

Отзыв официального оппонента Мамоновой Марины Владимировны на диссертационную работу Симаковой Софьи Сергеевны «Исследование наноструктурированных ферромагнитных пленок методом компьютерного моделирования», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3. Теоретическая физика.

В диссертационной работе Симаковой С.С. проведено теоретическое исследование фазовых превращений и процессов перемангничивания в тонких ферромагнитных пленках при наличии периодической решетки пор. Наноструктурированные ферромагнитные пленки являются одним из синтетических материалов, получивших распространение в современных устройствах спинтроники. Для проектирования таких устройств необходимы пленки с заданными магнитными свойствами. Основной особенностью наноструктурированных пленок является возможность управления их температурой фазового перехода и энергией перемангничивания с помощью изменения геометрических параметров. Современные технологии позволяют получать пленки с заданным размером пор и периодом их размещения. Существует технологическая возможность повышать или понижать энергию перемангничивания, что позволяет создавать устройства с пониженным энергопотреблением. Таким образом, актуальность темы диссертации сомнений не вызывает.

Широкое распространение получило исследование магнитных материалов методами компьютерного моделирования Монте-Карло. Разработаны спиновые модели и алгоритмы расчетов, позволившие получить основные параметры ферромагнитных фазовых переходов, хорошо согласующиеся с опытными данными. Более того, современные методы компьютерного моделирования позволяют предсказывать новые явления, не наблюдавшиеся ранее в эксперименте. В связи с чем, можно отметить адекватный выбор методов исследования, применяемый в диссертации.

Диссертация содержит 125 страниц, состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. **Первая глава диссертации** является обзорной и посвящена изложению основных сведений о ферромагнитных пленках с решетками пор и моделировании магнитных материалов методом Монте-Карло. В следующих главах исследования выполнено моделирование методом Монте-Карло с помощью алгоритма Метрополиса.

Вторая глава посвящена изучению тонких ферромагнитных пленок с порами, расположенными в узлах квадратной решетки. Исследована базовая модель с квадратными порами. Также проведено исследование влияния изменения формы пор и малых смещений в расположении пор. Рассчитана температура Кюри для пленок с различным периодом решетки пор и различного размера пор. Исследовано влияние толщины пленки на ферромагнитный фазовый переход. Проведен расчет петель гистерезиса для наноструктурированных пленок, получены зависимости коэрцитивной силы и энергии перемагничивания от параметров решетки пор и толщины пленки.

В третьей главе проведено исследование бислойных пленок с решеткой пор. Рассмотрены бислойные пленки, включающие магнитомягкий и магнитотвердый слои различной толщины. Получены значения температуры Кюри в таких пленках при различных отношениях толщин слоев, различных отношениях обменных интегралов в слоях пленки и различных параметрах решетки пор. После этого проведен расчет петель гистерезиса бислойных пленок в ферромагнитной фазе обоих слоев, получена зависимость коэрцитивной силы и энергии перемагничивания от размера пор и периода решетки. Показано, что на графике зависимости коэрцитивной силы от отношения обменных интегралов присутствует минимальное значение, которое зависит от размера пор. Проведено сравнение полученных результатов с данными реального эксперимента.

Четвертая глава посвящена исследованию влияния явления поверхностного магнетизма на свойства наноструктурированных пленок. Наличие решетки пор увеличивает площадь свободной поверхности, в результате чего растет влияние поверхностных явлений. Проведен расчет поверхностной и объемной температур Кюри для наноструктурированных пленок. Показано, что на магнитные свойства системы оказывает влияние как толщина пленки, так и параметры решетки пор. Рассмотрены системы с различным значением поверхностного обменного интеграла. Показано, что для малых отношений обменных интегралов на поверхности и в объеме системы увеличение размера пор приводит к снижению коэрцитивной силы. При больших значениях отношения обменных интегралов коэрцитивная сила растет с увеличением размера пор. Получено значение отношения обменных интегралов, при котором решетка пор не оказывает влияние на процесс перемагничивания. В **Заключении** проведено обобщение основных результатов

диссертационного исследования. Автореферат достаточно полно отражает основное содержание диссертации.

Обоснованность и достоверность результатов диссертационной работы основана использовании теоретических моделей, подтвердивших свою адекватность в аналогичных задачах, а также на многократно апробированном методе компьютерного моделирования Монте-Карло. Для расчета параметров используется хорошо зарекомендовавшая себя теория конечно-размерного скейлинга.

Результаты диссертационной работы опубликованы в 11 изданиях, из них 5 статей в изданиях, включенных ВАК в Перечень ведущих рецензируемых журналов и индексируемых в Российских и международных базах цитирования, 6 публикаций в материалах конференций.

Научная новизна результатов диссертации состоит в исследовании методом компьютерного моделирования Монте-Карло тонких наноструктурированных ферромагнитных пленок, которое позволило получить следующие результаты:

1. Рассчитаны зависимости температуры Кюри тонких наноструктурированных пленок от размера и периода расположения пор. Построены фазовые диаграммы для пленок различной толщины.

2. Изучен ферромагнитный фазовый переход в бислойных ферромагнитных пленках с решеткой пор, включающих магнитотвердый и магнитомягкий слой. Рассчитаны петли гистерезиса бислойных пленок при различных значениях толщин слоев и параметров решетки пор.

3. Исследованы фазовые переходы в наноструктурированных ферромагнитных пленках с учетом явления поверхностного магнетизма. Построены фазовые диаграммы пленок с различными параметрами решетки пор. Показано, что регулярная решетка пор может приводить к изменению фазовой диаграммы системы и отсутствию поверхностного фазового перехода. В общем случае наличие решетки пор уменьшает разность между поверхностной и объемной температурами Кюри.

4. Исследован процесс перемангничивания тонких наноструктурированных ферромагнитных пленок. Показано, что малых значениях поверхностной магнитной энергии решетка пор приводит к снижению коэрцитивной силы. При больших значениях поверхностной магнитной энергии увеличение размера пор ведет к росту коэрцитивной силы.

Теоретическая значимость диссертации состоит в развитии теории фазовых переходов и магнитных явлений в тонких ферромагнитных пленках.

Практическая значимость диссертационной работы состоит в выявлении общих закономерностей для зависимости магнитных свойств наноструктурированных пленок, которые могут быть использованы в технологических процессах при их производстве.

К диссертационной работе есть следующие замечания:

1. В главе 2 получены критические индексы для наноструктурированных пленок и показано появление нового класса универсальности, но не проведено сравнение с другими классами универсальности.

2. В главе 2 исследованы пленки с квадратной решеткой пор. Однако достаточно большое количество исследований выполнено для решеток с гексагональной решеткой пор. Как геометрия решетки пор влияет на температуру Кюри и коэрцитивную силу?

3. В главе 2 и 3 исследуется влияние геометрических параметров пленок на критические характеристики. При описании проводимых исследований в диссертационной работе слабо описано влияние характерных релаксационных времен и учет этого влияния на критические характеристики при изменении геометрических характеристик. Интересно, как учитывались эффекты критического замедления при моделировании, например, эффектов гистерезиса?

4. В главе 4 при исследовании влияния поверхностного намагничивания рассматривается только одноатомный слой с обменным интегралом, отличным от объемного. Почему выбрано такое приближение?

Заключение

В целом, несмотря на указанные замечания, представленная диссертация является законченной научно-квалификационной работой, вносящей вклад в развитие теории фазовых переходов в наноструктурированных материалах. Были получены интересные результаты, опубликованные в уважаемых научных журналах, среди

которых «Coatings», «Journal of Magnetism and Magnetic Materials» и «Физика металлов и металловедение».

Считаю, что диссертация Симаковой Софьи Сергеевны «Исследование наноструктурированных ферромагнитных пленок методом компьютерного моделирования» является законченным научным исследованием, обладающим научной новизной и практической значимостью, что соответствует требованиям пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г. (с изменениями), а её автор – Симакова Софья Сергеевна заслуживает присуждения ей учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.3 Теоретическая физика.

Официальный оппонент:

кандидат физико-математических наук,
специальность - Теоретическая физика,
доцент, заведующий кафедрой теоретической физики
федерального государственного
автономного образовательного учреждения
высшего образования «Омский государственный университет
им. Ф.М. Достоевского»  Мамонова Марина Владимировна

Дата: 26 августа 2026 г.

Адрес служебный: 644077, Российская Федерация, г. Омск, пр-т Мира, Д.55А, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского», тел. 83812 630 445, e-mail: MamonovaMV@omsu.ru

Подпись к.ф.-м.н., зав. кафедрой теор. физики, Омского государственного университета им. Ф.М. Достоевского Мамоновой М.В. удостоверяю.

Ученый секретарь Омского государственного университета
им. Ф.М. Достоевского,
кандидат филологических наук



 Рогалева Ольга Сергеевна