

Отзыв

официального оппонента на диссертацию

Бочковой Татьяны Сергеевны

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

представленную 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»

Исследование структуры и свойств композитных сред с наноразмерными включениями является важным направлением радиофизики и твердотельной электроники и имеет большое фундаментальное и прикладное значение. Уникальные свойства таких сред открывают новые возможности для создания на их основе управляемых магнитным полем элементов СВЧ-техники и оптических устройств в широком диапазоне значений магнитных полей, что и определяет актуальность диссертационной работы. При этом рассмотрение многокомпонентных магнитных сред требует сочетания модельных представлений, принятых как в физике твердого тела, так и твердотельной электронике и может позволить сделать новый шаг в развитии СВЧ-технологий.

В диссертации поставлены и решены задачи, связанные с экспериментальным исследованием взаимодействия магнитных жидкостей с электромагнитным излучением.

Одним из важных параметров, определяющих макроскопические свойства и поведение многокомпонентных магнитных сред в магнитном поле, является размер магнитных частиц. Информация о распределении наночастиц по размерам может быть получена методами электронной микроскопии, но такие измерения обладают рядом существенных недостатков. В последнее время в качестве одного из перспективных альтернативных подходов привлекает внимание контроль параметров таких композитов методами СВЧ.

Известен ряд работ, которые посвящены определению параметров магнитной жидкости по спектрам отражения СВЧ-излучения, но в них наблюдалось неполное согласование теоретических и экспериментально полученных характеристик СВЧ-излучения при отражении от слоя магнитной жидкости, помещенной в измерительную систему. Как впервые показано автором диссертации, для корректного описания взаимодействия электромагнитного излучения СВЧ-диапазона с такой многокомпонентной магнитной средой, как магнитная жидкость, при построении модели необходимо учитывать формирующиеся под действием магнитного поля намагниченные агломераты ферромагнитных наночастиц, их концентрацию

и пространственное расположение. Исследование особенностей прохождения и отражения СВЧ-излучения через объём помещённой в магнитное поле магнитной жидкости может позволить получать дополнительную информацию о ее параметрах.

Другой актуальной задачей является создание оптоэлектронных приборов, принцип действия которых основан на использовании амплитудной модуляции линейно поляризованного излучения оптического диапазона, достигаемой при изменении направления вектора индукции магнитного поля, воздействующего на магнитную жидкость.

В связи с этим проведение теоретических и экспериментальных исследований особенностей взаимодействия электромагнитного излучения сверхвысокочастотного и оптического диапазонов с формирующимися под действием магнитного поля микроразмерными агломератами однодоменных ферромагнитных частиц магнитной жидкости и их использование для определения параметров магнитной жидкости и повышения эффективности модуляции линейно поляризованного оптического излучения, взаимодействующего с магнитной жидкостью с многостенными углеродными нанотрубками, при воздействии магнитного поля с изменяющимся направлением, является актуальной проблемой радиофизики и твердотельной электроники.

Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения и списка литературы. Работа изложена на 133 страницах, содержит 42 рисунка, 1 таблицу и список литературы из 155 наименований.

Во введении обоснован выбор направления исследований, обсуждена актуальность работы, определены цель и задачи диссертационной работы, показаны новизна и практическая значимость полученных результатов, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первом разделе приведены особенности и методы исследования процессов образования структур в магнитной жидкости под влиянием магнитного поля, подробно описано взаимодействие электромагнитного излучения с магнитными жидкостями и оценены возможности определения их свойств и параметров. Сделан вывод о необходимости исследования свойств и параметров магнитной жидкости в СВЧ-диапазоне. Также рассмотрен актуальный вопрос разработки новых методов модуляции поляризованного оптического излучения, которое проходит через магнитную жидкость, содержащую углеродные нанотрубки.

Во втором разделе подробно рассмотрен процесс структурообразования магнитной жидкости под действием магнитного поля. Исследована динамика агломерации однодоменных наночастиц в магнитной жидкости на основе керосина при изменении магнитного поля и приведены статистические распределения длин образующихся агломератов от величины индукции магнитного поля. Экспериментально установлено, что в магнитной жидкости зависимость длины агломератов из магнетитовых наночастиц от величины

приложенного магнитного поля имеет пороговый характер. Проанализирована зависимость длин агломератов ферромагнитных наночастиц от индукции приложенного магнитного поля, характеризующаяся наличием четырех участков, что обусловлено 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. Также проиллюстрирован и объяснен пороговый характер зависимости коэффициента отражения СВЧ-излучения, взаимодействующей с магнитной жидкостью, от величины внешнего постоянного магнитного поля и приведены измеренные частотные зависимости коэффициента отражения СВЧ-волны от полубесконечного слоя магнитной жидкости, помещенной в волноводную измерительную ячейку.

В третьем разделе предложена модель для решения прямой задачи по расчету СВЧ-спектра отражения от слоя магнитной жидкости, учитывающая наличие и характер образования агломератов ферромагнитных наночастиц, которые образуются под действием внешнего магнитного поля, с помощью введения эффективных размеров агломератов и использующая аппарат теории возмущений. Показано, что при расчёте частотной зависимости спектра отражения СВЧ-излучения с учетом, модель даёт большую точность определения параметров магнитной жидкости (средний диаметр магнетитовых частиц, объемная доля твердой фазы, диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь) по сравнению с методикой, не учитывающей наличие агломератов. Подробно обсуждены результаты расчетов частотных зависимостей коэффициента отражения от слоя магнитной жидкости при комнатной и пониженной температурах и проиллюстрированы зависимости функции невязок от искомым параметров.

В четвертом разделе показана возможность модуляции интенсивности поляризованного оптического излучения при прохождении через магнитную жидкость и суспензию магнитной жидкости с углеродными многостенными нанотрубками, имеющими длину порядка 2 мкм, внутренний диаметр 3–8 нм и наружный диаметр 20–40 нм. Экспериментально выяснено, что изменение направления вектора индукции магнитного поля, воздействующего на магнитную жидкость, позволяет модулировать мощность прошедшего через тонкий слой магнитной жидкости поляризованного лазерного излучения. Показано, что при введении в магнитную жидкость нанотрубок наблюдается их агломерация вдоль нитевидных образований из ферритовых наночастиц, в результате чего увеличивается результирующая толщина и проводимость агломератов из нанотрубок и ферритовых наночастиц, и, как следствие, увеличивается глубина модуляции прошедшего излучения.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы, полученные в ходе выполнения диссертационной работы.

Научная новизна, обоснованность и практическая значимость полученных в диссертации результатов не вызывают сомнений. С моей точки зрения, к числу наиболее важных из полученных результатов можно отнести следующее:

1. Установление порогового характера зависимости коэффициента отражения СВЧ-излучения, взаимодействующего с магнитной жидкостью, от величины приложенного магнитного поля, что обусловлено изменением размеров агломератов, образованных наноразмерными магнетитовыми частицами 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.
2. Учет наличия 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) в разработанной модели расчета коэффициента отражения СВЧ-излучения от слоя магнитной жидкости, полностью заполняющей поперечное сечение волновода, в приложенном магнитном поле.
3. Реализация метода 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.

Результаты проведенных исследований имеют несомненную практическую ценность как с точки зрения разработки методики определения и уточнения параметров магнитной жидкости с использованием спектров отражения сверхвысокочастотного излучения с учетом образованных агломератов ферромагнитных наночастиц, так и создания радиоэлектронных устройств с управляемыми магнитным полем характеристиками.

Обоснованность и достоверность полученных диссертантом результатов, положений и сделанных им выводов обеспечивается обоснованностью выбранного метода теоретического описания взаимодействия электромагнитного излучения СВЧ-диапазона с магнитной жидкостью, использованием современной измерительной аппаратуры, обработкой экспериментальных данных с использованием стандартных апробированных методов, качественным и количественным соответствием выводов теории основным результатам, полученным экспериментально.

Новизна и практическая значимость предлагаемого автором способа определения параметров магнитной жидкости также подтверждена полученным патентом РФ на изобретение №2679457.

Тематика диссертации позволяет сделать вывод об обоснованности представления ее на стыке специальностей: радиофизика и твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых устройствах.

В качестве недостатков работы можно указать следующее.

1. В разделе 3 диссертационной работы для расчета постоянной распространения электромагнитной волны на участке волновода, содержащем магнитную жидкость с агломератами ферромагнитных наночастиц, использован аппарат теории возмущений. При этом автором не определена степень корректности его применения для магнитной жидкости с высокой объёмной долей твердой фазы.
2. Там же для описания магнитной жидкости с агломератами ферромагнитных наночастиц использована модель, представляющая магнитную жидкость в виде структуры с чередующимися слоями с различной концентрацией наночастиц магнетита. Однако автором недостаточно обоснована предложенная модель.
3. В разделе 3 не приведено описание метода расчета погрешностей предложенного автором способа определения параметров магнитной жидкости.

Изложенные недостатки не носят принципиального характера и поэтому не снижают ценности проведенных исследований.

Таким образом, работа Бочковой Т.С. является **законченным научным исследованием**, которое может быть квалифицировано как решение важной научной задачи, посвященной выявлению особенностей взаимодействия электромагнитного излучения сверхвысококачественного и оптического диапазонов с формирующимися в магнитном поле агломератами ферромагнитных наночастиц магнитной жидкости и их использование для определения параметров магнитной жидкости и повышения эффективности модуляции поляризованного оптического излучения, взаимодействующего с магнитной жидкостью с нанотрубками, во внешнем магнитном поле с переменным направлением, имеющей существенное значение для радиофизики и твердотельной электроники.

По результатам исследований, выполненных при работе над диссертацией, опубликовано 9 работ, в том числе четыре статьи в журналах, рекомендованных ВАК при Министерстве образования и науки Российской Федерации, из них три статьи в журналах, включенных в базу данных Scopus и Web of Science. Получен патент РФ, опубликованы пять работ в сборниках статей по докладам на конференциях.

Автореферат полностью отражает основное содержание диссертации. Диссертация написана грамотным профессиональным языком, иллюстративный материал оформлен хорошо.

Считаю, что диссертационная работа Бочковой Т.С. «Особенности взаимодействия электромагнитного излучения сверхвысокочастотного и оптического диапазонов с формирующимися в магнитном поле агломератами ферромагнитных наночастиц магнитной жидкости» соответствует критериям пп. 9–11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а автор диссертации Бочкова Татьяна Сергеевна заслуживает присуждения ей 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.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, ст. н. с.,
заместитель директора по научной работе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук (ИТПЭ РАН),

РОЗАНОВ Константин Николаевич

27.11.19.

Контактные данные:

Москва, 125412, Ижорская ул., д. 13, ИТПЭ РАН

тел. +7 (495) 485 9822, +7 (905) 570 6176, эл. почта k.rozanov@yandex.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация на соискание степени доктора физико-математических наук – 01.04.11 – Физика магнитных явлений

Личную подпись РОЗАНОВА Константина Николаевича

«ЗАВЕРЯЮ»

Ученый секретарь ИТПЭ РАН,
к.ф.-м.н.



КУНАВИН Анатолий Тимофеевич