


УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по науке Национального
исследовательского Томского
политехнического университета


Юсубов М.С.
«30» 06 2020 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Диссертация «Разработка неразрушающего метода контроля дефектности ферритовой керамики на основе температурных зависимостей начальной магнитной проницаемости» выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальном исследовательском Томском политехническом университете» (ФГАОУ ВО НИ ТПУ).

В период подготовки диссертации соискатель Петрова Анна обучалась в аспирантуре на очной форме обучения по специальности 05.11.13 «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий» и работала в Проблемной научно-исследовательской лаборатории электроники, диэлектриков и полупроводников Исследовательской школы физики высокоэнергетических процессов и в отделении «Контроль и диагностика» Инженерной школы неразрушающего контроля и диагностики ФГАОУ ВО НИ ТПУ в должности младшего научного сотрудника.

В 2015 г. Петрова Анна с отличием окончила ФГАОУ ВО НИ ТПУ по направлению «Управление качеством» с присвоением квалификации магистр.

Диплом об окончании аспирантуры по направлению «Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии» с присвоением квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь» выдан в 2019 г. ФГАОУ ВО НИ ТПУ.

Научный руководитель – Суржиков Анатолий Петрович, доктор физико-математических наук, профессор, заслуженный деятель науки

Российской Федерации, главный научный сотрудник «Проблемной научно-исследовательской лаборатории электроники, диэлектриков и полупроводников», руководитель отделения «Контроль и диагностика» НИ ТПУ.

По итогам обсуждения на объединённом научном семинаре Проблемной научно-исследовательской лаборатории электроники, диэлектриков и полупроводников Исследовательской школы физики высокоэнергетических процессов и отделения «Контроль и диагностика» Инженерной школы неразрушающего контроля и безопасности ФГАОУ ВО НИ ТПУ принято следующее заключение:

Актуальность диссертационной работы.

Ферриты являются широко распространёнными неметаллическими твердыми магнитными материалами, представляющими собой химические соединения оксида железа Fe_2O_3 с оксидами переходных металлов. В настоящее время СВЧ ферриты используются в качестве магнитных материалов для сердечников бытовой и специальной радиоэлектронной аппаратуры, фазовращателей, элементов фазированных решеток. Не смотря на простую технологию изготовления существует достаточно высокая вероятность появления различного рода дефектов, которые приводят к ухудшению магнитных и физических характеристик ферритовой керамики. При производстве изделий из ферритовой керамики используются косвенные методы контроля структурных нарушений, позволяющие обнаружить закономерности преобразования дефектности материала и оценивать его гомогенность. Однако такие методы трудоемки, избирательны к видам дефектов и подходят лишь для регистрации магнитных фаз или контроля фазовой гомогенности в индикаторном режиме. Поэтому задача разработки высокочувствительного метода дефектоскопии ферромагнитной керамики, включающего в себя возможность контроля дефектов различных типов, является актуальной.

Целью работы является разработка и апробирование нового неразрушающего метода контроля дефектного состояния ферритовой керамики на основе температурных зависимостей начальной магнитной проницаемости.

Личный вклад автора.

Автор принимал личное участие на всех этапах работы: от формулировки цели и задач работы, разработки экспериментальных методик,

подготовки образцов и проведении экспериментальных исследований, получении, обработки и интерпретация полученных результатов до формулировки выводов, подготовки научных докладов и написания научных статей.

Достоверность научных результатов обеспечивается совокупностью больших объемов экспериментальных данных, полученных на современном исследовательском оборудовании, применением современных численных методов расчета и обработки данных, а так же корреляцией полученных результатов и сделанных выводов с фундаментальными представлениями современной физики твердого тела.

Научная новизна диссертационной работы.

1. Получено аналитическое выражение температурной зависимости начальной магнитной проницаемости и показано, что наиболее чувствительными подгоночными параметрами феноменологического выражения для влияния на форму температурной зависимости НМП и ее максимум являются размагничивающий фактор и дефектность (параметр β/α).

2. Экспериментально установлено, что дефектность ферритовой керамики характеризуется величиной максимума экспериментальной кривой температурной зависимости начальной магнитной проницаемости вблизи точки Кюри.

3. Показано, что диамагнитные добавки Al_2O_3 существенно влияют на форму экспериментальной кривой температурной зависимости начальной магнитной проницаемости образцов ферритовой керамики. При этом дефектность характеризует упругие напряжения в ферритовой керамике.

4. Установлены закономерности влияния внешней механической нагрузки на магнитные свойства ферритовой керамики: с увеличением механического стресса происходит снижение максимума температурной зависимости начальной магнитной проницаемости (до 25 %) и его смещение к точке Кюри. Показано, что такие изменения формы кривой обусловлены ростом размагничивающего фактора и магнитоупругим эффектом. При этом значения магнитной проницаемости при комнатной температуре и точка Кюри существенно не изменяются.

5. Разработан неразрушающий метод контроля, основанный на анализе температурных зависимостей начальной магнитной проницаемости, позволяющий осуществлять контроль уровня интегральной дефектности ферритовой керамики. Согласованные данные рентгенофазового анализа, а также параметров петли магнитного гистерезиса модельных образцов

подтверждают высокую чувствительность и эффективность разработанного метода.

Практическая значимость.

Выполненная работа имеет законченный вид. Результаты работы внедрены в учебный процесс при преподавании теоретических курсов и лабораторных работ по дисциплинам «Основы методов неразрушающего контроля» и «Магнитные методы контроля» отделения «Контроль и диагностика» Томского политехнического университета.

Материалы диссертации изложены в 17 работах, опубликованных соискателем в открытой печати и в журналах, рекомендованных ВАК, из них 6 публикаций в журналах 1 и 2 квартиля, входящих в базы данных Scopus и Web of Science, 2 статьи в журналах из перечня ВАК.

Список основных публикаций по теме диссертации:

1. **Petrova, A.B.**, Defects level evaluation of LiTiZn ferrite ceramics using temperature dependence of initial permeability / A.V. Malyshev, A.B. Petrova, A.N. Sokolovskiy, A.P. Surzhikov // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2018. – Vol. 456. – P. 186–193.

2. **Petrova, A.B.** Influence of Al₂O₃ addition on microstructure, defects level and magnetic properties of LiTiZn ferrite ceramics / A.V. Malyshev, A.B. Petrova, A.P. Surzhikov // Ceramics International. – 2018. – Vol. 44. – P. 20749–20754.

3. **Petrova, A.B.** Effect of sintering regimes on the microstructure and magnetic properties of LiTiZn ferrite ceramics / A.V. Malyshev, A.B. Petrova, A.P. Surzhikov, A.N. Sokolovskiy // Ceramics International. – 2019. – Vol. 45. – P. 2719–2724.

4. **Petrova, A.B.** Effect of fast cooling on defects level, microstructure and magnetic properties of LiTiZn ferrite ceramics / A.V. Malyshev, A.B. Petrova, A.N. Sokolovskiy, A.P. Surzhikov // Materials Chemistry and Physics. – 2019. – Vol. 227. – P. 219–223.

5. **Petrova, A.B.** Effect of ball milling on defects level, Curie point and microstructure of LiTiZn ferrite ceramics / A.V. Malyshev, V.A. Vlasov, A.B. Petrova, A.P. Surzhikov // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2019. – Vol. 138. Is. 3. – P. 2197–2203.

6. **Petrova, A.B.** Effect of compressive mechanical stress on the magnetic properties of LiTiZn ferrite ceramics / A.V. Malyshev, A.B. Petrova, A.P. Surzhikov // Ceramics International. – 2020. – Vol. 46. Is. 10. – P. 15521–15526.

Диссертационная работа Петровой Анны по своей цели, задачам, содержанию, полноте изложения материала и научной новизне соответствует специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.

Диссертация «Разработка неразрушающего метода контроля дефектности ферритовой керамики на основе температурных зависимостей начальной магнитной проницаемости» Петровой Анны рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий (технические науки).

Заключение принято на заседании объединенного научного семинара «Проблемной научно-исследовательской лаборатории электроники, диэлектриков и полупроводников» Исследовательской школы физики высокоэнергетических процессов и отделения «Контроль и диагностика» ФГАОУ ВО НИ ТПУ. На заседании присутствовало 18 чел. Результаты голосования: «за» – 18 чел., «против» – нет, «воздержались» – нет, протокол № 6 от «26» июня 2020 г.



Председатель научного семинара,
Беспалько Анатолий Алексеевич, д.т.н.,
ведущий научный сотрудник ПНИЛ ЭДиП НИ ТПУ



Секретарь научного семинара,
Власов Виталий Анатольевич, к.ф.-м.н.,
старший научный сотрудник ПНИЛ ЭДиП НИ ТПУ

