

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по НИР

ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»

Алексей Александрович Короновский

«21» июня 2019 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Саратовский национальный исследовательский
государственный университет имени Н.Г.Чернышевского»

по диссертации Бочковой Татьяны Сергеевны

«Особенности взаимодействия электромагнитного излучения сверхвысокочастотного и
оптического диапазонов с формирующимися в магнитном поле агломератами
ферромагнитных наночастиц магнитной жидкости»

на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по
специальностям 01.04.03 – Радиофизика,
05.27.01 – Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и
нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах,
выполненной на кафедре физики твердого тела факультета нано- и биомедицинских
технологий.

Соискатель Бочкова Татьяна Сергеевна в 2012 г. окончила Федеральное
государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального
образования «Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»
по специальности «Нанотехнология в электронике» с присвоением квалификации
инженер.

Справка об обучении в аспирантуре № 43-2019 выдана 11.06.2019 года
Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего
образования «Саратовский национальный исследовательский государственный
университет имени Н.Г.Чернышевского».

Диплом об окончании аспирантуры по направлению подготовки 11.06.01 «Электроника, радиотехника и системы» связи выдан 03.07.2017 года № 106404 0031684 Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г.Чернышевского».

Тема диссертационной работы утверждена приказом ректора №82-Д от 12.04.2019 года.

В период подготовки диссертации с 2012 по 2017 г.г. соискатель обучалась в аспирантуре ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского» по направлению подготовки кадров высшей квалификации 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи. В настоящее время является соискателем (Приказ №71-Д от 1.04.2019 г.) для подготовки диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 01.04.03 – Радиофизика и 05.27.01 – Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах, работает в должности инженера лаборатории физики полупроводников НИИМФ.

Научные руководители: Усанов Дмитрий Александрович, ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», заведующий кафедрой физики твердого тела, заслуженный деятель науки РФ, профессор, доктор физико-математических наук и Постельга Александр Эдуардович, ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», доцент кафедры физики твердого тела, кандидат физико-математических наук, утвержденные приказом ректора №82-Д от 12.04.19 представили положительный отзыв о диссертации и соискателе.

Научную экспертизу диссертация проходила на объединенном заседании кафедры физики твердого тела, кафедры физики полупроводников и кафедры медицинской физики факультета нано- и биомедицинских технологий с приглашением специалистов по профилю диссертации из других структурных подразделений СГУ и других научных учреждений. На заседании присутствовали:

1. Вениг С.Б., д.ф.-м.н., профессор, декан ФНБМТ, заведующий кафедрой материаловедения, технологии и управления качеством,
2. Скрипаль Ал.В., д.ф.-м.н., профессор, и. о. заведующего кафедрой физики твердого тела,
3. Скрипаль Ан.В., д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой медицинской физики,

4. Михайлов А.И. д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой физики полупроводников,
5. Аникин В.М., д.ф.-м.н., профессор, декан физического факультета, заведующий кафедрой компьютерной физики и метаматериалов на базе Саратовского филиала института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,
6. Сучков С.Г., д.ф.-м.н., профессор кафедры физики твердого тела,
7. Глухова О.Е., д.ф.-м.н., профессор кафедры физики полупроводников, заведующая кафедрой радиотехники и электродинамики,
8. Семенов А.А., д.ф.-м.н., профессор кафедры физики твердого тела,
9. Постельга А.Э., к.ф.-м.н., доцент кафедры физики твердого тела,
10. Добдин С.Ю., к.ф.-м.н., доцент кафедры медицинской физики,
11. Рытик А.П., доцент кафедры физики твердого тела,
12. Трофимова Н.Б., к.ф.-м.н., доцент кафедры физики твердого тела,
13. Латышева Е.В., к.ф.-м.н., старший преподаватель кафедры физики твердого тела,
14. Гаманюк Т.М., заведующая учебной лабораторией кафедры физики твердого тела,
15. Игонин С.В., аспирант кафедры физики твердого тела,
16. Гуров К.А., аспирант кафедры физики твердого тела.

Рецензенты диссертации:

Скрипаль Анатолий Владимирович, д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой медицинской физики представил положительный отзыв,

Сучков Сергей Германович, д.ф.-м.н., профессор кафедры физики твердого тела представил положительный отзыв.

По итогам обсуждения диссертации принято следующее заключение:

Диссертационная работа Бочковой Татьяны Сергеевны «Особенности взаимодействия электромагнитного излучения сверхвысокочастотного и оптического диапазонов с формирующимися в магнитном поле агломератами ферромагнитных наночастиц магнитной жидкости» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 01.04.03 – Радиофизика, 05.27.01 – Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах, представляет законченное исследование, посвященное исследованию взаимодействия электромагнитного излучения СВЧ и оптического диапазона с агломератами ферромагнитных наночастиц магнитной жидкости и на этой основе возможности определения ее свойств и параметров и соответствует

требованиям п.9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней» для кандидатских диссертаций.

Актуальность темы диссертационной работы обусловлена необходимостью исследования структурной организации ферромагнитных наночастиц в магнитных жидкостях при воздействии на них электрического и магнитного полей и их структурных превращений. Кроме того, также представляет научный и практический интерес определение параметров магнитной жидкости, в том числе для создания систем с управляемыми параметрами.

Новизна исследований, проведенных в ходе диссертационной работы, состоит в следующем:

Показано, что средний размер агломератов, образующихся в магнитной жидкости на основе керосина с диаметром феррочастиц $d=5\div 10$ нм, стабилизированных олеиновой кислотой, объемной долей твердой фазы $\varphi = 0,1$ во внешнем магнитном поле с величиной магнитной индукцией до 0,1 Тл составляет 38 мкм, и увеличивается до 248 мкм в магнитных полях, больших 0,13 Тл.

Установлены характерные особенности в изменении зависимости коэффициента отражения электромагнитного излучения сверхвысокочастотного диапазона, взаимодействующего с магнитной жидкостью, от величины индукции приложенного магнитного поля, носящие пороговый характер и обусловленные динамикой размеров агломератов наноразмерных магнетитовых частиц магнитной жидкости на основе керосина под воздействием приложенного магнитного поля с индукцией до 1,2 Тл, их концентрацией, ориентацией относительно компонент электромагнитной волны и величиной намагниченности.

В разработанной модели расчета коэффициента отражения СВЧ-излучения от слоя магнитной жидкости, полностью заполняющей поперечное сечение волновода, в приложенном магнитном поле, впервые учтено наличие агломератов ферромагнитных наночастиц в магнитной жидкости при решении обратной задачи, связанной с определением параметров магнитной жидкости (среднего диаметра магнетитовых наночастиц, объемной доли твердой фазы, диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь).

Впервые разработан и экспериментально реализован метод модуляции интенсивности поляризованного оптического излучения, проходящего через магнитную жидкость, содержащую, наряду с агломератами магнитных наночастиц,

нанотрубки, и установлен характер увеличения глубины модуляции при увеличении концентрации нанотрубок.

Новизна проведенных исследований подтверждается также полученным патентом РФ на изобретение №2679457 «Способ определения параметров магнитной жидкости».

Практическая значимость полученных результатов заключается в следующем:

Установлено, что в магнитной жидкости на основе керосина с диаметром феррочастиц $d = 5 \div 10$ нм, стабилизированных олеиновой кислотой, объемной долей твердой фазы $\varphi = 0,1$ с ростом магнитной индукции в диапазоне от 0 до 0,02 Тл однодоменные ферромагнитные наночастицы объединяются в агломераты микронных размеров. При значениях индукции магнитного поля, больших 0,02 Тл, вплоть до значения индукции магнитного поля 0,1 Тл наблюдалось увеличение числа агломератов, при этом броуновское движение ферромагнитных наночастиц препятствует образованию агломератов, среднее значение длин которых превышает 38 мкм.

Определены характерные особенности изменения коэффициента отражения электромагнитного излучения СВЧ-диапазона, взаимодействующего с магнитной жидкостью в диапазонах изменения магнитного поля, характеризующихся процессами образования агломератов ферромагнитных наночастиц, увеличением концентрации агломератов при сохранении их среднего размера, увеличением размеров агломератов при уменьшении их числа и увеличением намагниченности агломератов при сохранении их размеров и концентрации.

Разработана методика определения и уточнения параметров магнитной жидкости с использованием спектров отражения сверхвысокочастотного излучения при нескольких значениях температур с учетом образованных агломератов ферромагнитных наночастиц.

Предложен метод модуляции интенсивности поляризованного оптического излучения, проходящего через магнитную жидкость с нанотрубками, при изменении направления вектора индукции воздействующего магнитного поля, который может служить основой для создания магнитооптических модуляторов для передачи информации. Определены диапазоны магнитных полей, внутри которых длины агломератов не зависят от индукции внешнего магнитного поля.

Личный вклад автора выразился в проведении всего объема экспериментальных работ, проектировании и практической реализации экспериментальных методов, проведении компьютерного моделирования и анализе его результатов, анализе полученных экспериментальных результатов, участии в формулировании научных положений и выводов.

Достоверность результатов диссертационной работы обеспечивается соответствием выводов теории полученным экспериментальным результатам, правомерностью упрощающих допущений, сходимостью вычислительных процессов к искомым решениям. Достоверность экспериментальных результатов обеспечена использованием стандартной измерительной аппаратуры, обработкой экспериментальных данных согласно стандартным методам, корректностью использованных методик исследования. Основные результаты и сделанные выводы доложены и обсуждены на научных конференциях.

Апробация работы. Работа выполнена на кафедре физики твердого тела Саратовского государственного университета в период 2012-2019 годов. Основные положения и результаты, полученные в ходе выполнения диссертационной работы, докладывались и обсуждались на:

1. Всероссийских научных школах–семинарах «Взаимодействие сверхвысокочастотного, терагерцового и оптического излучения с полупроводниковыми микро– и наноструктурами, метаматериалами и биообъектами». Саратов, 14–15 мая 2015 г., 18–19 мая 2017 г, 16–17 мая 2018 г., 16–17 мая 2019 г.
2. 18 Международной Плесской конференции по нанодисперсным магнитным жидкостям. Плес, 4–7 сентября 2018 г.
3. XVI Международной научно–технической конференции «Физика и технические приложения волновых процессов». Миасс, 10–14 сентября 2018 г.
4. На семинарах кафедры физики твердого тела.

Исследования выполнялись в рамках государственного задания Минобрнауки России в сфере научной деятельности (базовая часть) 8.7628.2017/БЧ, код проекта 7628 по теме «Разработка новых типов функциональных устройств СВЧ, КВЧ и терагерцового диапазонов и методов диагностики с использованием ближнеполевой СВЧ–микроскопии на основе фотонных кристаллов», проектной части государственного задания в сфере научной деятельности Министерства образования и науки Российской Федерации по теме «Исследование эффектов резонансного взаимодействия электромагнитного излучения сверхвысокочастотного и терагерцового диапазонов с неоднородными микро– и наноструктурами и композитами» №16.1575.2014/К, шифр: «Наноскоп–2»; государственного задания Министерства образования и науки РФ НИР «Разработка на основе фотонных кристаллов СВЧ–методов контроля высокого разрешения параметров наноструктур и нанокомпозитов» на 2012–2014 годы, шифр «Наноконкомплекс».

Результаты, полученные в ходе выполнения диссертационной работы, использованы в учебном процессе для подготовки студентов факультета нано- и биомедицинских технологий СГУ, обучающихся по направлениям бакалавриата и магистратуры «Физика», «Электроника и нанoeлектроника».

Диссертационная работа Бочковой Т.С. соответствует специальностям 01.04.03 – Радиофизика, 05.27.01 – Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах.

По материалам диссертации опубликовано 9 работ, в том числе 4 статьи в журналах, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России, из них 3 статьи в журналах, включенные в базу данных Scopus и Web of Science, 5 работ в сборниках статей по докладам на конференциях, получен патент на изобретение РФ.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ИЗЛОЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ:

В научных изданиях, входящих в международные наукометрические базы (Scopus, Web of Science) и изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ

1. Бочкова Т.С., Игонин С.В., Усанов Д.А., Постельга А.Э. Определение параметров магнитной жидкости по температурной зависимости спектра отражения сверхвысокочастотного излучения с учетом образованных агломератов ферромагнитных наночастиц // Дефектоскопия, 2018. №8. С.41–49.
2. Усанов Д.А., Постельга А.Э., Бочкова Т.С., Гаврилин В.Н. Динамика агломерации наночастиц в магнитной жидкости при изменении магнитного поля // ЖТФ. 2016. Т. 86. № 3. С. 146–148.
3. Усанов Д.А., Постельга А.Э., Бочкова Т.С., Гаврилин В.Н., Игонин С.В. Модуляция поляризованного оптического излучения, проходящего через магнитную жидкость с нанотрубками, при воздействии магнитного поля с изменяющимся направлением // ЖТФ. 2017. Т. 87. № 6. С. 1432–1435.

В изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ

4. Усанов Д.А., Постельга А.Э., Бочкова Т.С., Гуров К.А., Игонин С.В. Многопараметровые измерения структур сверхвысокочастотными волноводными методами // Физика волновых процессов и радиотехнические системы, 2018. Т.21, №3. С.12–17.

В других изданиях

5. Усанов Д.А., Постельга А.Э., Бочкова Т.С., Игонин С.В. Применение теории возмущений для решения обратной задачи по определению параметров магнитной жидкости с учетом агломератов ферромагнитных наночастиц // В сборнике: Взаимодействие сверхвысокочастотного, терагерцового и оптического излучения с полупроводниковыми микро- и наноструктурами, метаматериалами

- и биообъектами: Сборник статей пятой Всероссийской научной школы–семинара / под ред. проф. Д. А. Усанова.– Саратов: Изд–во «Саратовский источник». 2018. С.126–129.
6. Бочкова Т.С., Игонин С.В., Усанов Д.А., Постельга А.Э. Влияние учета агломератов ферромагнитных наночастиц на определение параметров магнитной жидкости по температурной зависимости спектра отражения сверхвысокочастотного излучения // В сборнике: 18–я Международная Плесская научная конференция по нанодисперсным магнитным жидкостям, 2018. С. 341–352.
 7. Усанов Д.А., Постельга А.Э., Бочкова Т.С., Гаврилин В.Н. Агломерация наночастиц магнитной жидкости в магнитном поле // В сборнике: Взаимодействие сверхвысокочастотного, терагерцового и оптического излучения с полупроводниковыми микро– и наноструктурами, метаматериалами и биообъектами: Материалы Всероссийской научной школы–семинара / под ред. проф. Д. А. Усанова. Саратов: Изд–во «Саратовский источник». 2015.С.67–69.
 8. Усанов Д.А., Постельга А.Э., Бочкова, Т.С., Гаврилин В.Н., Игонин С.В. Модуляция поляризованного оптического излучения, проходящего через магнитную жидкость с нанотрубками, при воздействии магнитного поля с изменяющимся направлением // В сборнике: Взаимодействие сверхвысокочастотного, терагерцового и оптического излучения с полупроводниковыми микро– и наноструктурами, метаматериалами и биообъектами: Материалы четвертой Всероссийской научной школы–семинара / под ред. проф. Д. А. Усанова. Саратов: Изд–во «Саратовский источник». 2017. С.31–34.
 9. Усанов Д.А., Постельга А.Э., Бочкова, Т.С., Гаврилин В.Н., Игонин С.В. Модель взаимодействия магнитной жидкости, помещенной во внешнее магнитное поле, с электромагнитной волной СВЧ диапазона // В сборнике: Взаимодействие сверхвысокочастотного, терагерцового и оптического излучения с полупроводниковыми микро– и наноструктурами, метаматериалами и биообъектами: Сборник статей шестой Всероссийской научной школы–семинара / под ред. проф. Д. А. Усанова. Саратов: Изд–во «Саратовский источник». 2019. С.151–155.
 10. Усанов Д.А., Постельга А.Э., Бочкова, Т.С., Игонин С.В. Способ определения параметров магнитной жидкости // Патент на изобретение РФ №2679457. Опубликовано: 11.02.2019. Бюл. № 5. Патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего

образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского».

Диссертация «Определение параметров магнитной жидкости по спектру СВЧ отражения в магнитном поле и характеристик модуляции электромагнитного излучения при прохождении через слой магнитной жидкости» Бочковой Татьяны Сергеевны рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 01.04.03 – Радиофизика, 05.27.01 – Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах как удовлетворяющая критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», для кандидатских диссертаций.

Присутствовало на заседании 8 докторов наук и 4 кандидата наук по профилю диссертации.

Результаты открытого голосования: «за» – **12** чел.; «против» – **нет**, «воздержалось» – **нет** (протокол № 7 от «19» июня 2019 г.).

Председатель заседания

Скрипаль Александр Владимирович,
д.ф.-м.н., профессор, и.о. заведующего
кафедрой физики твердого тела

