

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Обнинский институт атомной энергетики –
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)

ОТДЕЛЕНИЕ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

План одобрен
Ученым советом ИАТЭ НИЯУ МИФИ
Протокол № 25.8 от 25.08.2025

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

по дисциплине
Физика полупроводников

Направление

22.03.01 Материаловедение и технологии материалов

Образовательная программа

Плазменные и лазерные технологии материалов

Форма обучения: очная

г. Обнинск

Область применения

Фонд оценочных средств (ФОС) является обязательным приложением к рабочей программе дисциплины «Физика полупроводников» и обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущей и промежуточной аттестации по дисциплине.

Цели и задачи фонда оценочных средств

Целью Фонда оценочных средств является установление соответствия уровня подготовки обучающихся требованиям федерального государственного образовательного стандарта.

Для достижения поставленной цели Фондом оценочных средств по дисциплине решаются следующие задачи:

контроль и управление процессом приобретения обучающимися знаний, умений и навыков, предусмотренных в рамках данной дисциплины;

контроль и оценка степени освоения компетенций, предусмотренных в рамках данной дисциплины;

обеспечение соответствия результатов обучения задачам будущей профессиональной деятельности через совершенствование традиционных и внедрение инновационных методов обучения в образовательный процесс в рамках данной дисциплины.

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы

1.1. В результате освоения ОП обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Код компетенции	Наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
ПК-1	Способен использовать в исследованиях и расчетах знания о методах исследования, анализа, диагностики и моделирования свойств материалов, физических и химических процессах, протекающих в материалах при их получении, обработке и модификации	З-ПК-1 Знать методы исследования, анализа, диагностики и моделирования свойств полупроводниковых материалов, физические и химические процессы, протекающие в полупроводниках при их получении, обработке и модификации У-ПК-1 Уметь использовать знания о методах исследования и анализа свойств полупроводниковых материалов при решении расчётных и исследовательских задач В-ПК-1 Владеть навыками расчёта

		и моделирования параметров полупроводниковых материалов на основе экспериментальных данных
ПК-2	Способен использовать на практике современные представления о влиянии структуры на свойства материалов, их взаимодействии с окружающей средой, полями, частицами и излучениями	<p>З-ПК-2 Знать современные представления о влиянии структуры полупроводников на их электрические, оптические и магнитные свойства, а также о взаимодействии полупроводников с окружающей средой, полями и излучениями</p> <p>У-ПК-2 Уметь использовать знания о структуре полупроводников для прогнозирования и анализа их физических свойств</p> <p>В-ПК-2 Владеть навыками практического использования структурно-зависимых свойств полупроводников при выборе материалов для конкретных применений</p>
ПК-3	Способен работать на научно-исследовательском и технологическом оборудовании в соответствии с правилами техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и норм охраны труда	<p>З-ПК-3 Знать правила техники безопасности, производственной санитарии и охраны труда при работе с оборудованием для исследования полупроводниковых материалов</p> <p>У-ПК-3 Уметь работать на оборудовании для измерения электрических и оптических свойств полупроводников с соблюдением требований техники безопасности</p> <p>В-ПК-3 Владеть навыками эксплуатации оборудования для исследования полупроводниковых материалов и соблюдения требований охраны труда</p>
УКЕ-1	Способен использовать знания естественнонаучных дисциплин, применять методы математического анализа и моделирования,	З-УКЕ-1 Знать основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, применяемые при

	теоретического и экспериментального исследования в поставленных задачах	изучении физики полупроводников У-УКЕ-1 Уметь использовать математические методы для расчёта характеристик полупроводников, решать типовые задачи по физике полупроводников В-УКЕ-1 Владеть методами математического анализа и моделирования процессов в полупроводниках, методами обработки экспериментальных данных
ПК-4	Способен использовать на производстве знания о традиционных и новых технологических процессах и операциях в области материаловедения	З-ПК-4 Знать традиционные и новые технологические процессы получения и обработки полупроводниковых материалов У-ПК-4 Уметь применять знания о технологических процессах получения полупроводников при выборе методов синтеза и обработки материалов В-ПК-4 Владеть навыками интеграции знаний о технологических процессах получения полупроводников в производственный цикл
ПК-6.1	Способен использовать в исследованиях и расчетах знания о методах исследования, анализа, диагностики и моделирования свойств материалов, физических и химических процессах, протекающих в материалах при их получении, обработке и модификации	З-ПК-6.1 Знать методы исследования, анализа, диагностики и моделирования свойств полупроводниковых материалов, физические и химические процессы при их получении, обработке и модификации У-ПК-6.1 Уметь применять методы исследования и моделирования для анализа свойств полупроводниковых материалов В-ПК-6.1 Владеть навыками использования методов исследования и моделирования свойств полупроводниковых

		материалов в расчётах и экспериментальных исследованиях
--	--	---

1.2. Этапы формирования компетенций в процессе освоения ОП

Компоненты компетенций, как правило, формируются при изучении нескольких дисциплин, а также в немалой степени в процессе прохождения практик, НИР и во время самостоятельной работы обучающегося. Выполнение и защита ВКР являются видом учебной деятельности, который завершает процесс формирования компетенций.

Этапы формирования компетенции в процессе освоения дисциплины:

начальный этап – на этом этапе формируются знаниевые и инструментальные основы компетенции, осваиваются основные категории, формируются базовые умения. Студент воспроизводит термины, факты, методы, понятия, принципы и правила; решает учебные задачи по образцу;

основной этап – знания, умения, навыки, обеспечивающие формирование компетенции, значительно возрастают, но ещё не достигают итоговых значений. На этом этапе студент осваивает аналитические действия с предметными знаниями по дисциплине, способен самостоятельно решать учебные задачи, внося коррективы в алгоритм действий, осуществляя коррекцию в ходе работы, переносит знания и умения на новые условия;

завершающий этап – на этом этапе студент достигает итоговых показателей по заявленной компетенции, то есть осваивает весь необходимый объём знаний, овладевает всеми умениями и навыками в сфере заявленной компетенции. Он способен использовать эти знания, умения, навыки при решении задач повышенной сложности и в нестандартных условиях.

1.3. Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Индикатор достижения компетенции	Наименование оценочного средства текущей и промежуточной аттестации
	Текущая аттестация, 8 семестр		
1.	Элементы зонной теории. Собственные и примесные полупроводники. Статистика носителей	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3 3-УКЕ-1, У-УКЕ-1, В-УКЕ-1 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4 3-ПК-6.1, У-ПК-6.1, В-ПК-6.1	Коллоквиум
2.	Электропроводность. Кинетические явления. Контактные явления. Оптические свойства. Материалы	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3 3-УКЕ-1, У-УКЕ-1, В-УКЕ-1 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4	Контрольная работа

		3-ПК-6.1, У-ПК-6.1, В-ПК-6.1	
	Промежуточная аттестация, 8 семестр		
	Зачёт	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3 3-УКЕ-1, У-УКЕ-1, В-УКЕ-1 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4 3-ПК-6.1, У-ПК-6.1, В-ПК-6.1	Зачётный билет

2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Конечными результатами освоения программы дисциплины являются сформированные когнитивные дескрипторы «знать», «уметь», «владеть», расписанные по отдельным компетенциям, которые приведены в п. 1.1. Формирование этих дескрипторов происходит в процессе изучения дисциплины по этапам в рамках различного вида учебных занятий и самостоятельной работы. Выделяются три уровня сформированности компетенций на каждом этапе: пороговый, продвинутый и высокий.

Уровни	Содержательное описание уровня	Основные признаки выделения уровня	БРС, % освоения	ECTS/Пятибалльная шкала для оценки зачёта
Высокий	Творческая деятельность	Включает нижестоящий уровень. Студент демонстрирует свободное владение компетенциями, способен применить их в нестандартных ситуациях: показывает умение самостоятельно принимать решение, решать проблему/задачу теоретического или прикладного характера на основе изученных методов, приёмов, технологий	90–100	А/Отлично/Зачтено
Продвинутый	Применение знаний и умений в более широких	Включает нижестоящий уровень. Студент может доказать владение компетенциями:	75–89	В/Очень хорошо/Зачтено С/Хорошо/Зачтено

	контекстах учебной и профессиональной деятельности	демонстрирует способность собирать, систематизировать, анализировать и грамотно использовать информацию из самостоятельно найденных теоретических источников		
Пороговый	Репродуктивная деятельность	Студент демонстрирует владение компетенциями в стандартных ситуациях: излагает в пределах задач курса теоретически и практически контролируемый материал	60–74	Д/Удовлетворительно/Зачтено Е/Посредственно/Зачтено
Ниже порогового	Отсутствие признаков порогового уровня	Компетенции не сформированы. Студент не в состоянии продемонстрировать обладание компетенциями в стандартных ситуациях	0–59	Неудовлетворительно/Не зачтено

Критерии оценивания компетенций на каждом этапе изучения дисциплины для каждого вида оценочного средства приводятся в п. 4 ФОС. Итоговый уровень сформированности компетенции при изучении дисциплины определяется по таблице соответствия текущего контроля и промежуточной аттестации.

3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Итоговая аттестация по дисциплине является интегральным показателем качества теоретических и практических знаний и навыков обучающихся по дисциплине и складывается из оценок, полученных в ходе текущей и промежуточной аттестации.

Текущая аттестация в семестре проводится с целью обеспечения своевременной обратной связи, для коррекции обучения, активизации самостоятельной работы обучающихся.

Промежуточная аттестация предназначена для объективного подтверждения и оценивания достигнутых результатов обучения после завершения изучения дисциплины.

Текущая аттестация осуществляется два раза в семестр:

контрольная точка № 1 (КТ № 1) – выставляется в электронную ведомость не позднее 5 недели учебного семестра. Включает в себя оценку мероприятий текущего контроля по разделам/темам с 1 по 5 неделю;

контрольная точка № 2 (КТ № 2) – выставляется в электронную ведомость не позднее 9 недели учебного семестра. Включает в себя оценку мероприятий текущего контроля по разделам/темам с 6 по 9 неделю.

Результаты текущей и промежуточной аттестации подводятся по шкале балльно-рейтинговой системы.

Этап рейтинговой системы / Оценочное средство	Неделя	Балл (минимум)	Балл (максимум)
Текущая аттестация	1–9	36	60
Контрольная точка № 1	4–5	18	30
Коллоквиум	5	18	30
Контрольная точка № 2	8–9	18	30
Контрольная работа	9	18	30
Промежуточная аттестация		24	40
Зачётный билет		24	40
ИТОГО по дисциплине		60	100

Минимальное количество баллов за оценочное средство – это количество баллов, набранное обучающимся, при котором оценочное средство засчитывается. Минимальное количество баллов за текущую и промежуточную аттестацию составляет 60% от соответствующих максимальных баллов.

Студент считается аттестованным по дисциплине, если он аттестован по каждому разделу, зачёту и его суммарный балл составляет не менее 60.

Бонусы: поощрительные баллы (не более 5) студент может получить за активную и регулярную работу на занятиях.

4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Обнинский институт атомной энергетики –

филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

(ИАТЭ НИЯУ МИФИ)

ОТДЕЛЕНИЕ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Направление: 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов

Образовательная программа: Плазменные и лазерные технологии материалов

Дисциплина: Физика полупроводников

ВОПРОСЫ К ЗАЧЁТУ

1. Энергетические зоны в кристаллах. Возникновение зон в приближении сильной и слабой связи.
2. Классификация материалов по типу проводимости: металлы, диэлектрики, полупроводники.
3. Эффективная масса электрона. Понятие дырки. Закон дисперсии.

4. Собственные полупроводники. Собственная проводимость. Ширина запрещённой зоны.
5. Примесные полупроводники. Донорные и акцепторные примеси. Полупроводники п- и р-типа.
6. Водородоподобная модель примеси. Энергия ионизации примесей. Глубокие уровни.
7. Компенсация примесей. Полупроводники с амфотерными примесями.
8. Функция распределения Ферми–Дирака. Положение уровня Ферми в собственных полупроводниках.
9. Положение уровня Ферми в примесных полупроводниках. Уравнение электронейтральности.
10. Концентрация электронов и дырок. Температурная зависимость концентрации носителей.
11. Вырождение полупроводника. Критерий вырождения.
12. Электропроводность полупроводников. Подвижность носителей заряда.
13. Механизмы рассеяния носителей: на фононах, ионизованных примесях. Температурная зависимость подвижности.
14. Температурная зависимость электропроводности. Определение ширины запрещённой зоны.
15. Эффект Холла. Коэффициент Холла. Определение типа проводимости и концентрации носителей.
16. Термоэлектрические явления: эффект Зеебека, эффект Пельтье, эффект Томсона.
17. Магнетосопротивление. Эффект Ганна.
18. Энергетическая диаграмма р-п перехода. Контактная разность потенциалов.
19. Вольт-амперная характеристика р-п перехода. Прямое и обратное смещение.
20. Барьерная и диффузионная ёмкость р-п перехода. Пробой р-п перехода.
21. Гетеропереходы. Электронные состояния на поверхности полупроводника.
22. Поверхностные уровни Тэмма и Шокли. Область пространственного заряда. Эффект поля.
23. Структуры металл–диэлектрик–полупроводник (МДП).
24. Поглощение света в полупроводниках: фундаментальное, экситонное, примесное.
25. Фотопроводимость полупроводников. Люминесценция.
26. Полупроводниковые лазеры. Инжекционная люминесценция.
27. Классификация полупроводниковых материалов. Методы получения монокристаллов.
28. Эпитаксия. Легирование полупроводников.
29. Применение полупроводников в лазерных и плазменных технологиях материалов.

Критерии оценивания ответов на зачёте:

Отлично (36–40 баллов) – полный, развёрнутый ответ на вопрос с обоснованием физических закономерностей, привлечением формул и примеров из области лазерных и плазменных технологий.

Хорошо (30–35 баллов) – правильный ответ с незначительными неточностями, недостаточно глубокое обоснование физических выводов.

Удовлетворительно (24–29 баллов) – ответ с существенными неточностями, неполное раскрытие темы, слабое владение материалом.

Неудовлетворительно (23 и менее) – неверный ответ или отсутствие ответа на вопрос.

ВОПРОСЫ ДЛЯ КОЛЛОКВИУМА

Коллоквиум проводится по разделам «Элементы зонной теории», «Собственные и примесные полупроводники» и «Статистика носителей заряда».

1. Энергетические зоны в кристаллах. Приближение сильной связи.
2. Энергетические зоны в кристаллах. Приближение слабой связи.
3. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Критерий деления.
4. Эффективная масса электрона в кристалле. Тензор эффективной массы.
5. Понятие дырки. Заряд, масса и энергия дырки.
6. Закон дисперсии. Изоэнергетические поверхности.
7. Собственная проводимость полупроводников. Ширина запрещённой зоны.
8. Донорные примеси. Полупроводники n-типа.
9. Акцепторные примеси. Полупроводники p-типа.
10. Водородоподобная модель примеси. Расчёт энергии ионизации.
11. Глубокие уровни в полупроводниках. Их роль в рекомбинации.
12. Компенсация примесей в полупроводниках.
13. Функция распределения Ферми–Дирака.
14. Положение уровня Ферми в собственных полупроводниках.
15. Положение уровня Ферми в примесных полупроводниках. Температурная зависимость.

Шкала оценивания коллоквиума:

Отлично (27–30 баллов) – полный ответ на вопрос с обоснованием и примерами, правильное решение дополнительной задачи.

Хорошо (22–26 баллов) – правильный ответ с незначительными неточностями.

Удовлетворительно (18–21 баллов) – ответ с существенными неточностями, неполное раскрытие темы.

Неудовлетворительно (0–17 баллов) – неверный ответ или отсутствие ответа.

КОМПЛЕКТ ЗАДАНИЙ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Контрольная работа включает расчётно-аналитические задачи по разделам «Электропроводность», «Кинетические явления», «Контактные явления», «Оптические свойства» и «Полупроводниковые материалы».

1. Определить концентрацию собственных носителей заряда в кремнии (Si) при температуре 300 К, если ширина запрещённой зоны $E_g = 1,12$ эВ, эффективные массы проводимости $m_n = 1,08m_0$, $m_p = 0,56m_0$. Сравнить с концентрацией при 77 К.

2. Найти положение уровня Ферми в германии (Ge) n-типа при температуре 300 К, если концентрация доноров $N_d = 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Ширина запрещённой зоны $E_g = 0,67$ эВ, эффективные массы $m_n = 0,22m_0$, $m_p = 0,39m_0$.

3. Рассчитать удельную электропроводность кремния n-типа при температуре 300 К, если концентрация доноров $N_d = 10^{15} \text{ см}^{-3}$, подвижность электронов $\mu_n = 1350 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$. Сравнить с собственной электропроводностью.

4. Определить температуру истощения примеси для кремния с концентрацией доноров $N_d = 10^{16} \text{ см}^{-3}$, если энергия ионизации примеси $\Delta E_d = 0,045$ эВ.

5. По температурной зависимости электропроводности полупроводника определить ширину запрещённой зоны, если при $T_1 = 300 \text{ К}$ $\sigma_1 = 4 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$, при $T_2 = 350 \text{ К}$ $\sigma_2 = 2,2 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$.

6. Рассчитать коэффициент Холла для кремния n-типа с концентрацией электронов $n = 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Определить холловское напряжение при токе $I = 1 \text{ мА}$, магнитной индукции $B = 0,5 \text{ Тл}$ и толщине образца $d = 0,1 \text{ см}$.

7. Определить контактную разность потенциалов p-n перехода в кремнии при температуре 300 К, если $N_a = 10^{17} \text{ см}^{-3}$, $N_d = 10^{16} \text{ см}^{-3}$, $n_i = 1,5 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$.

8. Рассчитать ширину области пространственного заряда p-n перехода в кремнии при нулевом смещении, если $N_a = 10^{17} \text{ см}^{-3}$, $N_d = 10^{16} \text{ см}^{-3}$, $\epsilon = 11,7$, контактная разность потенциалов $V_k = 0,7 \text{ В}$.

9. Определить прямой ток через p-n переход при напряжении $U = 0,6 \text{ В}$, если ток насыщения $I_0 = 10^{-12} \text{ А}$, $T = 300 \text{ К}$. Найти отношение прямого тока к обратному при том же напряжении.

10. Рассчитать пороговое напряжение МДП-структуры с подложкой n-типа (Si), если концентрация доноров $N_d = 10^{15} \text{ см}^{-3}$, толщина оксида $d_{ox} = 50 \text{ нм}$, $\epsilon_{ox} = 3,9$, работа выхода $\phi_{ms} = -0,3 \text{ В}$, плотность поверхностных состояний $Q_{ss} = 10^{11} \text{ см}^{-2}$.

11. Определить коэффициент поглощения кремния для света с длиной волны $\lambda = 0,8 \text{ мкм}$, если ширина запрещённой зоны $E_g = 1,12 \text{ эВ}$. Определить, происходит ли межзонное поглощение при данной длине волны.

12. Рассчитать пороговую концентрацию инжекции для создания инверсной населенности в полупроводниковом лазере на основе GaAs, если $E_g = 1,43 \text{ эВ}$, $T = 300 \text{ К}$, эффективные массы $m_n = 0,067m_0$, $m_p = 0,48m_0$, время жизни $\tau = 1 \text{ нс}$.

13. Определить подвижность электронов в кремнии при температуре 77 К, если известно, что при 300 К $\mu_n = 1350 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$, рассеяние происходит на акустических фононах.

14. Рассчитать термоэлектрическую ЭДС (коэффициент Зеебека) для кремния n-типа с концентрацией электронов $n = 10^{16} \text{ см}^{-3}$ при температуре 300 К.

15. Сравнить основные параметры (ширину запрещённой зоны, подвижность, собственную концентрацию) кремния, германия, арсенида галлия (GaAs) и фосфида индия (InP) при температуре 300 К. Определить, какой материал наиболее перспективен для применения в лазерных технологиях.

Критерии оценивания контрольной работы:

Отлично (27–30 баллов) – все задачи решены верно, приведены подробные расчёты, проанализированы результаты, указаны размерности.

Хорошо (22–26 баллов) – большинство задач решено верно, есть незначительные вычислительные ошибки, недостаточный анализ результатов.

Удовлетворительно (18–21 баллов) – решено менее половины задач, грубые ошибки в расчётах, отсутствие анализа размерностей.

Неудовлетворительно (0–17 баллов) – большинство задач решено неверно или отсутствие решения.