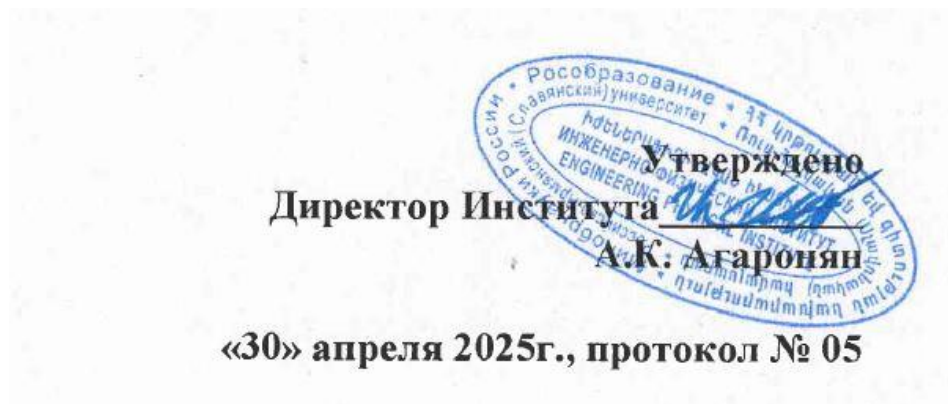


**ГОУ ВПО Российско-Армянский (Славянский)
университет**



УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины: Б1.В.ДВ.03.01 Основы нанoeлектроники

Автор (ы) д.ф.-м.н., профессор Саркисян Айк Араевич
Ф.И.О, ученое звание (при наличии), ученая степень (при наличии)

Направление подготовки: 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника
Наименование образовательной программы магистратуры:
Микроэлектронные схемы и системы

Согласовано:

Заведующий Кафедрой общей физики и квантовых наноструктур

Айрапетян Д.Б.

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized, overlapping loops and strokes, positioned over the printed name.

(подпись)

1. АННОТАЦИЯ

1.1. Краткое описание содержания данной дисциплины;

Целью дисциплины является изучение основ физики твёрдого тела для систем с пониженной размерностью и развитие основ понимания физических процессов, протекающих в этих системах при внешних воздействиях, а также представления об использовании этих явлений при создании приборов наноэлектроники.

1.2. Трудоемкость в академических кредитах и часах, формы итогового контроля (экзамен/зачет);

3 академических кредита / 108 часов. Форма итогового контроля — зачет.

1.3. Взаимосвязь дисциплины с другими дисциплинами учебного плана специальности (направления)

Проектирование и технология электронной компонентной базы, Информационные технологии в научных исследованиях, Компьютерные технологии в Физике.

1.4. Результаты освоения программы дисциплины:

Код компетенции (в соответствии рабочим с учебным планом)	Наименование компетенции (в соответствии рабочим с учебным планом)	Код индикатора достижения компетенций (в соответствии рабочим с учебным планом)	Наименование индикатора достижений компетенций (в соответствии рабочим с учебным планом)
УК-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1	Знает методы поиска информации, ее системного и критического анализа, также системные связи и отношения между явлениями, процессами и объектами.
		УК-1.2	Умеет применять системный

		УК-1.3	подход для решения поставленных задач и методы поиска информации из разных источников. Владеет методами поиска, критического анализа и синтеза информации и методикой системного подхода для решения поставленных задач
--	--	--------	---

2. УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА

2.1. Цели и задачи дисциплины

Цель:

- Ознакомление студентов с физическими принципами функционирования наноструктур и наноустройств на базе полупроводников и других материалов.
- Формирование системного понимания процессов, протекающих в низкоразмерных системах (квантовые ямы, проволоки, точки) и их роли в современной электронике.
- Освоение базовых методов расчета и моделирования характеристик наноразмерных структур, необходимых для исследования и проектирования элементов нанoeлектроники.
- Подготовка студентов к практическому применению знаний при анализе и разработке наноустройств в научной и инженерной деятельности.

Задачи:

- Ознакомить с явлением размерного квантования в полупроводниках и его влиянием на электронные свойства.
- Изучить различные типы наноструктур (квантовые ямы, проволоки, точки) и их электронные спектры.
- Изучить влияние внешних электрических и магнитных полей на электронные состояния в наноструктурах.

- Изучить примесные и экситонные состояния в низкоразмерных системах. Сформировать представление о перспективах использования наноструктур в современной электронике и оптоэлектронике.
- Развить навыки аналитического и численного расчета характеристик нанообъектов с использованием современных программных средств.
- Сформировать у студентов навыки интерпретации физических процессов и явлений в наноразмерных структурах для решения прикладных задач.

2.2. Трудоемкость дисциплины и виды учебной работы (в академических часах и зачетных единицах) (удалить строки, которые не будут применены в рамках дисциплины)

Виды учебной работы	Всего, в акад. часах	Распределение по семестрам
		1 сем
1	2	3
1.Общая трудоемкость изучения дисциплины по семестрам, в т. ч.:	108	108
1.1.Аудиторные занятия, в т. ч.:	32	32
1.1.1.Лекции	16	16
1.1.2.Практические занятия, в т. ч.	16	16
1.1.3.Лабораторные работы		
1.2.Самостоятельная работа, в т. ч.:	76	76
1.3. Консультации		
Итоговый контроль (Экзамен, Зачет, диф. зачет - указать)	Зачет	Зачет

2.3. Содержание дисциплины

2.3.1. Тематический план и трудоемкость аудиторных занятий (модули, разделы дисциплины и виды занятий) по рабочему учебному плану

Разделы и темы дисциплины	Всего (ак. часов)	Лекции(ак. часов)	Практ. Занятия (ак. часов)
1	2=3+4	3	4
Раздел 1.	6	3	3
<i>Тема 1.1</i> Физические свойства объектов нанометрового масштаба	2	1	1

Тема 1.2 Классификация основных подходов формирования наноструктур	4	2	2
Раздел 2.	6	3	3
Тема 2.1 Наноструктуры и наноматериалы.	2	1	1
Тема 2.2 Принцип квантования и квантовое ограничение	2	1	1
Тема 2.3 Технология создания твёрдых наноструктур	2	1	1
Раздел 3.	8	4	4
Тема 3.1 Применение квантово-размерных структур в приборах нанoeлектроники	4	2	2
Тема 3.2 Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ), как метод контроля и модификации поверхности кристаллов на атомном уровне	4	2	2
Раздел 4.	4	2	2
Тема 4.1 Структура атомарно-чистых поверхностей кремния.	2	1	1
Тема 4.2 Поверхностные фазы адсорбатов на кремнии	2	1	1
Раздел 5.	4	2	2
Тема 5.1 Формирование наноструктур с помощью СТМ	2	1	1
Тема 5.2 Формирование наноструктур с использованием процессов самоорганизации на атомарном уровне	2	1	1
Раздел 6.	4	2	2
Тема 6.1 Фуллерены: формирование, структура, свойства	2	1	1
Тема 6.2 Углеродные нанотрубки	2	1	1
ИТОГО	32	16	16

2.3.2. Краткое содержание разделов дисциплины в виде тематического плана

Раздел 1.

Физические свойства объектов нанометрового масштаба, классификация основных подходов формирования наноструктур

Раздел 2.

Наноструктуры и наноматериалы. Принцип квантования и квантовое ограничение
Технология создания твёрдых наноструктур

Раздел 3.

Применение квантово-размерных структур в приборах нанoeлектроники

Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ), как метод контроля и модификации поверхности кристаллов на атомном уровне

Раздел 4.

Структура атомарно-чистых поверхностей кремния. Поверхностные фазы адсорбатов на кремнии

Раздел 5.

Формирование наноструктур с помощью СТМ

Формирование наноструктур с использованием процессов самоорганизации на атомарном уровне

Раздел 6.

Фуллерены: формирование, структура, свойства

Углеродные нанотрубки.

2.3.3. Краткое содержание практических занятий

Формы проведения:

- Решение задач и расчетов по темам на занятиях.
- Анализ научных статей и презентация мини-докладов.

Раздел 1. Свойства и формирование наноструктур

Практическое занятие 1.

Тема: Физические свойства объектов нанометрового масштаба.

Содержание: Разбор характерных физических свойств нанообъектов (поверхностное натяжение, квантовые эффекты), выполнение расчетов длины волны де Бройля для электронов в наноструктурах.

Практическое занятие 2.

Тема: Классификация подходов формирования наноструктур.

Содержание: Анализ методов топ-даун и боттом-ап, сравнение технологий литографии и методов самоорганизации.

Раздел 2. Наноструктуры и квантование

Практическое занятие 3.

Тема: Наноструктуры и наноматериалы.

Содержание: Составление таблицы видов наноструктур (квантовые точки, проволоки, ямы), их характеристик и применений.

Практическое занятие 4.

Тема: Принцип квантования и квантовое ограничение.

Содержание: Решение задач по вычислению энергетических уровней в квантовой яме, проволоке и точке.

Практическое занятие 5.

Тема: Технология создания твёрдых наноструктур.

Содержание: Обзор технологий MBE, CVD, литографии, анализ этапов формирования наноструктур.

Раздел 3. Применение наноструктур и методы исследования

Практическое занятие 6.

Тема: Применение квантово-размерных структур в приборах нанoeлектроники.

Содержание: Разбор реальных примеров использования наноструктур в лазерах, СВЧ приборах, транзисторах.

Практическое занятие 7.

Тема: СТМ как метод контроля и модификации поверхности.

Содержание: Демонстрация работы СТМ на видео и разбор принципа действия; анализ изображений поверхности, полученных СТМ.

Раздел 4. Поверхности и адсорбция

Практическое занятие 8.

Тема: Структура атомарно-чистых поверхностей кремния.

Содержание: Рассмотрение структурных моделей поверхности Si(111), анализ изображений.

Практическое занятие 9.

Тема: Поверхностные фазы адсорбатов на кремнии.

Содержание: Разбор фазовых диаграмм систем адсорбат–кремний, решение задач по поверхностным концентрациям.

Раздел 5. Формирование наноструктур методами СТМ и самоорганизации

Практическое занятие 10.

Тема: Формирование наноструктур с помощью СТМ.

Содержание: Разбор методов манипуляции атомами на поверхности с помощью СТМ, просмотр экспериментов IBM.

Практическое занятие 11.

Тема: Формирование наноструктур самоорганизацией.

Содержание: Анализ механизмов самоорганизации, примеры получения упорядоченных наноструктур.

Раздел 6. Углеродные наноструктуры

Практическое занятие 12.

Тема: Фуллерены: формирование, структура, свойства.

Содержание: Анализ структуры C₆₀, изучение электронных свойств фуллеренов, обсуждение способов их синтеза.

Практическое занятие 13.

Тема: Углеродные нанотрубки.

Содержание: Обзор типов углеродных нанотрубок, расчет энергетических свойств, анализ применений.

2.3.4. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- Аудитория для проведения лекций и практических занятий.

2.4. Модульная структура дисциплины с распределением весов по формам контролей

Формы контролей	Вес формы (форм) текущего контроля в результирующей оценке текущего контроля (по модулям)		Вес формы промежуточного контроля в итоговой оценке промежуточного контроля		Вес итоговой оценки промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей		Вес итоговой оценки промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей (семестровой оценке)	Веса результирующей оценки промежуточных контролей и оценки итогового контроля в результирующей оценке итогового контроля
	M1 ¹	M2	M1	M2	M1	M2		
Вид учебной работы/контроля								
Контрольная работа <i>(при наличии)</i>			0.5	0.5				
Устный опрос <i>(при наличии)</i>								
Лабораторные работы <i>(при наличии)</i>	0.5	0.5						
Письменные домашние задания <i>(при наличии)</i>								
<i>Решение задач</i>	0.5	0.5						
Веса результирующих оценок текущих контролей в итоговых оценках промежуточных контролей					0.5	0.5		
Веса оценок промежуточных контролей в итоговых оценках промежуточных контролей								
Вес итоговой оценки 1-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей							0.5	
Вес итоговой оценки 2-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей							0.5	
Вес результирующей оценки промежуточных контролей в результирующей оценке итогового контроля								0.5
Вес итогового контроля (Экзамен/зачет) в результирующей оценке итогового контроля								0.5
	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$

3. Теоретический блок (указываются материалы, необходимые для освоения учебной программы дисциплины)

3.1. Материалы по теоретической части курса

3.1.1. Учебник(и);

¹ Учебный Модуль

1. Э.М. Казарян, С.Г. Петросян “Физические основы нанoeлектроники”, 2005. Изд. РАУ (на армянском языке).
2. В.П. Драгунов, И.Г. Неизвестный, В.А. Гридчин “Основы нанoeлектроники”, 2004. Изд. НГТУ.
3. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц “Квантовая механика”, 1989. Изд. Наука.
4. В.М. Галицкий, Б.М. Карнаков, В.И. Коган “Задачи по квантовой механике”, 1981. Изд. Наука.
5. E.M. Kazaryan, H.A. Sarkisyan, "Layered nanostructures", Encyclopedia UNESCO Nanoscience and Nanotechnology, Ed. V.N. Kharkin (Russian Edition) pp. 120-133 (2011)8

4. Фонды оценочных средств (указываются материалы, необходимые для проверки уровня знаний в соответствии с содержанием учебной программы дисциплины).

4.1. Планы практических занятий

Практическое занятие 1.

Тема: Физические свойства объектов нанометрового масштаба

Цель: Закрепить основные физические принципы, проявляющиеся на нанoуровне (соотношение размеров, поверхностная энергия, квантовые эффекты).

Форма: Решение задач на расчет соотношений размеров, демонстрация видео-экспериментов по эффектам наноразмерности, разбор статей с примерами.

Практическое занятие 2.

Тема: Классификация основных подходов формирования наноструктур

Цель: Ознакомление с методами «сверху вниз» и «снизу вверх» на примерах.

Форма: Разбор схем и принципов методов литографии, CVD, самоорганизации, составление сравнительных таблиц.

Практическое занятие 3.

Тема: Наноструктуры и наноматериалы

Цель: Рассмотрение типов наноструктур: наночастицы, нанопленки, нанопроволоки, квантовые точки.

Форма: Работа с учебными материалами, подготовка мини-докладов с примерами наноматериалов и их применения.

Практическое занятие 4.

Тема: Принцип квантования и квантовое ограничение

Цель: Закрепить представления о квантовых ямах, точках и проволоках.

Форма: Решение расчетных задач на определение энергетических уровней в квантовых ямах и точках.

Практическое занятие 5.

Тема: Технология создания твёрдотельных наноструктур

Цель: Ознакомление с методами молекулярно-лучевой эпитаксии, ионной литографии и травления.

Форма: Разбор технологических схем и карт технологических процессов.

Практическое занятие 6.

Тема: Применение квантово-размерных структур в приборах наноэлектроники

Цель: Рассмотреть схемы устройств на основе квантовых точек, лазеров и транзисторов с квантовыми эффектами.

Форма: Анализ структур приборов, схемотехника, расчет параметров.

Практическое занятие 7.

Тема: Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ)

Цель: Ознакомиться с принципом работы СТМ, возможностями и ограничениями метода.

Форма: Анализ изображений СТМ, интерпретация данных, просмотр учебных видеоматериалов.

Практическое занятие 8.

Тема: Структура атомарно-чистых поверхностей кремния

Цель: Рассмотрение реконструкций поверхности кремния, моделей dimer-row.

Форма: Разбор схем атомных структур, сравнение экспериментальных и расчетных данных.

Практическое занятие 9.

Тема: Поверхностные фазы адсорбатов на кремнии

Цель: Изучить взаимодействие молекул с поверхностью Si.

Форма: Анализ фазовых диаграмм, решение качественных задач.

Практическое занятие 10.

Тема: Формирование наноструктур с помощью СТМ

Цель: Ознакомление с методами манипуляции атомами с помощью СТМ.

Форма: Разбор кейсов успешных примеров перемещения атомов, анализ возможностей и пределов метода.

Практическое занятие 11.

Тема: Формирование наноструктур процессами самоорганизации

Цель: Изучить процессы самособирающихся структур и пленок.

Форма: Разбор литературы, составление схем процессов.

Практическое занятие 12.

Тема: Фуллерены: формирование, структура, свойства

Цель: Изучение структуры фуллеренов, методов синтеза, физических свойств.

Форма: Решение тестовых заданий, разбор диаграмм и изображений.

Практическое занятие 13.

Тема: Углеродные нанотрубки

Цель: Рассмотрение структур CNT, методов их получения, области применения.

Форма: Решение расчетных задач на радиус и длину нанотрубок, просмотр учебных видеороликов, составление обзора по применению.

4.2. Материалы по практической части курса

4.2.1. Задачники (практикумы);

1. В.М. Галицкий, Б.М. Карнаков, В.И. Коган “Задачи по квантовой механике”, 1981. Изд. Наука.
2. В.Б. Шуман, С.А. Гусев, М.М. Бахвалов, Физика наноструктур: задачи и решения, МГТУ им. Баумана, 2018.

4.3. Вопросы и задания для самостоятельной работы студентов

Вопросы:

- 1 Что называют объектами нанометрового масштаба и каковы их основные физические свойства?
- 2 В чём проявляется квантовое ограничение в наноструктурах?
- 3 Какие существуют подходы формирования наноструктур и в чем их различия?
- 4 Какие методы используются для создания твёрдых наноструктур?
- 5 Какие приборы используют квантово-размерные структуры и зачем?
- 6 В чем заключается принцип работы сканирующей туннельной микроскопии (СТМ)?
- 7 Какова структура атомарно-чистых поверхностей кремния?
- 8 Что такое поверхностные фазы адсорбатов на кремнии?
- 9 Как формируются наноструктуры с помощью СТМ?
- 10 Что такое процессы самоорганизации на атомарном уровне и примеры их использования?
- 11 Что такое фуллерены, какова их структура и свойства?
- 12 Какие особенности структуры и применения углеродных нанотрубок в нанoeлектронике?

Задания:

- Подготовить **реферат (1–2 стр.)** на тему: «Влияние размера наночастиц на их физические свойства».
- Нарисовать **схему квантовой ямы и уровней энергии** для квантовой точки.
- Подготовить **таблицу сравнения методов формирования наноструктур** (литография, CVD, ALD) с указанием плюсов и минусов.
- Рассчитать изменение ширины запрещенной зоны при переходе к квантовой точке размером 5 нм для GaAs.
- Сделать **сообщение (5 мин)** о применении углеродных нанотрубок в нанoeлектронике.

- Нарисовать **структуру C60 и углеродной нанотрубки**.
- Найти **пример эксперимента по СТМ**, подготовить краткий комментарий (0,5 стр.).
- Составить **краткий конспект (1 стр.)** о способах создания тонких плёнок для наноэлектроники.
- Выполнить расчёт количества атомов в линейной цепочке длиной 50 нм.
- Подготовить **5 слайдов презентации** по любой теме дисциплины для зачёта.
- Составить **сравнительную таблицу** свойств графена, фуллеренов и углеродных нанотрубок.

4.4. Образцы вариантов контрольных работ, тестов и/или других форм текущих и промежуточных контролей

Вариант 1 (Текущий контроль)

Укажите один правильный ответ.

1 Какой размер характерен для объектов наноэлектроники?

- a) 0,1–1 мм
- b) 1–100 нм ✓
- c) 0,1–1 мкм
- d) 1–10 см

2 Как называется явление изменения свойств материала при уменьшении размеров до нанометров?

- a) Макроскопический эффект
- b) Квантовое ограничение ✓
- c) Эффект Холла
- d) Скин-эффект

3 Какой метод позволяет создавать твёрдотельные наноструктуры?

- a) Электронная литография ✓
- b) Электролитическая обработка
- c) Газовая сварка
- d) Пескоструйная обработка

4 Основной принцип работы СТМ основан на:

- a) Измерении силы трения
- b) Измерении силы притяжения
- c) Измерении туннельного тока ✓
- d) Измерении магнитного поля

5 Фуллерен C60 имеет форму:

- a) Треугольной призмы
- b) Полусферы

- c) Сферы из пяти- и шестиугольников ✓
- d) Гексагональной решетки

6 Углеродные нанотрубки состоят из:

- a) Водородных молекул
- b) Связанных молекул воды
- c) Свёрнутых слоёв графена ✓
- d) Слоя алмаза

7 Как называется эффект, при котором электроны в наноструктуре имеют дискретные энергетические уровни?

- a) Фотоэффект
- b) Туннельный эффект
- c) Квантовый эффект ✓
- d) Термоэлектрический эффект

8 Что используют для контроля и модификации поверхности кристаллов на атомном уровне?

- a) Электронный микроскоп
- b) Оптический микроскоп
- c) Сканирующую туннельную микроскопию ✓
- d) Рентгеновский спектрометр

Вариант 2 (Промежуточный контроль)

Укажите один правильный ответ.

1 Какая особенность углеродных нанотрубок делает их перспективными для нанoeлектроники?

- a) Высокая реакционная способность
- b) Прозрачность
- c) Высокая электропроводность ✓
- d) Высокая масса

2 Какой размер соответствует одному нанометру?

- a) 10^{-6} м
- b) 10^{-9} м ✓
- c) 10^{-3} м
- d) 10^{-12} м

3 Что является основным признаком квантово-размерного эффекта?

- a) Появление цветного свечения
- b) Разогрев образца
- c) Дискретность энергетических уровней ✓
- d) Увеличение размеров частиц

4 Как называется процесс самопроизвольного формирования упорядоченных наноструктур?

- a) Литография
- b) Сублимация

- c) Самоорганизация ✓
- d) Электролиз

5 Какая из технологий относится к методам получения наноструктур?

- a) Электронная литография ✓
- b) Лазерная сварка
- c) Электрохимическая гальваника
- d) Кристаллизация из раствора

6 Какие свойства отличают фуллерены?

- a) Высокая масса и электропроводность
- b) Уникальная сферическая структура и высокая прочность ✓
- c) Гибкость
- d) Полная прозрачность

7 Какая структура характерна для поверхности кремния после очистки?

- a) Ровная поверхность без атомных ступеней
- b) Поверхность с аморфной структурой
- c) Атомарно-чистая поверхность с упорядоченными атомами ✓
- d) Поверхность, покрытая оксидной плёнкой

8 Какое свойство молибдена и дисульфида молибдена используется в наноэлектронике?

- a) Высокая масса
- b) Электропроводность и слоистая структура ✓
- c) Прозрачность
- d) Отсутствие теплопроводности

4.5. Перечень вопросов для зачета

5. Физические свойства объектов нанометрового масштаба,
6. Классификация основных подходов формирования наноструктур
7. Наноструктуры и наноматериалы.
8. Принцип квантования и квантовое ограничение
9. Технология создания твёрдых наноструктур
10. Применение квантово-размерных структур в приборах наноэлектроники
11. Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ), как метод контроля и модификации поверхности кристаллов на атомном уровне
12. Структура атомарно-чистых поверхностей кремния.
13. Поверхностные фазы адсорбатов на кремнии
14. Формирование наноструктур с помощью СТМ

15. Формирование наноструктур с использованием процессов самоорганизации на атомарном уровне
16. Фуллерены: формирование, структура, свойства
17. Углеродные нанотрубки.