подрешеток относительно направления вектора $\mathbf{H}$. Таким образом, смена знака эффекта Фарадея при переходе через точку магнитной компенсации вызывается тем, что выше T_c по направлению поля ориентируется вектор $\mathbf{M}_d$, а ниже T_c – вектор $\mathbf{M}_a$. Поскольку редкоземельная подрешетка антиферромагнитно связана с тетраэдрической d – подрешеткой железа, то направление ее магнитного момента $\mathbf{M}_R$ также изменяется при переходе через точку магнитной компенсации. Отметим, что в области максимальной оптической прозрачности фарадеевское вращение для разных редкоземельных ферритов-гранатов достигает величины $\sim 500 \div 2000$ %/см [6], чем и определяется широкое использование этих ферромагнетиков (в основном в виде эпитаксиальных пленок) в качестве материала элементной базы различных приборов прикладной магнитооптики [7].

Удельное фарадеевское вращение θ_{Fe} в случае электрического дипольного перехода для изолированного иона железа в области, удаленной от пиков поглощения, может быть выражено как [8-9]

$$\theta_{Fe} = \pi(n^2 + 2)^2 f(\omega) \Delta\omega_B / 9cnh\omega_B, \quad (3)$$

где n – показатель преломления, c – скорость света, h – толщина образца, ω_B – энергия перехода между основным и возбужденным состояниями, $f(\omega)$ – контур линии поглощения с центром при ω_B , $\Delta\omega_B$ – разность частот переходов для право- и левополяризованного по

кругу света, которая пропорциональна расщеплению возбужденных состояний в соответствии с величиной эффективного спин-орбитального взаимодействия.

Как видно из (2) и (3), зависимость эффекта Фарадея в редкоземельных ферритах-гранатах от частоты падающего света, внешнего магнитного поля и температуры определяется соответствующими зависимостями вкладов редкоземельных ионов и ионов Fe^{3+} . Причем, как выяснилось в результате многочисленных экспериментальных исследований, дисперсия эффекта Фарадея в ферритах-гранатах определяется в основном частотной зависимостью вклада железных подрешеток θ_{Fe} , тогда как зависимость от T и H связана, главным образом, с полевой и температурной зависимостями вклада θ_{R} .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение отметим, что эффект Фарадея нечетный по намагниченности магнитооптический эффект, то есть знак фарадеевского вращения зависит от того, совпадает направление распространяющегося в кристалле света с направлением вектора намагниченности $\mathbf{M}$, или антипараллельно вектору $\mathbf{M}$. Это обстоятельство лежит в основе хорошо известного метода визуального наблюдения магнитных доменов в редкоземельных ферритах-гранатах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Atoeva M. F., Fayziyeva Z. H. Increasing The Efficiency Of Learning Electrodynamics Section Of The Physics Course //The American Journal of Applied sciences. – 2021. – Т. 3. – №. 04. – С. 311-317.
2. Sharipov M. Z. Magneto-Optik Effektlarning Mikroskopik Modellari //Zamonaviy dunyoda innovatsion tadqiqotlar: Nazariya va amaliyot. – 2022. – Т. 1. – №. 11. – С. 72-79.
3. Chorlieva M. A. SOCIO-POLITICAL, CULTURAL AND SPIRITUAL LIFE OF CENTRAL ASIA AND IRAN IN THE X-XI CENTURIES //Journal of Social Research in Uzbekistan. – 2022. – Т. 2. – №. 01. – С. 52-63.
4. 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. – Trans Tech Publications Ltd, 2022. – Т. 1049. – С. 186-191.
5. Sharipov M. Z., Mirzhonova N. N., Hayitov D. E. Effect of inhomogeneous radially directed mechanical stresses on the domain structure of a FeBO_3 single crystal //Eurasian Physical Technical Journal. – 2021. – Т. 16. – №. 1 (31). – С. 35-41.
6. Akhmedova Z. A. Socio-Philosophical Views Of Ahmad Donish And His Role In The Formation Of National Ideology //Journal of Positive School Psychology. – 2022. – Т. 6. – №. 8. – С. 2858-2865.

7. Hirano M., Yoshino I., Okuda T., Tsushima T. Observation of a fine structure in absorption spectra of rare – earth garnets. // J. Phys. Soc. Japan. – 1973. – V.35. – № 1. – P. 299 – 305.
8. Wood D.L., Remeika J.P. Effect of impurities on optical properties of yttrium iron garnet. // J. Appl. Phys. – 1967. – V.38. – № 3. – P. 1038 – 1045.
9. Мукимов К.М., Соколов Б.Ю. Магнитооптика прозрачных редкоземельных диэлектриков. – Ташкент: Фан, – 1999. – 206 с.
10. Звездин А.К., Котов В.А. Магнитооптика тонких пленок. – М: Наука, – 1988. – 129 с.
11. Малаховский А.В. Избранные вопросы оптики и магнитооптики соединений переходных элементов. – Новосибирск: Наука, – 1992. – 222 с.
12. Боков В.А., Волков В.В., Марышко М., Петриченко Н.Л. Связь между релаксационными потерями и движением доменных границ и при ферромагнитном резонансе в пленках гранатов. // ФТТ. – 1998. – Т.40. – В.8. – С.1519 –1523.
13. Звездин А.К., Матвеев В.М., Мухин А.А., Попов А.И. Редкоземельные ионы в магнитоупорядоченных кристаллах. – М: Наука, – 1985. – 295 с.
14. Филиппов Б.Н., Куприн Л.Г. Нелинейная динамика доменных стенок с вихревой внутренней структурой в магнитоодноосных пленках с плоскостной анизотропией. // ЖЭТФ. – 2002. – Т.121. – В.2. – С.372 –387.
15. Белов К.П. Редкоземельные магнетики и их применение. – М: Наука, – 1980. – 239 с.
16. B.Yu. Sokolov, M.Z. Sharipov, Influence of the biaxial mechanical stress on the domain structure of holmium yttrium garnet ferrite. Russian Physics Journal. 57. 8. (2014), 1001-1007
17. L.N. Niyazov, B.Yu. Sokolov, M.Z. Sharipov, Specific features of spontaneous reorientation of the magnetic moment a single-crystal thin plate of the iron garnet $Tb_{0.2}Y_{2.8}Fe_5O_{12}$, Physics of the Solid State. 54. 9. (2012), 1806-1812.
18. S.R. Boidedaev, D.R. Dzhuraev, B.Yu. Sokolov, M.Z. Sharipov, Magneto-optical method of investigation of the magnetic inhomogeneity of easy-plane antiferromagnets with a weak ferromagnetism, Optics and Spectroscopy (English translation of Optika i Spektroskopiya), 104(4), (2008), 604-609.
19. M.Z. Sharipov, D.R. Dzhuraev, B.Yu. Sokolov, M. Kurbanov. Modulated magnetic structure of on inhomogeneously stressed single crystal $FeBO_3$. Ukrainian Journal of Physics. 55. 6. (2010). 706-711.
20. M.Z. Sharipov, N.N. Mirzhonova, D.E. Hayitov. Effect of inhomogeneous radially directed mechanical stresses on the domain structure of a $FeBO_3$ single crystal. Eurasian Physical Technical Journal. 16. 1(31). (2019). 35-40.

21. M.Z. Sharipov, D.E. Hayitov, I.B. Raupova, M.I. Sadikova Influence of hexagonal symmetry stresses on domain structure and magnetization process of FeBO_3 single crystal. Eurasian Physical Technical Journal. 17. 1(33). (2020). 65-72.
22. Ж.Д Ашуров, И. Нуритдинов, С.Х.Умаров. Влияние температуры и примесей элементов I и IV групп на тензорезистивные свойства монокристаллов TlInSe_2 . //Перспективные материалы, 2011, -с. 11-14.
23. Z. H. Fayzieva. (2021). The Methodology Of Teaching Physics Electromagnetism Lectures. The American Journal of Applied Sciences, 3(01), 104-117.
24. M.F. Atoeva, Z. H. Fayzieva. (2021). Increasing The Efficiency Of Learning Electrodynamics Section Of The Physics Course"3(04), 311-317.