



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДВФУ)

---

ИНСТИТУТ НАУКОЕМКИХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПЕРЕДОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

по дисциплине «Физика магнитных пленок и низкоразмерных структур»  
Направление подготовки 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

Владивосток  
2023

**I. Перечень форм оценивания, применяемых на различных этапах формирования компетенций в ходе освоения дисциплины «Физика магнитных пленок и низкоразмерных структур»**

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Код и наименование индикатора достижения	Результаты обучения	Оценочные средства *	
				текущий контроль	Промежуточная аттестация
1	Раздел 1	ПК-5.1 демонстрирует знание методов проведения научных экспериментов и исследований	<u>Знает</u> методы проведения научных экспериментов и исследований <u>Умеет</u> использовать подходящие методы для экспериментальных работ, учитывая их достоинства и ограничения <u>Владеет</u> навыками подготовки и проведения научных экспериментов и исследований	ПР-6 УО-1	-
		ПК-5.2 обрабатывает и анализирует полученные данные, делает выводы, составляет рекомендации по совершенствованию устройств и систем	<u>Знает</u> нормативную документацию и требования к осуществлению авторского сопровождения разрабатываемых систем электронной техники <u>Умеет</u> осуществлять авторское сопровождение разрабатываемых систем электронной техники на этапах проектирования и производства <u>Владеет</u> навыками сопровождения разрабатываемых систем электронной техники на основе своего авторства	ПР-6 УО-1	
		ПК-5.3 готовит научные публикации и заявки на	<u>Знает</u> принципы авторского сопровождения разрабатываемых	ПР-6 УО-1	

		изобретения	систем электронной техники <u>Умеет</u> применять принципы авторского сопровождения разрабатываемых устройств, приборов и систем электронной техники <u>Владеет</u> навыками осуществления авторского сопровождения разрабатываемых устройств, приборов и систем электронной техники		
	Раздел 2	ПК-12.1 осуществляет авторское сопровождение разрабатываемых систем электронной техники	<u>Знает</u> нормативную документацию и требования к осуществлению авторского сопровождения разрабатываемых систем электронной техники <u>Умеет</u> осуществлять авторское сопровождение разрабатываемых систем электронной техники на этапах проектирования и производства <u>Владеет</u> навыками сопровождения разрабатываемых систем электронной техники на основе своего авторства	ПР-6 УО-1	
		ПК-12.2 применяет принципы авторского сопровождения разрабатываемых систем электронной техники	<u>Знает</u> принципы авторского сопровождения разрабатываемых систем электронной техники <u>Умеет</u> применять принципы авторского сопровождения	ПР-6 УО-1	

			разрабатываемых устройств, приборов и систем электронной техники <i>Владеет</i> навыками осуществления авторского сопровождения разрабатываемых устройств, приборов и систем электронной техники		
2	Экзамен			УО-1	УО-1 ПР-6

\* Формы оценочных средств:

1) собеседование (УО-1), коллоквиум (УО-2); доклад, сообщение (УО-3); круглый стол, дискуссия, полемика, диспут, дебаты (УО-4); и т.д.

2) тесты (ПР-1); контрольные работы (ПР-2), эссе (ПР-3), рефераты (ПР-4), курсовые работы (ПР-5), научно-учебные отчеты по практикам (ПР-6); практические задания (ПР-7); портфолио (ПР-8); проект (ПР-9); деловая и/или ролевая игра (ПР-10); ситуационные задачи (ПР-11); рабочая тетрадь (ПР-12); кроссворды (ПР-13) и т.д.

3) тренажер (ТС-1); и т.д.

## II. Текущая аттестация по дисциплине «Физика магнитных пленок и наноразмерных структур»

Текущая аттестация студентов по дисциплине «Физика магнитных пленок и наноразмерных структур» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Текущая аттестация по дисциплине «Физика магнитных пленок и наноразмерных структур» проводится в форме сдачи отчетов по лабораторным работам для оценивания фактических результатов обучения студентов и осуществляется ведущим преподавателем.

По каждому объекту дается характеристика процедур оценивания в привязке к используемым оценочным средствам.

### Оценочные средства для текущего контроля

#### 1. Комплект типовых заданий для сдачи отчета по лабораторной работе

Перед лабораторной работой студент должен самостоятельно изучить методические указания по ее выполнению, ознакомиться с содержанием работы, прочитать необходимую учебную литературу для понимания физических процессов, изучаемых в лабораторной работе. После успешного выполнения лабораторной работы студент самостоятельно пишет обрабатывает полученные данные и пишет отчет по лабораторной работе. В методических указаниях по выполнению лабораторных работ после каждой лабораторной работы следуют контрольные вопросы. На них необходимо подготовить ответы. Кроме того, необходимо иметь базовые знания по изучаемой теме.

Только после теоретической подготовки и написания отчета можно пробовать сдать отчет. Сдача отчета проводится во время практических занятий, когда студенты не работают за лабораторными установками.

#### *Структура отчета по лабораторной работе*

Отчеты по лабораторным работам представляются в электронной форме, подготовленные как текстовые документы в редакторе MSWord.

Отчет по работе должен быть обобщающим документом, включать всю информацию по выполнению заданий, в том числе, построенные диаграммы, таблицы, приложения, список литературы и (или) расчеты, сопровождая необходимыми пояснениями и иллюстрациями в виде схем, экранных форм («скриншотов») и т. д.

Структурно отчет по лабораторной работе, как текстовый документ, комплектуется по следующей схеме:

- ✓ *Титульный лист*– обязательная компонента отчета, первая страница отчета, по принятой для лабораторных работ форме (титульный лист отчета должен размещаться в общем файле, где представлен текст отчета);
- ✓ *Исходные данные к выполнению заданий*– обязательная компонента отчета, с новой страницы, содержат указание варианта, темы и т.д.);
- ✓ *Основная часть*– материалы выполнения заданий, разбивается по рубрикам, соответствующих заданиям работы, с иерархической структурой: разделы – подразделы – пункты – подпункты и т. д.

Рекомендуется в основной части отчета заголовки рубрик (подрубрик) давать исходя из формулировок заданий, в форме отглагольных существительных;

- ✓ *Выводы*– обязательная компонента отчета, содержит обобщающие выводы по работе (какие задачи решены, оценка результатов, что освоено при выполнении работы);
- ✓ *Список литературы*– обязательная компонента отчета, с новой страницы, содержит список источников, использованных при выполнении работы, включая электронные источники (список нумерованный, в соответствии с правилами описания библиографии);
- ✓ *Приложения*– необязательная компонента отчета, с новой страницы, содержит дополнительные материалы к основной части отчета.

#### *Оформление отчета по лабораторной работе*

Лабораторная работа относится к категории «*письменная работа*», оформляется *по правилам оформления письменных работ студентами ДВФУ*.

Необходимо обратить внимание на следующие аспекты в оформлении отчетов работ:

- набор текста;
- структурирование работы;
- оформление заголовков всех видов (рубрик-подрубрик-пунктов-подпунктов, рисунков, таблиц, приложений);
- оформление перечислений (списков с нумерацией или маркировкой);
- оформление таблиц;
- оформление иллюстраций (графики, рисунки, фотографии, схемы, «скриншоты»);
- набор и оформление математических выражений (формул);

- оформление списков литературы (библиографических описаний) и ссылок на источники, цитирования.

### *Набор текста*

Набор текста осуществляется на компьютере, в соответствии со следующими требованиями:

- ✓ печать – на одной стороне листа белой бумаги формата А4 (размер 210 на 297 мм.);
- ✓ интервал межстрочный – полutorный;
- ✓ шрифт – TimesNewRoman;
- ✓ размер шрифта - 14 пт., в том числе в заголовках (в таблицах допускается 10-12 пт.);
- ✓ выравнивание текста – «по ширине»;
- ✓ поля страницы -левое – 25-30 мм., правое – 10 мм., верхнее и нижнее – 20 мм.;
- ✓ нумерация страниц – в правом нижнем углу страницы (для страниц с книжной ориентацией), сквозная, от титульного листа до последней страницы, арабскими цифрами (первой страницей считается титульный лист, на котором номер не ставится, на следующей странице проставляется цифра «2» и т. д.).
- ✓ режим автоматического переноса слов, за исключением титульного листа и заголовков всех уровней (перенос слов для отдельного абзаца блокируется средствами MSWord с помощью команды «Формат» – абзац при выборе опции «запретить автоматический перенос слов»).

Если рисунок или таблица размещены на листе формата больше А4, их следует учитывать, как одну страницу. Номер страницы в этих случаях допускается не проставлять.

Список литературы и все *приложения* включаются в общую в сквозную нумерацию страниц работы.

### *Пример типовых заданий на лабораторную работу*

- Измерить петли магнитного гистерезиса в серии образцов Ru/Co/Ru с разной толщиной слоев Co. Измерить петли при ориентации магнитного поля параллельно и перпендикулярно плоскости тонких магнитных пленок.
- Построить семейство петель магнитного гистерезиса, нормированных на величину магнитного момента насыщения ( $m/m_s(H)$ ), в каждой из ориентаций магнитного поля. В каждое семейство петель должны входить петли магнитного гистерезиса, измеренные от образцов с разной толщиной магнитного слоя Co.
- По полученным петлям определить коэрцитивную силу, магнитный момент насыщения, остаточный магнитный момент.
- Построить зависимости измеренных величин от толщины Co и объяснить их поведение.
- Определить площадь исследуемых образцов с помощью смартфона и миллиметровой бумаги.
- Построить график зависимости магнитного момента, отнесенного к единице площади, от толщины Co. По полученному графику определить среднюю намагниченность насыщения и толщину магнитомертвого слоя.
- Построить график зависимости намагниченности насыщения от толщины Co.
- По полученным петлям с учетом рассчитанного среднего значения намагниченности насыщения определить эффективную перпендикулярную магнитную анизотропию.

- Построить график зависимости  $K_{эфф} \times d_{Co}(d_{Co})$ . По нему определить вклад поверхностной и объемной анизотропии в области малых толщин (восходящий участок кривой  $K_{эфф} \times d_{Co}$ ) и больших толщин (линейный нисходящий участок кривой  $K_{эфф} \times d_{Co}$ ). Сравнить объемную анизотропию в области больших толщин с анизотропией формы. Сделать выводы о природе ПМА в данной системе.

#### *Пример типовых контрольных вопросов к лабораторной работе*

- Что такое магнитная анизотропия и какие виды магнитных анизотропий существуют?
- Перечислите методы измерения магнитной анизотропии и кратко опишите физические принципы каждого метода.
- Какие виды поверхностных и объемных анизотропий наиболее часто встречаются в тонких магнитных пленках и как можно разделить вклады поверхностных и объемных анизотропий в эффективную магнитную анизотропию?
- Что такое анизотропия формы и как она рассчитывается для простейших случаев тонкой пленки, вытянутого цилиндра, изотропного сферического тела?
- Напишите формулу Акулова для расчета магнитокристаллической анизотропии кубических кристаллов. Рассчитайте объемную плотность энергии магнитокристаллической анизотропии между направлениями [111] и [110] в гранцентрированном кубическом Co, если константа магнитокристаллической анизотропии  $K_1 = -6 \cdot 10^4$  Дж/м<sup>3</sup>.
- Поверхностная плотность перпендикулярной магнитной анизотропии тонкой магнитной пленки Fe с индукцией насыщения 2,2 Тл равна  $K_s = 1$  мДж/м<sup>2</sup>. Начиная с какой толщины, намагниченность в магнитной пленке Fe переориентируется в плоскость пленки?

#### **2. Комплект типовых заданий для сдачи экзамена в рамках текущего контроля**

Экзамен состоит из собеседования.

#### *Собеседование*

Собеседование представляет собой экзамен по курсу. Студент тянет билет. В билете указаны 2 вопроса, к которым можно подготовиться в течение получаса. Спустя полчаса после получения билетов студентами преподаватель вызывает студентов по списку в таком порядке, каком он посчитает нужным. Если студент не выходит отвечать, ставится оценка «неудовлетворительно» и экзамен для него прекращается. В процессе ответа студент должен максимально подробно рассказать 2 вопроса в его билете. Преподаватель сам прервет его ответ, если посчитает тему достаточно раскрытой. Затем преподаватель задает 2 дополнительных вопроса на свой выбор, студент должен без подготовки рассказать основные моменты экзаменационного вопроса.

#### Вопросы на экзамен

1. Диамагнетизм, орбитальный магнитный момент, спиновый магнитный момент, магнетон Бора, Ларморова частота, диамагнитный момент

2. Парамагнетизм, классическая и квантовая теории. Магнитный момент атома. Намагничивание парамагнетика. Закон Кюри-Вейсса.
3. Ферромагнетизм. Теория молекулярного поля. Закон Кюри-Вейсса.
4. Намагничивание ферромагнетиков. Обменное взаимодействие. Кривая Слэтера. Зонная теория ферромагнетизма.
5. Магнитная анизотропия. Магнитокристаллическая анизотропия в кубических кристаллах. Формула Акулова. Ферромагнетик с кубической симметрией во внешнем магнитном поле. Измерение магнитной анизотропии.
6. Коэффициенты размагничивания. Анизотропия формы. Случаи нанопроволоки и тонкой пленки. Сложение двух одноосных анизотропий. Перпендикулярная магнитная анизотропия.
7. Доменные стенки. Типы доменных стенок. Энергия и толщина доменных границ. Движение доменных границ. Закрепление на дефектах.
8. Микро и наночастицы. Коэрцитивность частиц. Механизмы перемагничивания. Суперпарамагнетизм. Модель Стонера-Вольфарта.
9. Динамика намагниченности. Уравнение Ландау-Лившица. Переключение намагниченности. Электронный парамагнитный и ферромагнитный резонансы.
10. Основы спинтроники. Спиновый транспорт.
11. Гигантское магнитосопротивление. Модель Мотта.
12. Основы квантовомеханического туннелирования. Модель Джулиера
13. Модель Слончевского. Туннельное магнитосопротивление.
14. Принципы записи и чтения информации в жестком диске. Совершенствование технологий чтения и записи.
15. Записывающие головки с датчиками гигантского магнитосопротивления
16. Среда записи с плоскостной и перпендикулярной магнитной анизотропией
17. Спиновый вентиль. Способы создания спиновых вентилях. Способы закрепления намагниченности в слое.
18. Перенос спинового момента от тока. Перенос спинового момента в структурах с многослойных структурах с сильным спин-орбитальным взаимодействием на интерфейсах.
19. Записывающие головки с датчиками туннельного магнитосопротивления.
20. Сенсор туннельного магнитосопротивления. Виды окислов, используемых в сенсорах туннельного магнитосопротивления.
21. Аномальный эффект Холла (АЭХ). Физические основы и причины наблюдения эффекта. Величина АЭХ эффекта в разных средах. Особенности наблюдения АЭХ эффекта, зависящие от геометрии микроструктур. Отличия петель магнитного гистерезиса, полученных с помощью измерений Холловского сопротивления и других интегральных магнитометрических методов (вибрационный или СКВИД магнитометры).
22. Спиновый эффект Холла и взаимодействие Рашбы.
23. Перенос спинового момента от тока, текущего в плоскости слоев тяжелых металлов (SOT-эффект). Физические основы и способы измерения SOT-эффекта.
24. Общая концепция и необходимые условия возникновения взаимодействия Дзялошинского-Мория в объемных кристаллах.



25. Взаимодействие Дзялошинского-Моря в многослойных системах. Влияние взаимодействия Дзялошинского-Моря на процессы перемагничивания и перенос спиновго момента от тока.
26. Общие принципы построения магнитной памяти с произвольной выборкой данных. Конструкционные особенности. Перспективы развития и использования.
27. Общие принципы построения магнитной памяти на беговых дорожках. Конструкционные особенности. Перспективы развития и использования.
28. Скирмионная память на беговых дорожках. Различные способы реализации.
29. Память на беговых дорожках на основе смещения доменных границ со спин-орбитальными эффектами (вторая и третьи версии).
30. Киральные спиновые структуры в среде с высоким взаимодействием Дзялошинского-Моря.

### **Промежуточная аттестация по дисциплине «Физика магнитных пленок и низкоразмерных структур»**

Промежуточная аттестация студентов по дисциплине «Физика магнитных пленок и низкоразмерных структур» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

### **Оценочные средства для промежуточного контроля (экзамен)**

Оценочные средства для промежуточного контроля полностью совпадают с оценочными средствами текущего контроля. Это означает, что студент должен предоставить отчеты по лабораторным работам и ответить на экзаменационные вопросы. Различие текущего и промежуточного контроля заключается в том, что в текущем контроле достаточно большой удельный вес имеют лабораторные работы, что позволяет менее строго относиться к экзамену. В промежуточном контроле экзамен имеет преимущественный удельный вес.