

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по инновационной
деятельности

ФГБОУ ВО «Уфимский
университет науки и
технологий»

к.т.н., доцент Г.К. Агеев

«17» ~~сентября~~ / 2024 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Уфимский университет науки и технологий»
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации

Диссертация «Устойчивые состояния и свойства плоских магнитных структур, образующихся в окрестности антидотов в легкоплоскостных магнитных пленках» выполнена на кафедре теоретической физики физико-технического института федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий».

В период подготовки диссертации соискатель Канбеков Раушан Русланович работал и по настоящее время работает в должности младшего научного сотрудника лаборатории «Дизайн новых материалов» физико-технического института федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий».

Канбеков Раушан Русланович в 2021 году окончил магистратуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Башкирский государственный университет» по направлению подготовки 01.04.02 Прикладная математика и информатика с присвоением квалификации Магистр.

Справка со сведениями о сданных кандидатских экзаменах по истории и философии науки (физико-математические), иностранному языку (английский) и по научной специальности 1.3.3. Теоретическая физика № 57-24 выдана 28.05.2024 г. федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Уфимский университет науки и технологий».

Справка со сведениями о сданных кандидатском экзамене по научной специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника № 58-24 выдана 28.05.2024 г. федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Уфимский университет науки и технологий».

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Вахитов Роберт Миннисламович, заведующий кафедрой теоретической физики физико-технического института федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий».

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

1. Личное участие соискателя ученой степени в получении результатов, изложенных в диссертации.

Личное участие соискателя состоит в: проведении аналитических и численных расчетов и анализе их результатов, построении графиков, обсуждении результатов, написании статей. В диссертацию включены результаты, полученные лично Канбековым Раушаном Руслановичем при его

непосредственном участии за время работы над диссертацией на кафедре теоретической физики ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий».

2. Актуальность темы.

В последнее время темпы роста вычислительных возможностей логических и запоминающих устройств на полупроводниковых технологиях стремительно снижается из-за достижения предела своего развития. В результате возникает необходимость в развитии новых принципов функционирования наноэлектроники, которые позволили бы, в частности, существенно повысить плотность записи данных на носителях информации, а также эффективность доступа к ним. Одним из перспективных подходов к решению этой задачи является использование управляемой динамики вихреподобных структур (магнитных вихрей, скирмионов, цилиндрических магнитных доменов и т.д.), наблюдаемых в магнитных пленках при определенных условиях. Однако был предложен еще один новый тип нанообъектов формирующихся в магнитной пленке с одноосной анизотропией типа «легкая плоскость», содержащей перфорации, в окрестности которых образуются вихреподобные магнитные неоднородности, лежащие в плоскости пленки и имеющие топологический заряд. Эти плоские микромагнитные структуры, являются метастабильными образованиями, однако они могут стать устойчивыми, если вдоль одного из антидотов подать импульс тока. Такие структуры, могут находиться в одном из трех неэквивалентных состояний: одном однородном и двух неоднородных, различающихся знаками топологических зарядов и энергией. На этой основе могут быть созданы ячейки памяти, позволяющие кодировать информацию в троичной системе исчисления, что обеспечивает значительное увеличение плотности записи данных на носителях. Однако для реализации таких систем необходимо изучить особенности их структуры и свойств, а также область их устойчивых состояний относительно изменений физических параметров системы,

обусловленных действием внешних магнитных полей и температурных изменений среды.

3. Степень достоверности результатов, проведенных соискателем ученой степени исследований.

Научные положения и выводы, приводимые автором диссертации, строго обоснованы. Достоверность результатов диссертации основана на использовании фундаментальных уравнений, качественном согласии аналитических расчетов с численными расчетами в известных пакетах программ для моделирования открытого доступа.

Основные результаты работы обсуждались на многочисленных научных конференциях, на региональных и международных школах-семинарах, также опубликованы в виде статей в журналах, в том числе входящих в наукометрическую базу данных Scopus. Вышеуказанное позволяет сделать вывод об обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

4. Новизна результатов исследования.

В результате исследования вихреподобных неоднородностей, возникающих в окрестности перфораций в плоских магнитных пленках, выявлены новые научные данные и зависимости, проведены численные расчеты в программах для моделирования. В частности, по научной специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника:

- Проанализировано влияние тепловых флуктуаций на устойчивость топологически защищенных структур, и найдены различные сценарии их разрушения.
- Впервые рассчитано влияние размагничивающих полей пленок на структуру и устойчивость плоских магнитных структур, образующихся вблизи двух отверстий, размеры которых сопоставимы с расстоянием

между ними и показано, что они не разрушаются в достаточно широком интервале изменения температур.

- Определено пороговое значение константы легкоплоткостной анизотропии, выше которой плоские магнитные структуры, образующиеся в окрестности двух близлежащих антидотов, являются устойчивыми образованиями. Найдены конкретные типы магнитных материалов (например, пермаллой), в которых рабочий диапазон изменения температур, согласуются с пороговыми значениями константы анизотропии.

По научной специальности 1.3.3. Теоретическая физика:

- Доказана эквивалентность двух способов формирования плоских магнитных структур: в магнитных пленках с антидотами и в тех же пленках с дефектами.
- Выявлена возможность формирования плоских магнитных структур в пермалловых пленках с антидотами, приемлемых для записи информации в троичной системе исчисления.
- Впервые рассчитано влияние внешнего магнитного поля на структуру и устойчивость плоских магнитных неоднородностей, образующихся в окрестности антидотов в исследуемых пленках и определено их критические значения, выше которых они разрушаются.

5. Теоретическая и практическая значимость исследования.

Научные положения и выводы, приводимые автором диссертации, существенно расширяют представления о структуре и свойствах вихреподобных неоднородностей, зарождающихся в окрестностях антидотов на ферромагнетике, а также о влиянии различных магнитных параметров на устойчивость таких структур.

Полученные результаты могут найти практическое применение в создании вычислительно-запоминающих устройств на троичной логике, что улучшит вычислительный потенциал электронных устройств.

Кроме того, практическую ценность имеют и численные методы, развитые в настоящей работе, т.к. позволяют на персональных компьютерах с небольшой вычислительной мощностью рассчитать распределение намагниченности в области антидотов произвольного магнитного образца.

6. Соответствие диссертации требованиям, установленным пунктом 14 Положения о порядке присуждения ученых степеней.

В диссертационной работе на тему «Устойчивые состояния и свойства плоских магнитных структур, образующихся в окрестности антидотов в легкоплоскостных магнитных пленках» соискатель ученой степени Канбеков Р.Р. ссылается на авторов и источники заимствования материалов и отдельных результатов. При использовании в диссертации результатов научных работ, выполненных соискателем лично и в соавторстве, Канбеков Р.Р. отметил данное обстоятельство в диссертационной работе.

7. Специальности и отрасль науки, которым соответствует диссертационное исследование Канбекова Р.Р.

- Паспорту научной специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника (отрасль науки – физико-математические) по следующим направлениям: 2. Аналитические и численные исследования теплофизических свойств веществ в различных агрегатных состояниях. 4. Экспериментальные и теоретические исследования процессов взаимодействия интенсивных потоков энергии с веществом.

Отрасль науки – физико-математические, поскольку результаты исследований имеют фундаментальный характер и могут быть использованы при разработке логических и запоминающих устройств в троичной системе

записи информации, в которых в качестве рабочей среды используется магнитные пленки.

- Паспорту научной специальности 1.3.3. Теоретическая физика (отрасль науки – физико-математические) по следующим направлениям исследования: 5. Теория конденсированного состояния. Изучение различных состояний вещества и физических явлений в них. Статистическая физика. Теория фазовых переходов. Физическая кинетика. 8. Решеточные модели теории поля. Моделирование физических процессов на решетке.

Отрасль науки – физико-математические. Аналитические методы, развитые в работе, обладают самостоятельной ценностью, в частности, они выявляют связь между спектральными свойствами операторов Шредингера и топологическими особенностями плоских магнитных неоднородностей. Кроме того, доказанная теорема об эквивалентности двух способов формирования неоднородностей позволяет результаты исследований пленок с искусственными созданными дефектами переносить на те же пленки с антидотами.

8. Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем ученой степени.

Содержание диссертационной работы достаточно полно отражено в научных публикациях. По материалам диссертации опубликовано 7 научных работ, все из которых входят в международную базу данных Scopus.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

Входящих в международную базу данных Scopus:

1. Магадеев Е.Б., Теория вихреподобных структур в перфорированных магнитных пленках с учетом размагничивающих полей. / Магадеев Е.Б., Вахитов Р.М., Канбеков Р.Р. // ЖЭТФ. – 2022. – Т. 162. – № 3(9). – С. 417-425.

2. Магадеев Е.Б., Особенности формирования плоских неоднородных структур в наноразмерных магнитных пленках. / Магадеев Е.Б., Вахитов Р.М., Канбеков Р.Р. // ЖЭТФ. – 2023. – Т. 163(1). – С. 78-86.

3. Magadeev E.B., Stability of nontrivial magnetic structures in ferromagnetic films with antidots. / Magadeev E.B., Vakhitov R.M., Kanbekov R.R. // Journal of Physics: Condensed Matter. – 2023. – Vol. 35. – 015802.

4. Magadeev E.B., Vortex-like nano-objects in perforated permalloy films. / Magadeev E.B., Vakhitov R.M., Kanbekov R.R. // Europhysics Letters. – 2023. – Vol. 142(2). – 26001.

5. Magadeev E.B., Two methods of forming flat magnetic structures in magnetic films with topological features. / Magadeev E.B., Vakhitov R.M., Kanbekov R.R. // Journal of Physics: Condensed Matter. – 2023. – Vol. 35(21). – 215801.

6. Magadeev E.B., Impact of an external magnetic field on vortex-like magnetic structures in perforated films / Magadeev E.B., Vakhitov R.M., Kanbekov R.R. // Physica B: Condensed Matter. – 2024. – Vol. 690. – 416136.

7. Magadeev E.B., Features of magnetic structures in perforated films due to the finite thickness of the sample. / Magadeev E.B., Vakhitov R.M., Kanbekov R.R. // Journal of Physics: Condensed Matter – 2024. – Vol. 36(42). – 425802.

По актуальности поставленных задач, методическому и научному уровню исследований, их новизне и практической значимости диссертационная работа «Устойчивые состояния и свойства плоских магнитных структур, образующихся в окрестности антидотов в легкоплоскостных магнитных пленках» Канбекова Раушана Руслановича является законченной научно-квалификационной работой. Диссертация полностью отвечает требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (в ред. от 25.01.2024 г.),

предъявляемым к кандидатским диссертациям, и рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научным специальностям 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника и 1.3.3. Теоретическая физика.

Заключение принято на заседании кафедры теоретической физики физико-технического института федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий».

Присутствовало на заседании 12 человек, из них докторов наук – 5 человек.

Результаты голосования: «за» - 12 чел., «против» - нет, «воздержалось» - нет, протокол № 6 от «14» июня 2024 г.

Председательствующий:

доктор физико-математических наук, доцент,
профессор кафедры теоретической физики
федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования «Уфимский университет науки и
технологий»

Шарафуллин

Ильдус Фанисович

