



КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД И АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РЯДА ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

М. Ф. Садыков

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

Резюме: Разработан комплексный метод и автоматизированная многофункциональная установка для исследования акустооптических, магнитоакустических и магнитооптических явлений в магнитных материалах, например: манганитах, магнетиках, ферроиках, высокотемпературных сверхпроводниках.

Ключевые слова: автоматизированная установка, комплексный метод, антиферромагнетик, магнитооптика, магнитоакустика.

DOI:10.30724/1998-9903-2018-20-11-12-118-126.

Для цитирования: Садыков М.Ф. Комплексный метод и автоматизированная многофункциональная установка для исследования ряда физических свойств перспективных материалов // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2018. Т. 20. № 11-12. С. 118-126. DOI:10.30724/1998-9903-2018-20-11-12-118-126.

COMPLEX METHOD AND AUTOMATED MULTIFUNCTIONAL INSTALLATION FOR RESEARCH THE PHYSICAL PROPERTIES OF PERSPECTIVE MATERIALS

M.F. Sadykov

Kazan State Power Engineering University, Russia, Kazan

Abstract. A complex method and an automated multifunctional installation have been developed for research acousto-optic, magnetoacoustic and magneto-optical phenomena in magnetic materials, for example, manganites, magnetic materials, ferroics, high-temperature superconductors.

Keywords: automated installation, complex method, antiferromagnetic, magneto optic, magnetoacoustic.

For citation: M.F. Sadykov. Complex method and automated multifunctional installation for research the physical properties of perspective materials. Proceedings of the higher educational institutions. ENERGY SECTOR PROBLEMS 2018. vol. 20. № 11-12. pp. 118-126. DOI:10.30724/1998-9903-2018-20-11-12-118-126.

Введение

На сегодняшний день в современных областях науки и техники благодаря большому объему информации эффективно используются автоматизированные установки и проводятся комплексные испытания образцов новых материалов и техники. К таким областям, в первую очередь, относятся: ядерная физика, физика твердого тела, радиофизика и электроника [1–3].

Для достижения высокого качества исследований необходима автоматизация контроля управления. Тем временем, автоматизация влияет на технологию процесса производства, на развитие более полной механизации, а также на усовершенствование оборудования [4].

Нами был разработан комплексный метод и создана автоматизированная многофункциональная установка (АМУ) для изучения магнитооптических, магнитоакустических, и акустооптических явлений в магнитных материалах, например: манганитах, магнетиках, ферроиках, высокотемпературных сверхпроводниках [5–6]. Разработанная и созданная АМУ на основе комплексного метода дает возможность одновременного экспериментального исследования магнитоупругих, акусто- и магнитооптических свойств магнитоупорядоченных материалов.

Разработка комплексного метода и АМУ

Учитывая физические особенности исследуемых материалов, разработанный комплексный метод предполагает наличие функциональных систем и блоков АМУ, показанных на рис.1.



Рис.1. Функциональная схема АМУ

После проведенного анализа в области методов и установок, созданных для комплексного исследования перспективных материалов электроники, нами была разработана полностью автоматизированная и многофункциональная экспериментальная установка с использованием современных измерительных и аппаратно-программных средств (рис. 2).

Комплексный метод состоит из следующих этапов:

1. Подготовка образцов и измерительной ячейки. На этом этапе производится обработка исследуемых кристаллов и определяются направления кристаллографических осей. Для возбуждения и приема ультразвука пьезопреобразователи присоединяются к граням кристалла на твердой склейке – поперечные акустические волны формируются и принимаются на заданных частотах и с известной поляризацией.

2. Предварительные эксперименты с целью оптимизации условий генерации и детектирования оптических и акустических пучков, приложения и других измерений магнитного поля. Проводимые на данном этапе работы позволяют соотнести известные

теоретические и экспериментальные результаты для исследуемого образца, позволяя скорректировать условия и геометрию проведения эксперимента в последующих исследованиях.

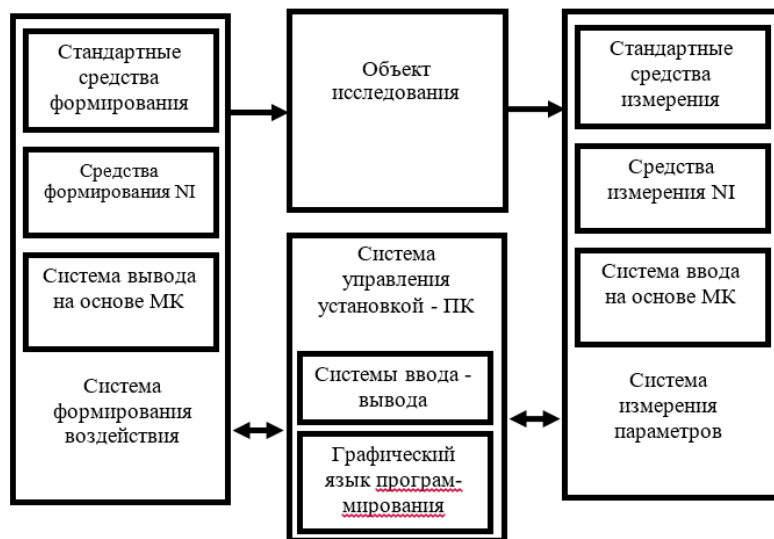


Рис. 2. Автоматизированная установка
Структурная блок-схема разработанной и созданной установки показана рис. 3 [7, 8].

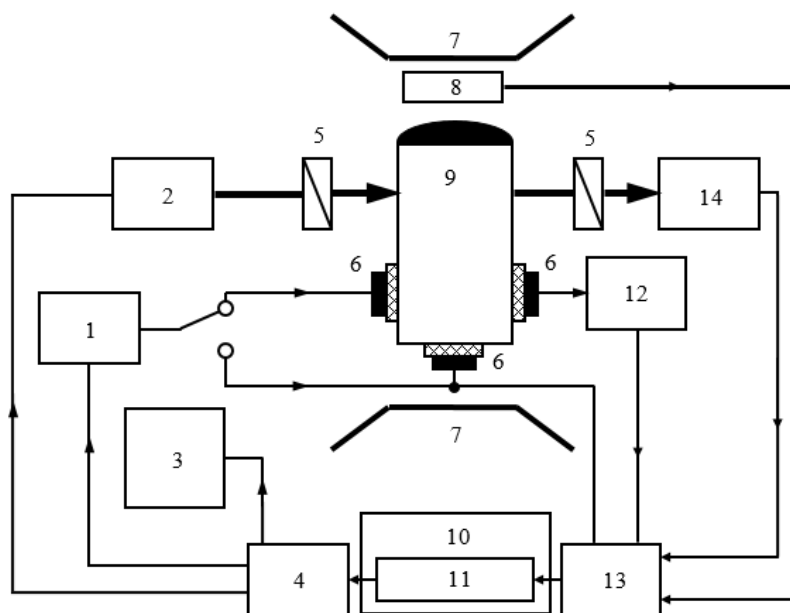


Рис. 3. Общая структура АМУ:
1 – ВЧ усилитель мощности; 2 – источник ИК-излучения; 3 – регулируемый источник питания магнита; 4 – цифро-аналоговый преобразователь; 5 – поляризаторы; 6 – источник и приемник акустических волн; 7 – полюса электромагнита; 8 – датчик магнитного поля; 9 – исследуемый материал; 10 – персональный компьютер; 11 – программный комплекс; 12 – супергетеродинный широкополосный приемник; 13 – аналого-цифровой преобразователь; 14 – приемник ИК-излучения

Использование аппаратных и программных средств компании *National Instruments* позволило реализовать управляющую часть АМУ по изучению магнитных, магнитоупругих, акустических, акустооптических и электрических свойств магнетиков, полупроводниковых и диэлектрических материалов. Установка с применением комплексного метода позволяет проводить исследования перечисленных свойств и особенностей, и в частности, дифракции света на акустической волне в условиях приложенного внешнего магнитного поля до $1,67 \cdot 10^6$ А/м.

С целью исследования упругих и магнитоупругих свойств образцов в АМУ имеется акустическая часть установки (рис. 4) [7, 9].

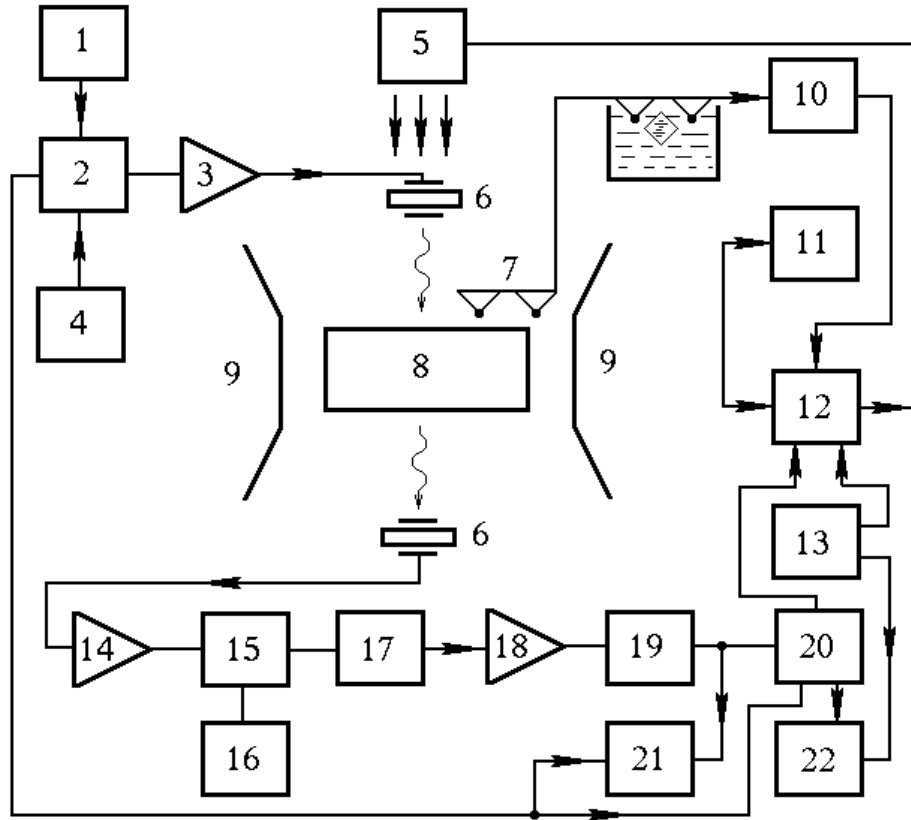


Рис.4. Акустическая часть АМУ:

1 – тактирующий генератор; 2 – модулятор; 3 – широкополосный усилитель; 4 – генератор несущей частоты; 5 – блок термостабилизации (азотная продувка); 6 – пьезопреобразователи LiNbO_3 X среза; 7 – термостолбик (последовательно соединенные термопары); 8 – исследуемый материал; 9 – полюса магнита; 10 – микровольтметры (В7–38); 11 – персональный компьютер; 12 – блок сопряжения; 13 – регулируемый источник питания магнита; 14 – регулируемый ВЧ усилитель; 15 – смеситель; 16 – гетеродин; 17 – ФНЧ; 18 – резонансный усилитель; 19 – детектор; 20 – стробоскопический вольтметр (В9–5); 21 – осциллограф; 22 – регистратор

Оптическая часть АМУ позволяет проводить исследования оптических и акустооптических свойств изучаемых материалов (рис. 3). Для проведения оптических экспериментов используется полупроводниковый лазер ИЛПН-1300-50М с длиной волны 1,35 мкм и мощностью 50 мВт. Регистрация прохождения через образец инфракрасного излучения производится с помощью оптического датчика (поз. 14 рис. 3).

Чувствительность АМУ при магнитоакустических измерениях равна 5 мкВ, а при акустооптических – 2 нВт. Температурная стабилизация установки позволяет поддерживать температуру исследуемых образцов в диапазоне температур от плюс 150 до минус 150°С с точностью $\pm 0,1^\circ\text{C}$.

Программный комплекс

Сбор, накопление, предварительная обработка и визуализация результатов исследований производится с помощью программного комплекса АМУ. Для этих целей были разработаны собственные алгоритмы обработки информации.

Программное обеспечение (ПО) после каждого проведенного исследования собирает результаты в массив данных и сохраняет их. Для того, чтобы проводить дальнейшую обработку, создана программа анализа и визуализации результатов исследований в виде трехмерной картины.

Лицевая панель ПО показана на рис. 5, 6. Полученные данные наблюдаются экспериментатором в режиме реального времени. Например, лицевая панель программного комплекса позволяет визуализировать графики измеряемых зависимостей [5].

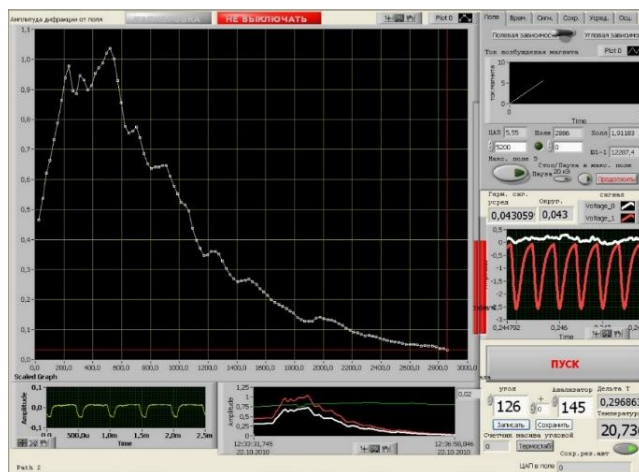


Рис. 5. Лицевая панель ПО в режиме полевой зависимости

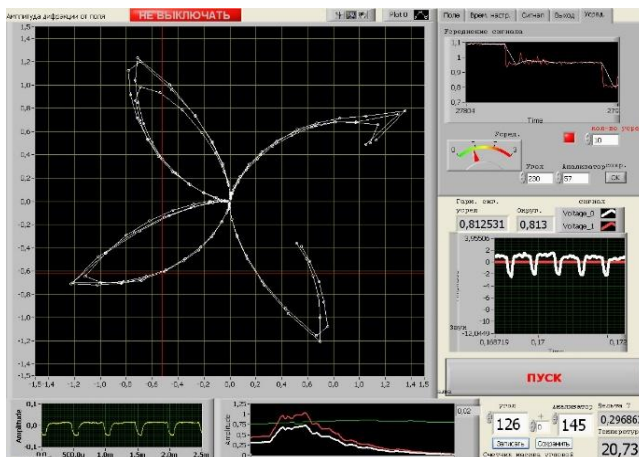


Рис.6. Лицевая панель ПО в режиме измерения угловых зависимостей

В АМУ реализовано 3 режима измерений:

1. Режимы полевых и температурных зависимостей. В этих режимах проводятся эксперименты с линейно уменьшающимися или увеличивающимися значениями магнитного поля или температуры.
2. Режим пространственных изменений каких-либо характеристик. В этом режиме производится сканирование по поверхности – эксперимент при фиксированных значениях различных внешних параметров.
3. Режим внешних воздействий.

Проведение исследований

Разработанный комплексный метод и АМУ позволили выполнять исследования магнитоакустических и магнито-акустооптических взаимодействий в антиферромагнетиках и проводить экспериментальное изучение эффектов, таких как: антиферромагнитная коническая рефракция, магнитоакустическое двулучепреломление, акустооптическая дифракция, фотопроводимость и другие фотостимулированные проявления явлений в сегнетоэлектриках, а также необычные диэлектрические и магнитные свойства манганитов.

На созданной АМУ проведены циклы экспериментальных исследований с использованием разработанных методик, в ходе которых были получены оригинальные результаты [10–19]:

- обнаруженная угловая зависимость эффекта двулучепреломления поперечной акустической волны в легкоплоскостном антиферромагнетике определяется распределением в плоскости базиса довольно слабых магнитных полей, что демонстрирует высокую чувствительность ультразвуковых методов и возможность их использования для изучения не только упругих и магнитоупругих, но и чисто магнитных свойств сильных магнетиков [10–14];
- обнаруженный экспериментально эффект модуляции оптических мод при определенных условиях может являться основой для оптических модуляторов с дополнительной степенью свободы и большим коэффициентом управления [15];
- в легкоплоскостном антиферромагнетике $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ обнаружено резкое изменение оптического двулучепреломления в интервале магнитного поля 237 – 553 кА/м [16,17];
- впервые обнаружено в гематите разделение входящего потока акустической энергии на два потока, соответствующих двум нормальным модам поперечных колебаний [18];
- в монокристаллах LSMO-0.1 и LSMO-0.11 наблюдалась гигантская диэлектрическая проницаемость при температурах ниже 350 К для $x = 0.1$ и ниже 310 К для $x = 0.11$. Особенности этих свойств можно объяснить появлением динамических неоднородностей на наномасштабе в предперкаляционном режиме зарядового и фазового разделения. Внешнее магнитное поле сильно влияет на зарядовое и фазовое разделение, что приводит к колоссальному магнетоемкостному эффекту [19].

Выводы

Разработана и создана АМУ, реализующая комплексный метод, объединяющий несколько наиболее распространённых методов изучения магнито- и электроупорядоченных материалов в едином комплексном методе. Установка позволяет регистрировать акустооптические и магнитоакустические эффекты и проводить исследования магнитооптических, акустооптических, магнитоакустических свойств магнитных материалов, фотоэлектрические эффекты в сегнетоэлектриках, индуцированные фазовые переходы в кристаллах. На АМУ были проведены исследования различных эффектов и взаимодействий в антиферромагнетиках, манганитах и релаксорах, в ходе которых были получены оригинальные результаты.

Литература

1. Козырев Ю.Г. Гибкие производственные системы. Справочник [Текст] : справочное издание. Москва : КНОРУС, 2017. 364 с.
2. Ларионов А.С. Система автоматизированной обработки информации для контроля производственных процессов // Молодежный научно-технический вестник. 2015. №4. С. 23.
3. Костюков В.Н. Автоматизированные системы контроля качества и диагностики / В.Н. Костюков, А.П. Наumenко. Омск: ОмГТУ, 2007. 89 с.
4. Оппенгейм А., Шафер Р. Цифровая обработка сигналов. Изд-е 2-е, испр. М.: «Техносфера», 2007. С.248.
5. Мигачев С.А., Садыков М.Ф., Иванов Д.А., Шакирзянов М.М. Экспериментальная установка для исследования акустооптических процессов в магнитных материалах // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2010. №5-6. С. 71–77.
6. Migachev S.A., Sadykov M.F., Ivanov D.A., Shakirzyanov M.M. An automated facility for studying acousto-optical phenomena in magnetic materials // Instruments and Experimental Techniques. – 2011. – V. 54. – №4. – P. 590–592.
7. Автоматизированная установка для исследования магнитного акустооптического взаимодействия в антиферромагнетиках: пат. 131227 Рос. Федерация: МПК G09B 23/18/ Садыков М.Ф., Мигачев С.А., Шакирзянов М.М., Иванов Д.А., Закиева Р.Р.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО "КГЭУ". – № 2013114625/28; заявл. 01.04.2013; опубл. 10.08.2013, Бюл. № 22 – 13 с.
8. Иванов, Д.А. Комплексный метод и автоматизированная сканирующая установка для исследования магнитоакустооптических взаимодействий: дисс. ... канд. техн. наук 05.11.13 [Текст]: Казань, 2012. — 116 с.
9. Садыков, М.Ф. Электрические, магнитооптические и магнитоакустические эффекты в магнитном полупроводнике α -Fe₂O₃. дисс. ... канд. физ.-мат. наук 01.04.10 [Текст]: Казань, 2002. — 106 с.
10. Мигачев С.А., Садыков М.Ф., Шакирзянов М.М. Поворот плоскости поляризации и линейное двупреломление звука в гематите ниже точки Морино // Физика твердого тела. 2006. Т. 48. № 4. С. 663–666.
11. Akhmadullin I.Sh., Migachev S.A., Sadykov M.F., Shakirzyanov M.M. Temperature Hysteresis and Anomalous Behavior of Sound velocity in Hematite near the Reorientation Phase Transition // The Physics of Metals and Metallography. 2005. Т. 100. № SUPPL. 1.
12. Migachev S.A., Sadykov M.F., Shakirzyanov M.M. Magnetic Sound Birefringence in the Easy-Axis Antiferromagnet α -Fe₂O₃ // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 2006. Т. 300. № 1. С. 462–464.
13. Ахмадуллин И.Ш., Мигачев С.А., Садыков М.Ф., Шакирзянов М.М. Магнитное двупреломление звука и магнитоакустические осцилляции в гематите // Физика твердого тела. 2004. Т. 46. № 2. С. 305–307.
14. Ахмадуллин И.Ш., Мигачев С.А., Садыков М.Ф., Шакирзянов М.М. Проявление базисной анизотропии и механических граничных условий в магнитном двупреломлении звука в гематите // Физика твердого тела. 2005. Т. 47. № 3. С. 506–508.
15. Мигачев С.А., Садыков М.Ф., Шакирзянов М.М. Акустооптическая дифракция в гематите, обусловленная магнитоупругой модуляцией поляризации оптических мод // Письма в ЖЭТФ. 2008. Т. 88. Вып. 1. С. 54–58.
16. Akhmadullin I.Sh., Golenishchev-Kutuzov V.A., Migachev S.A., Sadykov M.F. Investigation of the Cotton-Mouthon Effect in α -Fe₂O₃ Easy-Plane Antiferromagnet // The Physics of Metals and Metallography. 2002. Т. 93. № SUPPL. 1., p. 111–113.
17. Ахмадуллин И.Ш., Голенищев-Кутузов В.А., Мигачев С.А., Садыков М.Ф. Магнитное двулучепреломление света в гематите // Физика твердого тела. 2002. Т. 44. № 2. С. 321–324.
18. С.А. Мигачев, М.Ф. Садыков, М.М. Шакирзянов. Антиферромагнитная коническая рефракция упругих волн в гематите // Письма в ЖЭТФ 91, вып. 7, 2010. С. 372–374.

19. Мамин Р.Ф., Игами Т., Мартон Ж., Мигачев С.А., Садыков М.Ф. Гигантская диэлектрическая восприимчивость и магнитоёмкостный эффект в манганитах при комнатной температуре // Письма в ЖЭТФ. 2007. Т. 86. № 10. С. 731–735.

Автор публикации

Садыков Марат Фердинантович – канд. физ.-мат. наук, доцент, заведующий кафедрой «Теоретические основы электротехники» (ТОЭ) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). E-mail: sadykov@kgeu.ru.

References

1. Kuznetsov V.A. The instrument is modular, automated measurement system / V.A. Kuznetsov, V.N. The Stroitelev, E.Yu. Timofeev and other; ed. by V. Kuznetsov. M.: Radio and communication, 1993. 304 c.
2. Kisurin A., Bepalenko D. Automation of measurements and control of electrical and non-electrical quantities / Voronezh State Technical University» Voronezh, 2009.
3. Kostyukov V.N. Automated quality control and diagnostics systems / V.N. Kostyukov, A.P. Naumenko. Omsk: Omsk State Technical University, 2007. 89 p.
4. Oppenheim A., Schafer R. Digital signal processing. Ed. 2, M.: «Technosphere», 2007. P.248.
5. Migachev S.A., Sadykov M.F., Ivanov D.A., Shakirzyanov M.M. Experimental setup for the study of acousto-optical processes in magnetic materials // Proceedings of the higher educational institutions. Energy sector problems. 2010. №5-6. P. 71–77.
6. Migachev S.A., Sadykov M.F., Ivanov D.A., Shakirzyanov M.M. An automated facility for studying acousto-optical phenomena in magnetic materials // Instruments and Experimental Techniques. 2011. V. 54, №4. P. 590–592.
7. Automated installation for investigation of magnetic acousto-optic interaction in antiferromagnets: pat. 131227, Russian Federation. Sadykov M.F., Migachev S.A., Shakirzyanov M.M., Ivanov D.A., Zakieva R.R. Kazan state power engineering university. № 2013114625/28; 01.04.2013; pub. 10.08.2013, 13 p.
8. Ivanov D.A. Integrated method and automated scanning installation for the study of magneto-acousto-optic interactions: Diss. ... cand. tech. sciences 05.11.13. Kazan, 2012. 116 p.
9. Sadykov M.F. Electrical, magneto-optical and magnetoacoustic effects in the α -Fe₂O₃ magnetic semiconductor. diss. ... cand. phys.-mat. sciences 01.04.10. Kazan, 2002. 116 p.
10. Migachev S.A., Sadykov M.F., Shakirzyanov M.M. Polarization plane Rotation and linear birefringence of sound in hematite below the Morin point // Physics of the Solid State. 2006. V. 48, № 4. P. 663–666.
11. Akhmadullin I.Sh., Migachev S.A., Sadykov M.F., Shakirzyanov M.M. Temperature Hysteresis and Anomalous Behavior of Sound velocity in Hematite near the Reorientation Phase Transition // The Physics of Metals and Metallography. 2005. T. 100. № SUPPL. 1.
12. Migachev S.A., Sadykov M.F., Shakirzyanov M.M. Magnetic Sound Birefringence in the Easy-Axis Antiferromagnet α -Fe₂O₃ // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 2006. T. 300. № 1.C. 462–464.
13. Akhmadullin I.Sh., Migachev S.A., Sadykov M.F., Shakirzyanov M.M. Magnetic birefringence of sound and magnetoacoustic oscillations in hematite // Physics of the Solid State. 2004. T. 46. № 2. C. 305–307.
14. Akhmadullin I.S., Migachev S.A., Sadykov M.F., Shakirzyanov M.M. Manifestation of the underlying anisotropy and mechanical boundary conditions in magnetic duraluminium in hematite // Physics of the Solid State. 2005. V. 47, № 3. P. 506–508.

15. Migachev S.A., Sadykov M.F., Shakirzyanov M.M. Acousto-optic diffraction in hematite, due to the magnetoelastic modulation of the polarization of the optical mod // JETP Letters. 2008. V. 88, Iss. 1. P.54–58.

16. Akhmadullin I.Sh., Golenishchev-Kutuzov V.A., Migachev S.A., Sadykov M.F. Investigation of the Cotton-Mouthon Effect in α -Fe₂O₃ Easy-Plane Antiferromagnet // The Physics of Metals and Metallography. 2002. T. 93, № SUPPL. 1., p. 111–113.

17. Akhmadullin I.S., Golenishchev-Kutuzov V.A., Migachev S.A., Sadykov M.F. Magnetic birefringence of light in hematite // Physics of the Solid State. 2002. V. 44, № 2. P. 321–324.

18. Migachev S.A., Sadykov M.F., Shakirzyanov M.M. Antiferromagnetic conical refraction of elastic waves in hematite // JETP Letters, V. 91, Iss. 7, 2010. p. 372–374.

19. Mamin R.F., Egami T., Marton Z., Migachev C.A., Sadykov M.F. Giant dielectric susceptibility and magnetocapacitance effect in manganites at room temperature // JETP Letters. 2007. V. 86, № 10. P. 731–735.

Author of the publication

Marat F. Sadykov – PhD in Physico-mathematical sciences, Associate Professor, Head of the Department of «Theoretical bases of electrical engineering» of Kazan State Power Engineering University (KSPEU). E-mail: sadykov@kgeu.ru.

Поступила в редакцию

28 октября 2018 г.