

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ

по защите диссертации Данилова Георгия Егоровича «Разработка методов и средств сканирующей ГМИ-магнитометрии для исследования локальных магнитных свойств материалов и изделий», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. «Физика конденсированного состояния» и состоявшейся в НИТУ МИСИС 30.09.2024.

Диссертация принята к защите Диссертационным советом НИТУ МИСИС 15.04.2024, протокол №19.

Диссертация выполнена на кафедре цветных металлов и золота федерального государственного автономного учреждения высшего образования Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС».

Научный руководитель - кандидат физико-математических наук Гудошников Сергей Александрович, доцент кафедры цветных металлов и золота НИТУ МИСИС.

Экспертная комиссия утверждена Диссертационным советом НИТУ «МИСиС» (протокол № 19 от 15.04.2024) в составе:

1. Калошкин Сергей Дмитриевич – д.ф.-м.н., директор ИНМИН НИТУ МИСИС – председатель комиссии.

2. Панина Лариса Владимировна – д.ф.-м.н., профессор кафедры технологии материалов электроники НИТУ МИСИС.

3. Ховайло Владимир Васильевич – д.ф.-м.н., профессор кафедры функциональных нано-систем и высокотемпературных материалов НИТУ МИСИС;

4. Перов Николай Сергеевич – д.ф.-м.н., заведующий кафедрой магнетизма, Физический факультет федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова».

5. Фетисов Леонид Юрьевич – д.ф.-м.н., профессор кафедры нанoeлектроники федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет».

В качестве ведущей организации утверждено федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук, г. Москва.

Экспертная комиссия отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1. проведена модернизация сканирующего магнитометра на основе магнитоимпедансного ГМИ-датчика, в результате которой улучшены его магнитная чувствительность (с 50 нТл до 10 нТл), пространственное разрешение (с 2,5 мм до 1,3 мм) и добавлена система, обеспечивающая задание продольного магнитного поля в диапазоне ± 600 А/м ($\pm 750\,000$ нТл). Усовершенствования позволили проводить измерения пространственного распределения перпендикулярной компоненты магнитного поля вблизи поверхности исследуемых объектов с малым, менее $1\text{ мкА}\cdot\text{м}^2$, магнитным моментом, при их намагничивании внешним магнитным полем;

2. разработан способ магнитной калибровки выходного сигнала сканирующего ГМИ-магнитометра, в котором эталонное распределение магнитных полей порождается линейной токовой структурой;
3. показано, что на основе анализа пространственных распределений магнитных полей образцов печатных знаков текста, содержащих микроколичества магнитных наночастиц оксида железа, может быть проведена идентификация индивидуальных особенностей напечатанных текстов;
4. показано, что из измерений магнитных полей рассеяния аморфных микропроводов могут быть оценены величины намагниченности насыщения, данные о распределении областей намагниченности, значение критического магнитного поля скачкообразного переключения намагниченности и ширина замыкающих магнитных доменов в продольных внешних магнитных полях амплитудой до 600 А/м.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

1. Сравнения модельных и экспериментальных распределений магнитных полей двухпроводных токовых линий различной конфигурации позволили определить условия, при которых протяженный ГМИ-датчик может рассматриваться как точечный магнитный датчик, измеряющий локальные магнитные поля.
2. Экспериментальные распределения вертикальной компоненты магнитной индукции над отрезком аморфного микропровода на основе железа могут быть с хорошей точностью описаны моделью магнитного диполя. Сопоставление экспериментальных и модельных данных позволило определить величину намагниченности насыщения, критическое магнитное поле скачкообразного переключения намагниченности и ширину замыкающих магнитных доменов.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

1. в работе представлены примеры возможных применений сканирующего ГМИ-магнитометра и метода в целом. В частности, результаты измерений распределения магнитных полей рассеяния вблизи токовых структур показывают возможность бесконтактного определения величины протекающего в проводниках тока, определения координат токовых линий, а также обнаружения неисправностей в виде замыканий или разрывов в параллельных электрических цепях;
2. показано, что измерения остаточного магнитного момента образцов знаков текста в документах, напечатанных с помощью лазерных принтеров, могут быть использованы для их идентификации в задачах судебной экспертизы;
3. возможность количественных измерений магнитных полей рассеяния над отрезками микропроводов на основе железа, может быть использована при разработке скрытых магнитных меток для подтверждения подлинности товаров.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

Полученные экспериментальные данные хорошо коррелируют с модельными расчетами магнитных полей различных токовых структур.

Личный вклад соискателя состоит в выполнении значительного объема исследований, к которым относится:

1. доработка конструкции сканирующего ГМИ-магнитометра, включающая: изготовление дополнительного источника продольного магнитного поля для намагничивания образцов, оптимизацию конструкции ГМИ-датчика и измерительной головки, обеспечивающих ортогональность оси ГМИ-датчика относительно оси системы колец Гельмгольца и минимальное расстояние до измеряемого образца;
2. разработка методики магнитной калибровки выходного сигнала ГМИ-датчика и определение пространственного разрешения сканирующего ГМИ-магнитометра;
3. разработка специализированного программного обеспечения для визуализации распределения перпендикулярной компоненты магнитного поля и сравнения экспериментальных данных с модельными расчетами, получение калибровочных коэффициентов ГМИ-датчика;
4. разработка методики и проведение количественных измерений магнитных полей рассеяния вблизи поверхности образцов печатных знаков текста, содержащих микроконцентрации магнитных наночастиц оксида железа с остаточным магнитным моментом менее $1 \text{ мкА} \cdot \text{м}^2$;
5. разработка методики и проведение количественных измерений магнитных полей рассеяния вблизи поверхности образцов аморфных ферромагнитных микропроводов на основе Fe при их намагничивании продольным магнитным полем и исследование распределения намагниченности;
6. оформление результатов в виде публикаций и научных докладов, подготовка материалов для свидетельства для регистрации программы и патента «Программный комплекс для анализа магнитных полей рассеяния слабомагнитных объектов» и «Способ определения петель гистерезиса аморфных ферромагнитных микропроводов на основе железа»;

Соискатель представил 3 печатные работы, две из которых опубликованы в высокорейтинговых (Q1) научных журналах, индексируемых международными базами данных Scopus и Web of Science, одна - в издании, рекомендованном ВАК РФ для опубликования научных результатов диссертаций, результаты доложены на 7 Всероссийских и международных конференциях. Получен 1 патент РФ на изобретение и 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Часть результатов диссертационной работы получена в ходе выполнения проекта РНФ 20-10-00607 и программы «Приоритет 2030» проект СП1-П01.

Пункт 2.6 Положения присуждения ученой степени кандидата наук, ученой степени доктора наук НИТУ «МИСиС» соискателем ученой степени не нарушен.

Диссертация Данилова Георгия Егоровича соответствует критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ «МИСиС», так как в ней на основании выполненных автором исследований: разработаны научные и практические подходы к созданию сканирующего ГМИ-магнитометра, отличающегося улучшенными пространственным разрешением и

чувствительностью. На его основе разработаны новые экспериментальные методы измерения количественных распределений магнитных полей в объектах с ультрамалыми магнитными моментами, представляющих собой слаботочные проводящие структуры, ансамбли магнитных наночастиц и ферромагнитные микропровода.

Экспертная комиссия приняла решение о присуждении Данилову Георгию Егоровичу ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. «Физика конденсированного состояния».

При проведении тайного голосования экспертная комиссия в количестве 5 человек, участвовавших в заседании и входящих в состав комиссии, проголосовала: за 5, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель Экспертной комиссии



/Калошкин С.Д./

30.09.2024