

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертационной работе Канбекова Раушана Руслановича «Устойчивые состояния и свойства плоских магнитных структур, образующихся в окрестности антидотов в легкоплоскостных магнитных пленках», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальностям 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника, 1.3.3. Теоретическая физика.

Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа Канбекова Р.Р. посвящена исследованию распределения намагниченности в наноструктурированных ферромагнитных пленках, содержащих массив антидотов или массив наноразмерных дефектов с магнитными свойствами, отличными от характеристик основного объема пленки. Подобные искусственные материалы нашли широкое распространение в устройствах спинтроники, а также при создании устройств хранения информации. Внесение наноразмерных изменений в геометрию ферромагнитной пленки изменяет ее магнитные свойства. В результате механическим путем можно создавать материалы с заданными магнитными свойствами.

Исследование образования скирмионов в магнитных материалах является перспективным направлением так как позволяет создавать ячейки памяти с низким энергопотреблением. Антидоты являются объектам, которые могут притягивать и стабилизировать вихреподобные структуры и, в частности, скирмионы. Поэтому изучение образования и стабилизации плоских магнитных структур вблизи наноразмерных антидотов является актуальной задачей.

Таким образом результаты диссертационной работы актуальны для развития теории ферромагнитных наноматериалов материалов и имеют прикладное значение при создании устройств спинтроники и ячеек хранения информации.

Общая характеристика содержания диссертации

Диссертация содержит 154 страницы, состоит из введения, семи глав, заключения и списка литературы.

Во введении обоснована актуальность исследования, сформулированы цели и задачи исследования, а также приведены основные положения, выносимые на защиту, и новизна полученных результатов.

В первой главе проведен обзор основных сведений о скирмионах и методах их микромагнитного моделирования. Также выполнен обзор технологий

Вх. №	4264-13
« 27 »	11 20__ г.

программных пакетов, используемых для компьютерного моделирования поведения скирмионов.

Во второй главе приведены результаты исследования плоских магнитных вихреподобных неоднородностей, возникающих в ферромагнитных пленках с антидотами при наличии легкоплоскостной анизотропии. Антидоты моделируются в виде наноразмерных отверстий с различной геометрией. Изучено влияние магнитных полей на вихреподобные неоднородности, локализующиеся в окрестности одного, двух или четырех антидотов.

Третья глава посвящена развитию средств исследования, позволяющих вычислять предельные значений констант анизотропии, обеспечивающих устойчивость вихреподобных наноструктур.

В четвертой главе проведено исследование ферромагнитных пленок с искусственными дефектами сквозного типа с менее выраженной, либо отсутствующей анизотропией. Такие пленки моделируются с помощью кусочно-гладких функций, описывающих изменение их параметров. Показано, что такие дефекты дают те же закономерности формирования топологических структур, как и антидоты.

В пятой главе исследуются наноструктурированные объекты в пленках пермалоя, которые не относятся к легкоплоскостным ферромагнетикам, но компенсируют отсутствие кристаллической анизотропии наличием анизотропии формы, которая может дать такой же эффект.

В шестой главе изучается влияние внешнего магнитного поля, перпендикулярного к плоскости пленки на устойчивость вихреподобных магнитных структур. Исследованы трансформации распределения намагниченности в присутствии относительно слабых полей, а также возможность разрушения магнитных структур под воздействием полей высокой напряженности. Получены критические значения напряженности магнитного поля.

В седьмой главе с помощью моделирования методом Монте-Карло исследуется влияние тепловых флуктуаций на устойчивость вихреподобных магнитных структур. Исследована динамика цепочки спинов, образующих скирмион, при различных температурах.

В заключении обобщены основные результаты диссертационного исследования.

Обоснованность и достоверность основных выводов и положений

Основные положения и выводы работы являются обоснованными, они базируются на применении аналитических методов и методов микромагнитного моделирования, многократно апробированных и активно используемых при исследовании магнитных материалов. Все выводы и результаты подробно обсуждаются в диссертации, обосновываются с физической точки зрения и сравниваются с результатами реального эксперимента.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственных заданий на выполнение научных исследований, соглашение приказ MN-8/1356 от 20.09.2021 и №075-03-2024-123/1 от 15.02.2024, тема №0324-21.

Публикации по теме диссертации

Результаты диссертационной работы опубликованы в 7 научных работах, индексируемых в наукометрических базах Web of Science и SCOPUS, получено 1 свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Автореферат достаточно полно отражает основное содержание диссертации.

Новизна исследований и полученных результатов и выводов, сформулированных в диссертации

Научная новизна результатов диссертации состоит в получении ряда результатов, обладающих научной новизной, наибольший интерес из которых представляют следующие:

1. Установление того факта, что учет влияния размагничивающих полей не приводит к заметному искажению распределения магнитных моментов в области двух отверстий, а лишь усиливает устойчивость этих структур.

2. Доказательство теоремы об эквивалентности распределения намагниченности в пленке с антидотами и пленке с дефектами той же геометрии. Данная теорема позволяет существенно сократить объем вычислений при исследовании различных систем.

3. Доказательство того, что в перфорированных пленках пермаллоя также могут формироваться наноразмерные вихреподобные структуры, которые локализуются на парных перфорациях пленки и характеризуются отсутствием выход вектора намагниченности из плоскости образца.

4. Определение критических значений напряженности внешнего поля, при которых еще могут существовать устойчивые вихреподобные неоднородности в зависимости от параметра анизотропии.

Научная значимость полученных автором диссертации результатов

Теоретическая значимость диссертации состоит в получении новых результатов о топологических особенностях и поведении плоских магнитных структур, образующихся вблизи антидотов, в перфорированных ферромагнитных пленках. Диссертационное исследование расширяет теоретические представления о магнитных свойствах наноструктурированных материалов.

Практическая значимость диссертационной работы состоит в получении новых закономерностей формирования вихреподобных магнитных структур в ферромагнитных пленках, которые могут быть использованы при проектировании устройств хранения информации.

Замечания по работе

1. Во второй главе приведены два подхода к описанию вихреподобных структур, формирующихся вокруг антидотов – аналитический и основанный на микромагнитном моделировании. Необходимо пояснить, что нового вносит микромагнитное моделирование. Какие дополнительные поправки к аналитическому решению оно привносит? Каков порядок этих поправок?

2. В третьей главе влияние температуры принимается во внимание только в контексте изменения констант анизотропии реальных материалов. Однако хорошо известно, что повышение температуры влияет также на намагниченность пленки и приводит к переходу в парамагнитную фазу выше точки Кюри. Можно ли с помощью предложенных в этой главе методов учесть данное влияние температуры?

3. В диссертации для решения нескольких задач используется один и тот же подход. Сначала рассматривается аналитическое решение для случая большого расстояния между дефектами или антидотами, а затем происходит переход к случаю расстояния между дефектами равному или меньшему их размера. При малых расстояниях обнаруживаются новые явления. Может ли используемый подход дать оценку граничного расстояния между дефектами, когда начинают проявляться эффекты близости? В каком случае это расстояние можно считать малым, а когда большим для конкретных материалов?

