

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

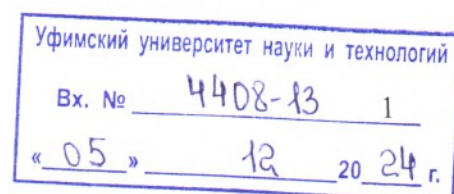
кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника Лаборатории магнитных явлений в микроэлектронике Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова Российской академии наук Каманцева Александра Павловича на диссертационную работу Канбекова Раушана Руслановича на тему: «**Устойчивые состояния и свойства плоских магнитных структур, образующихся в окрестности антидотов в легкоплоскостных магнитных пленках**», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научным специальностям 1.3.14. – Теплофизика и теоретическая теплотехника и 1.3.3. – Теоретическая физика.

### Актуальность работы

Диссертационная работа Канбекова Р.Р. посвящена исследованию устойчивых состояний, особенности топологии и свойств плоских вихреподобных неоднородностей, образующихся в тонких перфорированных магнитных пленках с одноосной анизотропией типа «легкая плоскость».

В настоящее время ведутся интенсивные исследования по разработке и внедрению нового поколения логических и запоминающих устройств со сверхплотной записью информации и произвольного доступа. Общепринятым считается, что одним из перспективных технологий, развиваемых в данном направлении, является использование в качестве физической реализации носителя информации магнитных скирмионов, на основе которых возможна создание достаточно дешевой энергонезависимой оперативной памяти с произвольной выборкой, а также быстродействием и плотности записи сравнимой со статической памятью SRAM. В то же время ведутся поиски и других возможных способов записи информации на основе топологически защищенных структур, в частности на магнитных вихрях, хопфионах и т.д.

Недавно был предложен еще один способ построения запоминающих устройств на подобных магнитных структурах, который представляется достаточно оригинальным и перспективным проектом. В его основе лежат плоские магнитные структуры, образующиеся в перфорированных магнитных легкоплоскостных пленках в окрестностях двух (или четырех) антидотов. Эти неоднородности могут принимать одно из трех эквивалентных метастабильных состояний, которые при пропускании тока вдоль одного из антидотов становятся устойчивыми структурами, что можно использовать для записи и хранения информации в троичной системе исчисления.



Однако для реализации этой идеи необходимо было исследовать свойства и устойчивость вихреподобных неоднородностей, их поведение при критических значениях материальных параметров, внешних полей и температур, что и являлось работой Канбекова Р.Р. в рамках этой диссертационной работы.

### **Общая характеристика работы**

Диссертационная работа Канбекова Р.Р. состоит из введения, семи глав, включающих аналитический обзор литературы, результатов собственных исследований, выводы, заключение и список литературы (98 наименований). Общий объем диссертации составляет 154 стр. Работа содержит 2 таблицы и 44 рисунка.

**Во введении** приведена общая характеристика исследования, определены его актуальность, цель и задачи, научная новизна, а также значимость с теоретической и практической точек зрения, проведена оценка степени разработанности подходов к решению поставленной проблемы и полноты апробации результатов исследования.

**В первой главе** представлена общая информация о современном состоянии исследований вихреподобных магнитных структур. Проведен анализ существующих пакетных программ для микромагнитного моделирования.

**Во второй главе** изучаются вихреподобные наноструктуры формирующиеся в перфорированных тонких магнитных пленках с анизотропией типа «легкая плоскость». Исследовано влияние размагничивающих полей на структуру изучаемых неоднородностей, возникающих в области 2 и 4 отверстий.

**В третьей главе** найдены предельные значения констант анизотропии, при которых вихреподобные плоские структуры становятся устойчивыми.

**В четвертой главе** исследован другой метод формирования устойчивых неоднородностей с помощью дефектов с наименее выраженной анизотропией чем в пленке. Доказано, что этот способ эквивалентен способу формирования с помощью отверстий.

**В пятой главе** формирование и устойчивость исследуемых вихреподобных неоднородностей в пленках пермаллоя за счет компенсации ан, Получены оценочные размеры отверстий, при которых в пермаллое могут существовать устойчивые структуры.

**В шестой главе** исследовано влияние внешнего магнитного поля на устойчивость вихреподобных неоднородностей. Найдены критические значения внешнего поля, выше которого исследуемые структуры разрушаются

**В седьмой главе** исследовано влияние тепловых флуктуаций на устойчивость вихреподобных структур. Изучены сценарии разрушения с течением времени при влиянии температурных изменений.

**В заключении** приведены основные выводы по диссертационной работе.

**Список литературы** включает 98 источников.

В целом, структура и содержание диссертационной работы соответствуют требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Автореферат объективно и в полной мере отражает содержание диссертационной работы.

#### **Степень обоснованности научных положений, сформулированных в диссертации**

Обоснованность представленных в диссертационной работе научных положений подтверждается: адекватностью используемых соискателем математических моделей реальным физическим процессам; использованием стандартных и современных методов исследования; корректностью использования общепринятых физических принципов и применение математического аппарата при анализе существующих магнитных структур; соответствием аналитических выводов результатам математического моделирования и их согласованием с данными других исследователей.

#### **Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Новизна научных положений состоит в том, что впервые детально исследованы плоские магнитные структуры, возникающие в области двух или четырех перфорации в магнитоодносной пленки с анизотропией типа «легкая плоскость». Впервые показано, что такие неоднородности могут возникать как устойчивые структуры в пермалловых пленках и найдены оценочные размеры отверстий, при которых они могут формироваться. Найдены предельные значения внешних магнитных полей, выше которых изучаемые структуры разрушаются. Выявлены возможные сценарии разрушения при влиянии тепловых флуктуаций.

#### **Общие замечания:**

1. В работе приведено малое количество примеров магнитных материалов, в которых вихревые структуры могут формироваться.
2. В работе не приведены примеры скриптов по проведенным вычислениям в пакетах микромагнитного моделирования OOMMF и Ubermag.
3. В работе недостаточно подробно освещены потенциальные возможности применения изучаемых вихреподобных неоднородностей.
4. Непонятно почему соискатель исследовал влияние размагничивающих полей на вихревые структуры, если и так вполне очевидно, что они усиливают их устойчивость.
5. В работе присутствуют опечатки и пунктуационные ошибки, например на стр. 42 в слове «неоднородностей» пропущена вторая буква «д».

Следует отметить, что приведенные замечания не снижают актуальности, научной новизны и практической значимости работы.

## Заключение

Диссертационная работа Канбекова Раушана Руслановича представляет собой законченное научное исследование на актуальную тему, результаты которого имеют теоретическое и практическое значение. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключение обоснованы.

Положения, выносимые на защиту, прошли апробацию на международных конференциях и в достаточной степени опубликованы в рецензируемых журналах.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертационная работа Канбекова Р.Р., представленная на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, полностью соответствует требованиям пунктов 9-11, 13 и 14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по научным специальностям 1.3.14. – Теплофизика и теоретическая теплотехника и 1.3.3. – Теоретическая физика.

*Согласен на обработку моих персональных данных, размещение персональных данных и моего отзыва на диссертацию на сайте ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» и в Федеральной информационной системе государственной научной аттестации (ФИС ГНА).*

### **Официальный оппонент:**

кандидат физико-математических наук по научной специальности: 1.3.8. – Физика конденсированного состояния, старший научный сотрудник Лаборатории магнитных явлений в микроэлектронике Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова Российской академии наук

Каманцев  
Александр Павлович

Дата: «02» декабря 2024 г.

Адрес: 125009, Россия, г. Москва, ул. Моховая, д. 11 корп. 7. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова Российской академии наук (ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН)  
Телефон: +7 (495) 629-35-06; E-mail: [kama@cplire.ru](mailto:kama@cplire.ru)

Подпись Каманцева Александра Павловича удостоверяю:

*Сей. ин. Канбеков  
Терещева Л. П.*