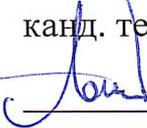


УТВЕРЖДАЮ



Проректор по НРиИ ТУСУР

канд. техн. наук, доцент

 А.Г. Лоцилов

«12» 07 2021 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР) по результатам представления диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Диссертация «Модификация изделий из Mn-Zn ферритов в слабоокислительной среде с помощью плазменного источника низкоэнергетических электронов».

Выполнена на кафедре физической электроники (ФЭ) ТУСУР.

В период подготовки диссертации аспирант Каранский Виталий Владиславович очно обучался в аспирантуре ТУСУРа по направлению 03.06.01 «Физика и астрономия».

Научный руководитель: Смирнов Серафим Всеволодович, доктор технических наук, профессор, основное место работы: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», профессор кафедры физической электроники (ФЭ), ведущий научный сотрудник лаборатории интегральной оптики и радиофотоники (ЛИОР) кафедры ФЭ.

По итогам обсуждения доклада по результатам научного исследования В.В. Каранского на расширенном семинаре кафедры ФЭ принято следующее заключение:

Оценка выполненной работы соискателем работы

Диссертация Каранского Виталия Владиславовича является завершённой научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи по разработке методик модификации поверхности изделий из Mn-Zn ферритов с помощью плазменного источника электронов для создания высокопоглощающих ВЧ и СВЧ энергию элементов, имеющей значения для развития технических наук, в том числе для создания отражательных и поглощающих покрытий для быстролетающих объектов.

Актуальность темы

Марганец-цинковые ферриты (Mn-Zn ферриты) находят применение не только в электро- и радиотехнике, но и во многих других областях науки и техники. Диапазон их применения постоянно расширяется. Особое внимание ферритам уделяется в медицине и экологии, в частности как устройствам, обеспечивающим защиту от электромагнитного излучения приемо-передающей и диагностической аппаратуры. Из множества защитных материалов Mn-Zn ферриты-шпинели по совокупности электрических, магнитных и эксплуатационных свойств наиболее полно удовлетворяют предъявляемым требованиям к радиопоглощающим материалам, не менее важным является и экономический аспект их применения. Кроме того, керамическая технология производства ферритовых изделий позволяет получать защитные устройства практически любой формы и размеров.

Для повышения эффективности устройств ферритовым материалам необходимо придавать новые свойства путем создания градиентных или текстурированных структур, например, «немагнитный проводник-феррит».

Ферритовые изделия с градиентной структурой могут быть получены при обработке их поверхности с помощью низкоэнергетического электронного пучка, генерируемого источником электронов с плазменным катодом в слабоокислительной среде. Технологии и методики воздействия электронных пучков на поверхность Mn-Zn ферритов мало изучены. В связи с этим разработка

методики модификации поверхности Mn-Zn ферритов с целью улучшения их свойств является актуальной.

Личный вклад автора

Все результаты, представленные в диссертационной работе, получены лично автором, либо при его непосредственном участии.

Автор лично сформулировал цель и задачи научного исследования, выполнил настройку оборудования и все экспериментальные измерения, а также провел обработку и анализ полученных данных. Формулировка основных положений и выводов проводилась совместно с научным руководителем.

Достоверность научных результатов

Степень достоверности научных результатов, подтверждается: применением современных методов научных исследований; большим объемом экспериментальных данных, полученных с помощью современного аналитического оборудования; хорошим согласованием расчетных и экспериментальных данных; верификацией экспериментальных данных на основе сравнения с результатами, полученных с применением общепринятых методов.

Научные положения, выносимые на защиту

1. При обработке изделий из Mn-Zn ферритов электронами с энергией 4 – 7 кэВ и плотностью мощности 113 – 198 Вт/см², в приповерхностном слое толщиной 50 – 100 мкм наблюдается уплотнение структуры, связанное с ростом зерен и уменьшением пористости, обусловленное процессами вторичной собирательной перекристаллизацией.

2. При электронной обработке пучками ферритовых изделий в слабоокислительной среде наблюдается увеличение электропроводности приповерхностного слоя не менее чем в 200 раз, связанное как с изменением

валентности ионов железа с III до II, так и с увеличением концентрации кислородных вакансий и частичной потерей цинка.

3. При электронной обработке пучками с энергией 4 – 7 кэВ и плотностью мощности 113 – 198 Вт/см² в изделиях из Mn-Zn ферритов создается градиентная структура, характеризующаяся нелинейным переходом от материала с высокой магнитной проницаемостью и высоким удельным сопротивлением к материалу с низкой магнитной проницаемостью и высокой электропроводностью, что обеспечивает получение высокоэффективные поглощающие ВЧ и СВЧ элементы.

4. Путем сравнения методов обработки ферритовых изделий низкоэнергетическими электронами и лазерным ИК-излучением с длиной волны 10,6 мкм, показано, что оба метода носят преимущественно тепловой характер, а физико-химические процессы, протекающие в изделиях, идентичны.

Практическая значимость

Практическая значимость результатов диссертационной работы подтверждается использованием их при выполнении следующего научного проекта:

научный проект «Теоретические и экспериментальные исследования сверхширокополосных оптоэлектронных устройств волоконно-оптических систем передачи информации и радиофотоники на основе фотонных интегральных схем собственной разработки», выполняемый коллективом научной лаборатории «Лаборатория интегральной оптики и радиофотоники» при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ.

Материалы диссертационной работы используются в учебном процессе на факультете электронной техники ТУСУРа при чтении курса лекций и проведении лабораторных работ по дисциплине «Физика конденсированного состояния» для подготовки бакалавров по направлениям 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника» и 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника». Также материалы диссертации используются при прохождении студентами

производственных практик: практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности и преддипломная практика.

Специальность, которой соответствует диссертация

Диссертационная работа Каранского Виталия Владиславовича по своему содержанию соответствует специальности 1.3.5 «Физическая электроника» в области исследования «Изучение физических основ плазменных и лучевых (пучковых) технологий, в том числе модификации свойств поверхности, нанесение тонких пленок и пленочных структур» по п. 6 паспорта специальности.

Полнота изложения материалов диссертации в печатных работах, опубликованных автором

По материалам диссертации опубликовано 20 научных работ, в том числе 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК, 1 статья в журнале индексируемом WoS (Q2), 11 статей в сборниках Всероссийских и международных конференций, 5 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ.

Работы, входящие в перечень ВАК или индексируемые в базе данных WoS

1. Каранский, В. В. Изменение электрофизических параметров Mn–Zn ферритов при облучении электронным пучком в форвакуумной области давлений / В. В. Каранский, А. С. Климов // Прикладная физика. – 2017. – №6. – С. 72 – 77.

2. Каранский, В. В. Электромагнитные свойства Mn-Zn ферритов, модифицированных низкоэнергетическим электронным пучком / В. В. Каранский, С. В. Смирнов, А. С. Климов, Е. В. Саврук // Прикладная физика. – 2020. – № 2. – С. 71–77.

3. Каранский, В. В. Градиентные структуры Ni-Zn ферритов для устройств защиты от электромагнитного излучения // В. В. Каранский, С. В. Смирнов, А. С. Климов, Е. В. Саврук // Перспективные материалы. – 2021. – № 5. – С. 39–46.

4. Karansky, V. V. Structural transformations in Mn–Zn ferrite under low-energy electron beam treatment / V. V. Karansky, A. S. Klimov, S. V. Smirnov // *Vacuum*. – 2020. – V. 173. – PP. 109115–109116.

Доклады на Международных и Всероссийских конференциях

5. Каранский, В. В. Влияние электронной обработки на электропроводность приповерхностных слоев марганец-цинковых ферритов / В. В. Каранский, Е. О. Ипатова // *Электронные средства и системы управления: материалы докладов XIII Международной научно-практической конференции (29 ноября – 1 декабря 2017 г.): в 2 ч. – Ч. 1. – Томск: В-Спектр, 2017. – С. 105 – 107.*

6. Каранский, В. В. Исследование электрических параметров марганец-цинковых ферритов / В. В. Каранский, Е. В. Саврук // *Научная сессия ТУСУР–2017: материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 55-летию ТУСУРа, Томск, 10–12 мая 2017 г.: в 8 частях. – Томск: В-Спектр, 2017 – Ч. 2. – С. 126 – 128.*

7. Каранский, В. В. Изменение структуры приповерхностного слоя Mn-Zn ферритов при об-лучении электронным пучком в форвакуумной области давлений / В. В. Каранский, А. С. Климов, В. К. Олицкий // *Перспективы развития фундаментальных наук: Том 7. IT-технологии и электроника Сборник научных трудов XV Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 24–27 апреля 2018 г. – 2018. – С. 102 – 104.*

8. Каранский, В. В. Влияние электронной и лазерной обработки на магнитную проницаемость Mn-Zn ферритов / В. В. Каранский, В. К. Олицкий // *Современные проблемы физики и технологий. VII-я Международная молодежная научная школа-конференция, 16-21 апреля 2018 г.: тезисы докладов. Часть 1. М.: НИЯУ МИФИ. – 2018. – С. 111 – 112.*

9. Каранский, В. В. Влияние лазерной обработки на электропроводность марганец-цинковых ферритов / В. В. Каранский, В. К. Олицкий // *Сборник тезисов: материалы двадцать четвертой Всероссийской научной конференции студентов-физиков и молодых ученых (ВНКСФ-24, Томск): материалы*

конференции, тезисы докладов: В 1 т.Т.1 – Екатеринбург – Томск: издательство АСФ России. – 2018. – С. 79 – 80.

10. Каранский, В. В. Получение приповерхностных слоев Mn-Zn ферритов с повышенной электропроводностью при электронном и лазерном воздействии / В. В. Каранский, В. К. Олицкий // Материалы 56-й Международной научной студенческой конференции МНСК-2018 Квантовая физика (Новосибирск, 22-27 апреля 2018 г.). – С. 12.

11. Каранский, В. В. Термо-ЭДС Mn-Zn ферритов при обработке электронным пучком / В. В. Каранский, Е. В. Саврук, Ю. С. Приходько // Материалы докладов Всероссийской научно-практической конференции «Прикладные исследования в области физике», 4 декабря 2019 г. – С. 193 – 197.

12. Миллер, Ю. А. Влияние электронно-лучевой обработки на структуру Mn-Zn ферритов марки НМ1000 / Ю. А. Миллер, В. В. Каранский // Сборник научных трудов XIV Всероссийской научной конференции молодых учёных «Наука. Технологии. Инновации» (НТИ – 2020). – 2020. – Ч. 3. – С. 236–239

13. Миллер, Ю. А. Структурно-фазовые превращения в Mn-Zn ферритах под действием электронно-лучевого и лазерного воздействия / Ю. А. Миллер, В. В. Каранский // Сборник научных трудов XIV Всероссийской научной конференции молодых учёных «Наука. Технологии. Инновации» (НТИ – 2020). – 2020. – Ч. 3. – С. 231–235.

14. Каранский, В. В. Влияние электронной обработки на электрофизические свойства марганец-цинковых ферритов / В. В. Каранский, Е. В. Саврук, С. В. Смирнов // Материалы и технологии новых поколений в современном материаловедении: сборник трудов Международной конференции с элементами научной школы для молодежи. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – С. 156-160. – ISBN 978-54387-0596-3.

15. Каранский, В. В. Планаризация поверхности оптических модуляторов из Mn-Zn ферритов с помощью электронно-лучевой обработки / В. В. Каранский, С. В. Смирнов // VII международная конференция по фотонике и

информационной оптике (Москва, 24–26 января 2018 г.). М.: НИЯУ МИФИ – 2018. – С. 320 – 321.

свидетельства о регистрации программ для ЭВМ и БД

16. Свидетельство 2018610403. Моделирование распределения температуры и плотности по глубине керамического компакта при его спекании электронным пучком в форвакууме : программа для ЭВМ / А. С. Климов, В. В. Каранский (RU); правообладатель ФГБОУ ВО ТУСУР № 2017661551 ; заявл. 13.11.2017 ; опубл. 10.01.2018. 4 кб.

17. Свидетельство 2018616987. Программа расчета температурного поля в керамическом компакте при его электронно-лучевой обработке в форвакууме : программа ЭВМ / А. С. Климов, В.В. Каранский, А. А. Зенин (RU); правообладатель ФГБОУ ВО ТУСУР № 2018614003 ; заявл. 20.04.2018 ; опубл. 09.06.2018. 7 кб.

18. Свидетельство 2019616939. Расчет температуры керамического образца от глубины проплавления : программа для ЭВМ / А. С. Климов, А. А. Зенин, И. Ю. Бакеев, В. В. Каранский (RU); правообладатель ФГБОУ ВО ТУСУР № 2019616014 ; заявл. 24.05.2019 ; опубл. 30.05.2019. 7 кб.

19. Свидетельство 2021660865. Моделирование одномерного распределения температуры по глубине ферритового цилиндра при его облучении электронным пучком в форвакууме : программа для ЭВМ / А. А. Зенин, А. С. Климов, В. В. Каранский, А. В. Долгова (RU); правообладатель ФГБОУ ВО ТУСУР № 2021660124 ; заявл. 30.06.2021 ; опубл. 02.07.2021. 29 кб.

20. Свидетельство 2021661448. Моделирование двумерного распределения температуры по глубине ферритового цилиндра при его облучении электронным пучком в форвакууме : программа для ЭВМ / А. А. Зенин, А. С. Климов, В. В. Каранский, А. В. Долгова (RU); правообладатель ФГБОУ ВО ТУСУР № 2021660105 ; заявл. 30.06.2021 ; опубл. 12.07.2021. 28 кб.

По своему содержанию, объему проведенных научных исследований, научной новизне, научной и практической значимости, количеству и качеству публикаций, достоверности полученных результатов, проведенное В.В. Каранским исследование соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Диссертация «Модификация изделий из Mn-Zn ферритов в слабоокислительной среде с помощью плазменного источника низкоэнергетических электронов» Каранского Виталия Владиславовича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.5 «Физическая электроника».

Заключение принято на научном семинаре кафедры физической электроники (ФЭ) с приглашением сотрудников кафедр физики, электронных приборов и лаборатории радиационного и космического материаловедения.

Присутствовало на заседании 8 чел., из них 6 докторов наук и 2 кандидата наук. Результаты голосования: «за» – 8 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел., протокол № 38 от «09» июля 2021 г.

Председатель

Д-р техн. наук, зав. каф. ФЭ



П.Е. Троян

Секретарь

канд. техн. наук, ст. препод. каф. ФЭ



Ю.С. Жидик