

УТВЕРЖДАЮ:

проректор по научной работе
и инновациям

Национального исследовательского
Томского политехнического
университета



И.Б. Степанов

2019г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ФГАОУ ВО НИ ТПУ)

Диссертация «Получение и формирование свойств ферритов литиевой группы при высокоэнергетических механических и электронно-пучковых воздействиях» выполнена в проблемной научно-исследовательской лаборатории электроники диэлектриков и полупроводников (ПНИЛ ЭДиП) Исследовательской школы физики высокоэнергетических процессов федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

В период подготовки диссертации соискатель **Лысенко Елена Николаевна** работала в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальном исследовательском Томском политехническом университете» в проблемной научно-исследовательской лаборатории электроники диэлектриков и полупроводников Исследовательской школы физики высокоэнергетических процессов в должности заведующего лабораторией.

В 1995 году Лысенко Е.Н. с отличием окончила федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального обучения «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники». В 2003 году защитила кандидатскую диссертацию на тему «Радиационно-термическая активация диффузии кислорода в поликристаллических литий-титановых ферритах» по специальности 01.04.07 в диссертационном совете Д 212.269.02 при Томском политехническом университете.

Научный консультант — доктор физико-математических наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, **Суржиков Анатолий Петрович**, работает в должности заведующего кафедрой — руководителя отделения «Контроль и диагностика» Инженерной школы неразрушающего контроля и безопасности ФГАОУ ВО НИ ТПУ, а также в

должности главного научного сотрудника ПНИЛ ЭДиП Исследовательской школы физики высокоэнергетических процессов ФГАОУ ВО НИ ТПУ.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Актуальность работы.

Ферриты литиевой группы со шпинельной структурой представляют особый интерес для науки и техники, так как обладают рядом уникальных свойств, расширяющих сферу их применения вследствие частичного замещения лития другими металлами, такими как цинк, титан, марганец и т.д. При этом появляется возможность управлять электрическими и магнитными свойствами в соответствии с назначением использования ферритов.

Активное взаимодействие данного класса ферритов с электромагнитным излучением низкочастотного участка СВЧ диапазона предопределило их широкое применение в различных устройствах современной СВЧ техники, например, в качестве дискретных быстродействующих фазовращателей. Кроме того, замещенные цинком литиевые ферриты могут использоваться в качестве активной фазы композиционных изделий для радиопоглощающих покрытий. В последнее время также рассматривается возможность применения литиевых ферритов в качестве катодного материала в литий-ионных батареях, а также в качестве сенсоров газовых датчиков.

Эксплуатационные свойства литий-замещенных ферритов (ЛЗФ) напрямую зависят от фазового состава, формируемого при изготовлении ферритов.

Существующие керамические технологии производства ферритовой керамики сложны, многооперационны, чрезвычайно длительны, отличаются высокими энергетическими и материальными затратами, недостаточным качеством продукции. Предпринимаемые попытки избавиться от недостатков существующих технологий сводились лишь к механической модернизации, не затрагивая их физических основ.

Очевидно, что для коренного изменения существующего положения необходимо отказаться от модернизационного подхода и искать и разрабатывать принципиально новые, нетрадиционные пути решения проблемы.

С этих позиций весьма перспективными представляются результаты по механической обработке порошковых материалов в высокоэнергетических планетарных мельницах и по радиационно-термическому воздействию на реагенты.

Первый подход позволит получать мелкодисперсные частицы с высокой дефектностью и повышенной активностью. Второй вариант существенно повысит эффективность протекания твердофазных процессов со всеми вытекающими последствиями.

Адаптация данных методов и их совместное использование для получения высококачественных ферритов литиевой группы является актуальной задачей современного материаловедения.

Цель работы.

Установление закономерностей твердофазных взаимодействий, изменения структурного и электромагнитного состояния ферритов литиевой группы при их получении с использованием механической активации порошковых исходных реагентов или обжига в пучке высокоэнергетических электронов, а так же при последовательном сочетании указанных воздействий, и разработка научных основ технологии получения ферритов методами высокоэнергетических воздействий.

Задачи исследований:

1. Разработка метода контроля фазовой гомогенности ЛЗФ, основанного на анализе магнитных фазовых переходов в точках Кюри при термогравиметрических измерениях в магнитном поле.
2. Установление закономерностей изменения структурных и реакционных свойств исходных реагентов при механической активации в планетарной мельнице в зависимости от энергонапряженности и длительности обработки, а также оптимальных режимов механической активации, обеспечивающих реализацию процесса получения ферритов литиевой группы.
3. Определение кинетических параметров и природы твердофазных взаимодействий в порошковых смесях $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{--Li}_2\text{CO}_3$, $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{--Li}_2\text{CO}_3\text{--ZnO}$ и $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{--Li}_2\text{CO}_3\text{--TiO}_2$ и их компактов в зависимости от условий механической обработки.
4. Исследование кинетических и температурных закономерностей твердофазных взаимодействий и формирования ферритовых фаз $\text{Li}_{0.5}\text{Fe}_{2.5}\text{O}_4$, $\text{Li}_{0.5(1-x)}\text{Fe}_{2.5-0.5x}\text{Zn}_x\text{O}_4$, $\text{Li}_{0.5(1+x)}\text{Fe}_{2.5-1.5x}\text{Ti}_x\text{O}_4$ в смесях исходных реагентов соответственно $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{--Li}_2\text{CO}_3$, $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{--Li}_2\text{CO}_3\text{--ZnO}$ и $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{--Li}_2\text{CO}_3\text{--TiO}_2$ при синтезе ферритов по традиционной керамической технологии, а также в условиях обжига высокоэнергетическим пучком электронов импульсного или непрерывного действия. Проведение сравнительного анализа результатов.
5. Исследование структурных, магнитных и электрических характеристик литиевой ферритовой керамики составов $\text{Li}_{0.5}\text{Fe}_{2.5}\text{O}_4$, $\text{Li}_{0.4}\text{Fe}_{2.4}\text{Zn}_{0.2}\text{O}_4$, $\text{Li}_{0.6}\text{Fe}_{2.2}\text{Ti}_{0.2}\text{O}_4$, $\text{Li}_{0.65}\text{Fe}_{1.6}\text{Ti}_{0.5}\text{Zn}_{0.2}\text{Mn}_{0.05}\text{O}_4$, полученной в условиях термического и радиационно-термического обжига ферритовых порошков в зависимости от условий механической обработки.
6. Разработка технологических схем синтеза и спекания ферритов литиевой группы с применением комплексных воздействий – механической активации смесей ферритовых реагентов и нагрева с помощью пучков высокоэнергетических электронов.

Объекты исследования

Литиевые LiFeO_2 , $\text{Li}_{0.5}\text{Fe}_{2.5}\text{O}_4$, литий-цинковые $\text{Li}_{0.5(1-x)}\text{Fe}_{2.5-0.5x}\text{Zn}_x\text{O}_4$, литий-титановые $\text{Li}_{0.5(1+x)}\text{Fe}_{2.5-1.5x}\text{Ti}_x\text{O}_4$ ($x_{\text{Zn,Ti}}=0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.5; 0.6$) и литий-титан-цинковые $\text{Li}_{0.65}\text{Fe}_{1.6}\text{Ti}_{0.5}\text{Zn}_{0.2}\text{Mn}_{0.05}\text{O}_4$ ферриты со шпинельной структурой.

Предмет исследования

Процессы твердофазных взаимодействий, формирования структурных и электромагнитных свойств в ферритах литиевой группы при их синтезе и спекании с использованием механической активации порошковых исходных реагентов или обжига в пучке высокоэнергетических электронов, а так же при последовательном сочетании указанных воздействий.

Личный вклад автора.

Результаты, приведенные в работе, получены лично автором или при его непосредственном участии в сотрудничестве с коллективом Проблемной научно-исследовательской лаборатории электроники, диэлектриков и полупроводников (ПНИЛ ЭДиП) Национального исследовательского Томского политехнического университета. Автор лично сформулировал цели и задачи работы, планировал и проводил эксперименты, обрабатывал экспериментальные данные, проводил анализ полученных данных и делал выводы, активно принимал участие в написании публикаций.

Достоверность полученных результатов обеспечивалась за счет использования современных методов исследований на сертифицированном оборудовании; выступлений на международных научных конференциях; публикаций научных статей в рецензируемых журналах, включая высокорейтинговые журналы с высоким квартилем.

Оценка выполненной соискателем работы.

Диссертация Лысенко Елены Николаевны является законченной научной работой, содержит новые результаты, опубликованные в научной печати. Автор диссертации является сложившимся ученым, способным формулировать и решать научные задачи. Положения, выносимые на защиту, не вызывают возражений, имеют научную новизну и обоснованы в тексте диссертации. Выводы по работе соответствуют ее содержанию и не противоречат имеющимся литературным данным.

Практическая значимость работы.

Разработаны технологические условия получения литиевых и литий-замещенных ферритовых порошков и керамики с использованием высокоэнергетических воздействий, включающих механическую активацию смеси исходных реагентов и последующий обжиг в пучке высокоэнергетических электронов, а так же предложены технологические схемы их получения, при которых температура синтеза и время изотермической выдержки значительно ниже по сравнению с термическим режимом обжига, а количество операций значительно сокращено.

Основные технические решения, полученные в ходе выполнения работы, защищены патентами РФ:

1. Устройство для измерения температуры объекта, нагреваемого ионизирующим облучением (патенты на полезную модель РФ 121367, РФ 121929, РФ 138089).
2. Способ измерения максимальной температуры объекта при нагревании его облучением электронным пучком (патент на изобретение РФ 2168156).

3. Устройство для определения содержания феррита в материале (патенты на изобретение РФ 2559323, РФ 2619310).

4. Устройство для термомагнитных измерений (патент на полезную модель РФ 144586).

5. Способ синтеза ферритов (патент на изобретение РФ 2507031).

6. Способ изготовления ферритовых изделий (патент на изобретение РФ 2410200).

Результаты диссертационного исследования были внедрены в ООО «ЛИОМЕД» (г. Кемерово), в АО «Научно-производственный центр «Полус» и в Томском политехническом университете.

- При термогравиметрических измерениях в магнитном поле, регистрируемые магнитные фазовые переходы в точке Кюри разделены по температуре, что позволяет идентифицировать присутствующие в ЛЗФ магнитные фазы с высоким разрешением, недоступным для рентгенофазового анализа (РФА).

- Увеличение плотности компактов смесей порошковых реагентов $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{--Li}_2\text{CO}_3$, $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{--Li}_2\text{CO}_3\text{--ZnO}$ и $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{--Li}_2\text{CO}_3\text{--TiO}_2$ изменяет характер взаимодействия компонентов смеси, смещая температуру полного разложения Li_2CO_3 в область температур ниже температуры его плавления. Это способствует увеличению выхода ферритовой фазы.

- Механическая обработка в планетарной мельнице смесей исходных реагентов $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{--Li}_2\text{CO}_3$, $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{--Li}_2\text{CO}_3\text{--ZnO}$ и $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{--Li}_2\text{CO}_3\text{--TiO}_2$ приводит к увеличению их удельной поверхности с $8 \text{ м}^2/\text{г}$ до $26 \text{ м}^2/\text{г}$ и величины микродеформаций, а также образованию агломератов с большой поверхностью контакта между частицами реагентов. В результате повышается реакционная активность порошковых смесей, что проявляется в снижении температуры твердофазного взаимодействия между реагентами на $(100\text{--}200)^\circ\text{C}$ и в уменьшении температуры начала усадки с 750°C до 400°C при спекании компактов из этих порошков. Это позволяет объединить технологические этапы синтеза и спекания в один этап получения ферритовой керамики, заключающийся в нагреве механоактивированных и спрессованных заготовок пучком высокоэнергетических электронов сразу до температуры спекания.

- Наблюдаемое снижение температуры твердофазного взаимодействия между реагентами имеет место только при механической активации смеси реагентов, а не отдельных порошковых компонентов. При этом эффект высокой реакционной активности порошковых смесей сохраняется в течение длительного времени, по крайней мере не менее двух лет.

- Шаровое измельчение порошковых реагентов в высокоэнергетической планетарной мельнице приводит к пластической деформации твердых частиц и существенному увеличению количества двойных и тройных контактов. Это приводит к уменьшению количества промежуточных стадий синтеза и, как следствие, ускоренному образованию

литиевых и литий-замещенных ферритов заданного состава с высокой удельной намагниченностью без использования операции предварительного компактирования.

- Реакция твердофазного взаимодействия в системах $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{--Li}_2\text{CO}_3$, $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{--Li}_2\text{CO}_3\text{--ZnO}$ и $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{--Li}_2\text{CO}_3\text{--TiO}_2$ характеризуется как двухэтапный диффузионно-контролируемый процесс, удовлетворительно описываемый на первом и втором этапах соответственно моделями Яндера и Гинстлинга-Броунштейна со значениями энергии активации (245–292) кДж/моль и (304–715) кДж/моль (в зависимости от состава и плотности ферритовой системы) для немеханоактивированных порошков и моделью Гинстлинга-Броунштейна со значениями энергии активации (33–70) кДж/моль и (117–298) кДж/моль для механоактивированных порошковых смесей.

- Нагрев высокоэнергетическим пучком электронов в интервале температур (600–750) °С не изменяет механизм образования ферритов, но приводит, по сравнению с термическим обжигом, к увеличению скорости образования ферритов во время синтеза вследствие снижения энергии активации процесса накопления шпинельных фаз в (1.6–1.8) раз и уменьшения предэкспоненциального множителя на (2–3) порядка при использовании исходных реагентов, а также соответственно в (3–5) раз и на (4–6) порядков при использовании механоактивированных реагентов.

- Синергетический эффект ускорения процессов получения гомогенных по фазовому составу ферритовых порошков литиевой группы с намагниченностью (50–80) Гс·см³/г при комплексном использовании двух видов воздействий – механическая активация исходных реагентов и последующий обжиг в пучке электронов. При этом, высокоскоростная стадия образования ферритов практически полностью сдвигается на неизотермический участок нагрева.

- При обжиге порошковых компактов в пучке высокоэнергетических электронов с энергиями (1.4–2.4) МэВ формирование микроструктуры и электромагнитных свойств зависит от режима обработки. В импульсном режиме вследствие повышенной дефектности границ происходит локальный их перегрев, превышающий величину перегрева при обработке в непрерывном режиме, и, как следствие, наблюдается интенсификация процесса агломерации частиц. Таким образом, выбором режима облучения можно эффективно управлять структурочувствительными свойствами ферритовой керамики.

Апробация результатов работы.

Основные результаты экспериментальных исследований, представленных в данной работе, были опубликованы в российских и международных научных высокорейтинговых журналах, а также доложены и обсуждены на следующих Международных научных конференциях: 12й Европейский симпозиум по термическому анализу и калориметрии (г. Брашов, Румыния, 2018г.); «Материалы и технологии» (г. Перуджа, 2018г.); «Нанотехнологии и бионаука» (г. Ираклион, 2018г.); «Инструментальные

методы анализа» (г. Ираклион, 2017г); «Радиационно-термические эффекты и процессы в неорганических материалах» (г. Севастополь, 2015); XXII–XXV Международной конференции «Радиационная физика твердого тела», (г. Севастополь, 2015 г.); Сибирская конференция по управлению и связи» (г. Омск, 2015г.); «Фундаментальные основы механохимических технологий» (г. Новосибирск, 2013г.); «Форум по стратегическим технологиям» (г. Томск, 2012г.); Китайско-Российская конференция по материаловедению и технологиям» (г. Шеньян, 2009г.); «Международная конференция по химической термодинамике в России» (г. Казань, 2009г.); «Модификация материалов пучками частиц и потоками плазмы» (г. Томск, 2004, 2008г.г.); «Корейско-Российский симпозиум по науке и технике» (2003г.) и др.

Публикации.

По теме диссертационной работы опубликовано 124 работы, из них 36 публикаций в журналах, рекомендованных ВАК, 56 публикаций в журналах, входящих в базы данных Scopus и Web of Science, 29 публикаций в сборниках трудов конференций, 2 монографии; 10 патентов на изобретение; 5 патентов на полезную модель; 1 свидетельство на регистрацию программы для ЭВМ.

Основные из них:

1. **Lysenko E.N.** Analysis of the phase composition and homogeneity of ferrite lithium-substituted powders by the thermomagnetometry method / A.P. Surzhikov, E.N. Lysenko, A.V. Malyshev, V.A. Vlasov, E.A. Vasendina // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. – 2013. – V.112. – P. 739 – 745.
2. **Лысенко Е.Н.** Контроль фазового состава литийзамещенных ферритов методом ТГ(М)/ДТГ(М) / А.П. Суржиков, А.М. Притулов, Е.Н. Лысенко, В.А. Власов, Е.А. Васендина // *Контроль. Диагностика*. – 2012 – №. 11 – С. 37 – 41.
3. **Lysenko E.N.** Thermomagnetometric analysis of lithium ferrites / A.L. Astafyev, A.P. Surzhikov, E.N. Lysenko // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. – 2019. – V.136. – P. 441 – 445.
4. **Lysenko E.N.** Microstructure and reactivity of $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-Li}_2\text{CO}_3\text{-ZnO}$ ferrite system ball-milled in a planetary mill / E. N. Lysenko, E. V. Nikolaev, V.A. Vlasov, A. P. Surzhikov // *Thermochimica Acta*. – 2018. – V.664. – P. 100 – 107.
5. **Lysenko E.N.** Thermal analysis study of LiFeO_2 formation from $\text{Li}_2\text{CO}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$ mechanically activated reagents / E.N. Lysenko, A.P. Surzhikov, E.V. Nikolaev, V.A. Vlasov // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. – 2018. – V.134. – P.81 - 87.
6. **Лысенко Е.Н.** Оценка фазового состава литийзамещенных ферритов с помощью термомагнитометрического анализа и математического моделирования / А.П. Суржиков, Е.Н. Лысенко, А.Л. Астафьев, В.А. Власов, А.В. Малышев // *Контроль. Диагностика*. – 2014. – №. 11. – С. 30 – 33.
7. **Lysenko E.N.** Analysis of phase composition of LiZn and LiTi ferrites by XRD and thermomagnetometric analysis / E.N. Lysenko, A.L. Astafyev, V.A. Vlasov, A.P. Surzhikov // *Journal of Magnetism and magnetic materials*. – 2018. – V.465. – P. 457 – 461.
8. **Лысенко Е.Н.** Определение фазового состава и гомогенности порошков литиевых ферритов методом термогравиметрии в магнитном поле / Е.Н.

Лысенко, Е.А. Васендина, А.М. Притулов, А.П. Суржиков, О.В. Гальцева // Ж. Огнеупоры и техническая керамика. – 2011. – №. 4-5. – С. 14 – 19.

9. **Lysenko E.N.** Thermogravimetric investigation of the effect of annealing conditions on the soft ferrite phase homogeneity / A.P. Surzhikov, E.N. Lysenko, E.A. Vasendina, A.N. Sokolovskiy, V.A. Vlasov, A.M. Pritulov // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2011. – V.104, № 2. – С. 613 – 617.

10. **Лысенко Е.Н.** Исследование влияния механоактивации исходных реагентов на неизотермический синтез литиевого феррита / А.П. Суржиков, Е.Н. Лысенко, А.В. Малышев, А.М. Притулов, О.Г. Казаковская // Известия вузов. Физика. – 2012. – Т. 55, №.6. – С. 69 – 74.

11. **Lysenko E.N.** Thermal analysis study of solid-phase synthesis of zinc- and titanium-substituted lithium ferrites from mechanically activated reagents / E.N. Lysenk, A.P. Surzhikov, A.V. Malyshev, V.A Vlasov, E.V. Nikolaev // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2015. – Vol. 122, №. 3. – P. 1347 – 1353.

12. **Lysenko E.N.** Calorimetric investigation of radiation-thermal synthesized lithium pentaferrite / A.P. Surzhikov, A.M. Pritulov, E.N. Lysenko, A.N. Sokolovskiy, V.A. Vlasov, E.A. Vasendina // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2010. – V.101. – № 1. – С. 11 – 13.

13. **Лысенко Е.Н.** Применение электронных пучков для повышения эффективности твердофазного синтеза оксидных материалов / Е.А. Васендина, Е.Н. Лысенко, В.А. Власов, А.Н. Соколовский, А.П. Суржиков, А.М. Притулов // Техника и технология силикатов. – 2011. – Т.18, №4. – С. 6 – 12.

14. **Lysenko E.N.** Influence of solid-phase ferritization method on phase composition of lithium-zinc ferrites with various concentration of zinc / A.P. Surzhikov, A.M. Pritulov, E.N. Lysenko, A.N. Sokolovskii V.A. Vlasov // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2012. – V. 109, №. 1. – P. 63 – 67.

15. **Lysenko E.N.** Dependence of lithium–zinc ferrosipinel phase composition on the duration of synthesis in an accelerated electron beam / A.P. Surzhikov, A.M. Pritulov, E.N. Lysenko, A.N. Sokolovskii, V.A. Vlasov, E.A. Vasendina // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2012. – V. 110, №2. – P. 733 – 738.

16. **Lysenko E.N.** Magnetization study in solid state formation of lithium-titanium ferrites synthesized by electron beam heating / A.P. Surzhikov, E. N. Lysenko, V. A. Vlasov, A. V. Malyshev, E.A. Vasendina // Materials Chemistry and Physics. – 2016. – V. 176. – P. 110 – 114.

17. **Лысенко Е.Н.** Кинетика процесса фазообразования в системе $\text{Li}_2\text{CO}_3\text{--TiO}_2\text{--Fe}_2\text{O}_3$ при радиационно-термическом синтезе / А.П. Суржиков, Е.А. Васендина, Е.Н. Лысенко, Е.В. Николаев // Перспективные материалы. – 2013. – №. 8. – С. 5 – 10.

18. **Лысенко Е.Н.** Исследование процесса ферритообразования в системе $\text{Li}_2\text{CO}_3\text{--ZnO--FeO}$ в условиях высокоэнергетических воздействий / А.П. Суржиков, Е.Н. Лысенко, В.А. Власов, Е.В. Николаев // Известия вузов. Физика. – 2013. – Т. 56, №.6. – С. 69 – 73.

19. **Лысенко Е.Н.** Получение литий замещенного феррита в условиях высокоэнергетических воздействий / А.П. Суржиков, Е.Н. Лысенко, В.А.

Власов, А.В. Малышев // Перспективные материалы. – 2014. – №. 3. – С. 11 – 15.

20. **Lysenko E.N.** Synthesis of substituted lithium ferrites under the pulsed and continuous electron beam heating / E.N. Lysenko, A.P. Surzhikov, V.A. Vlasov, E.V. Nikolaev, A.V. Malyshev, A.A. Bryazgin, **M.V. Korobeynikov**, **M.A. Mikhailenko** // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – 2017. – V.392. – P. 1 – 7.

21. **Lysenko E.N.** Microstructure and thermal analysis of lithium ferrite pre-milled in a high energy ball mill / E.N. Lysenko, A.V. Malyshev, V.A. Vlasov, E.V. Nikolaev, A.P. Surzhikov // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2018. – V.134. – P.127 – 133.

22. **Lysenko E.N.** Microstructure, electromagnetic and dielectric properties of zinc substituted lithium ferrites prepared by radiation-thermal heating / A.V. Malyshev, E.N. Lysenko, V.A. Vlasov // Ceramics International. – 2015. – V. 41, №10. – P. 13671 – 13675.

23. **Lysenko E.N.** Structural, electromagnetic, and dielectric properties of lithium-zinc ferrite ceramics sintered by pulsed electron beam heating / A.P. Surzhikov, E.N. Lysenko, A.V. Malyshev, V.A. Vlasov, A.N. Sokolovskiy // Ceramics International. – 2017. – V.43. – P. 9778 – 9782.

24. **Lysenko E.N.** Electromagnetic properties of $\text{Li}_{0.4}\text{Fe}_{2.4}\text{Zn}_{0.2}\text{O}_4$ ferrite sintered by continuous electron beam heating / A.V. Malyshev, E.N. Lysenko, V.A. Vlasov, S.A. Nikolaeva // Ceramics International. – 2016. – V.42. – P. 16180 – 16183.

25. **Лысенко Е.Н.** Радиационно-термический метод получения литий-цинковой ферритовой керамики / Е.Н. Лысенко, А.П. Суржилов, А.В. Малышев, В.А. Власов, Е.В. Николаев // Известия вузов. Химия и химическая технология. – 2018. – Т.61, №6. – С. 69 – 75.

26. **Лысенко Е.Н.** Способ синтеза ферритов / А.П. Суржилов, С.А. Гынгазов, Е.Н. Лысенко. Патент на изобретение №2507031 Российская Федерация, МПК В22F 3/087; В22F 1/00; С04В 35/26. Заявка №2012147327/02 от 08.11.2012; опубл. 20.02.2014.

27. **Лысенко Е.Н.** Способ изготовления ферритовых изделий / С.А. Гынгазов, А.П. Суржилов, Т.С. Франгульян Е.Н. Лысенко. Патент на изобретение №2410200 Российская Федерация, МПК В22F 3/16; Н01F 1/10; Н01F 1/34. Заявка №2009116499 от 29.04.2009; опубл. 27.01.2011.

28. **Лысенко Е.Н.** Устройство для определения содержания феррита в материале/ С.А. Гынгазов, Е.Н. Лысенко, Т.С. Франгульян. Патент на изобретение № 2619310 Российская Федерация, МПК G01N 27/72. Заявка № 2016107530 от 01.03.2016; опубл. 15.05.2017.

29. **Лысенко Е.Н.** Способ послойного анализа тонких пленок / С.А. Гынгазов, Е.Н. Лысенко. Патент на изобретение № 2656129 Российская Федерация, МПК G01N 23/22. Заявка № 2017120875 от 14.06.2017, опубл. 31.05.2018.

30. **Лысенко Е.Н.** Устройство для термомагнитных измерений/ С.А. Гынгазов, Е.Н. Лысенко, Т.С. Франгульян. Патент на полезную модель №

144586 Российская Федерация, МПК G01N 25/00; G01N 27/72. Заявка № 2014114481/28 от 11.04.2014; опубл. 27.08.2014..

31. **Лысенко Е.Н.** Устройство для измерения температуры объекта, нагреваемого ионизирующим облучением / А.П. Суржиков, С.А. Гынгазов, Е.Н. Лысенко. Патент на полезную модель № 121929 Российская Федерация, МПК G01K 13/08. Заявка №2012129581 от 12.07.2012; опубл. 10.11.2012.

32. **Лысенко Е.Н.** Устройство для получения циркониевой керамики / С.А. Гынгазов, Е.Н. Лысенко, А.П. Суржиков. Патент на полезную модель №129923 Российская Федерация, МПК C04B 35/00, H01J 37/30. Заявка № 2012150250/03 от 12.02.2013, опубл. 10.07.2013 г.

33. **Лысенко Е.Н.** Способ определения диффузионных констант в поликристаллических материалах / А.П. Суржиков, С.А. Гынгазов, Е.Н. Лысенко, Т.С. Франгульян. Патент на изобретение №2260787 Российская Федерация, МПК G01N13/00. Заявка №2004111333/28 от 13.04.2004, опубл. 20.09.2005г.

34. **Лысенко Е.Н.** Формирование отчета по фазовому составу ферритов / А.Л. Астафьев, Е.Н. Лысенко, Е.В. Николаев. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015619322. Заявка № 2015616112 от 06.07.2015; опубл. 31.08.2015.

35. **Лысенко Е.Н.** Зернограничная диффузия кислорода в литиевых ферритах / А.П. Суржиков, Е.Н. Лысенко, С.А. Гынгазов, Т.С. Франгульян.–Томск: Томский политехнический университет, 2016.–112 с.

36. **Лысенко Е.Н.** Радиационно-термическая активация диффузии кислорода в поликристаллических литиевых ферритах / А.П. Суржиков, С.А. Гынгазов, Е.Н. Лысенко, Т.С. Франгульян.–Томск: Томский политехнический университет, 2016.–86 с.

Диссертационная работа Лысенко Елены Николаевны «Получение и формирование свойств ферритов литиевой группы при высокоэнергетических механических и электронно-пучковых воздействиях», по своей цели, задачам, содержанию, полноте изложения материала, методам исследования и научной новизне соответствует специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния (паспорт специальности, п.4 «Теоретическое и экспериментальное исследование воздействия различных видов излучений, высокотемпературной плазмы на природу изменений физических свойств конденсированных веществ», п. 6 «Разработка экспериментальных методов изучения физических свойств и создание физических основ промышленной технологии получения материалов с определенными свойствами») и требованиям положения Томского политехнического университета о порядке присуждения научных степеней.

Диссертация «Получение и формирование свойств ферритов литиевой группы при высокоэнергетических механических и электронно-пучковых воздействиях» Лысенко Елены Николаевны рекомендуется к защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности

01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Заключение принято на заседании научного семинара ПНИЛ ЭДиП Исследовательской школы физики высокоэнергетических процессов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Присутствовало на заседании 17 чел. Результаты голосования: «за» – 17 чел., «против» – нет, «воздержалось» – нет, протокол №5 от «24» июня 2019 г.



**председатель научного семинара,
Беспалько Анатолий Алексеевич, д.т.н.,
ведущий научный сотрудник
ПНИЛ ЭДиП
Национальный исследовательский
Томский политехнический
университет**



*(подпись лица оформившего
заключение)*

**секретарь научного семинара,
Власов Виталий Анатольевич, к.ф.-м.н.,
старший научный сотрудник
ПНИЛ ЭДиП
Национальный исследовательский
Томский политехнический
университет**

