

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»

Физический факультет

---

УТВЕРЖДАЮ:  
Малышев А.И.  
декан \_\_\_\_\_  
« 30 » \_\_\_\_\_ августа 2021 г.

**Рабочая программа дисциплины**

**«Твердотельная электроника»**

Уровень подготовки

Аспирантура

Направление подготовки

11.06.01 ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИОТЕХНИКА И СИСТЕМЫ СВЯЗИ

Направленность образовательной программы

05.27.01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и  
наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах»

Квалификация

Исследователь, преподаватель-исследователь

Форма обучения

очная

Нижегород

2021 год

## 1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Твердотельная электроника» относится к вариативной части ОПОП, является дисциплиной по выбору и изучается на 2 году обучения в 3 семестре.

### Целями освоения дисциплины являются:

Целями освоения дисциплины " Твердотельная электроника " являются следующие.

- Изучение физических основ твердотельной электроники.
- Формирование у студентов умений и навыков, необходимых для оптимизации параметров и конструкции приборов нанoeлектроники.
- Получение углубленного профессионального образования по электронной компонентной базе, обеспечивающего возможность быстрого и самостоятельного приобретения новых знаний, необходимых для успешной профессиональной деятельности в области микро- и нанoeлектроники.
- Выработка систематического подхода к анализу работы твердотельных устройств в различных режимах.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции (код компетенции, этап формирования)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
<b>ОПК-1</b> владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности	<i>З1 Знать</i> основные методы исследования электрических свойств изделий активных элементов электроники. <i>У1 Уметь</i> делать выбор наиболее подходящих методов исследования активных элементов электроники. <i>В1 Владеть</i> практическими навыками по применению современных методов исследования в области активных элементов твердотельной электроники.
<b>ПК-1</b> Способность понимать, критически оценивать, анализировать, применять базовую информацию, современную научную, техническую и патентную литературу и пополнять научные знания в областях твердотельной электроники, радиокомпонентов, микро- и нанoeлектроники, приборов на	<i>З1 Знать</i> современные тенденции развития твердотельных активных элементов электроники. <i>У1 Уметь</i> находить необходимую информацию по вопросам развития твердотельных активных элементов электроники, применять базовую информацию, современную научную, техническую и патентную литературу. <i>В1 Владеть</i> методами поиска, обработки и представления информации об аналоговых элементах электроники, пополнять научные знания в областях твердотельной электроники, радиокомпонентов, микро- и нанoeлектроники, приборов на квантовых эффектах.

квантовых эффектах	
<b>ПК-4</b> Способность разрабатывать новые модели физических процессов в области физики и электроники твердотельных материалов, которые могут быть положены в основу новых технических процессов твердотельной электроники, микро- и нанoeлектроники, приборов на квантовых эффектах	<p><b>Знать:</b> Знать физические явления, на которых основана работа современных активных элементов твердотельной электроники.</p> <p><b>Уметь:</b> Уметь делать количественные оценки важнейших параметров активных элементов твердотельной электроники.</p> <p><b>Владеть:</b> навыками разрабатывать новые модели физических процессов в области физики и электроники твердотельных материалов, которые могут быть положены в основу новых технических процессов твердотельной электроники, микро- и нанoeлектроники, приборов на квантовых эффектах.</p>

### 3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единиц, всего 108 часов, из которых 38 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (36 часов занятия лекционного типа, 2 час - мероприятия текущего контроля успеваемости, 2 часа - мероприятия промежуточной аттестации), 70 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

#### Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
	Очное					
1. Полупроводниковые диоды		6				10
2. Биполярные транзисторы		8				16
3. Полевые транзисторы		8				16
4. Полупрово		14				28

дниковые приборы на квантовых эффектах						
ВСЕГО		36				70
В т.ч.текущий контроль	2					
Промежуточная аттестация - экзамен						

### Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Форма проведения занятия	Форма текущего контроля*
1	Полупроводниковые диоды	<p>Полупроводник во внешнем электрическом поле. Дебаевская длина экранирования. Работа выхода. Контакт двух металлов разной природы. Контакт металл-полупроводник. Эффект Шоттки. Диодная и диффузионная модели ВАХ. Контакты двух полупроводников n-n<sup>+</sup> и p-p<sup>+</sup>. Физика p-n-переходов: энергетическая диаграмма, контактная разность потенциалов, концентрация неосновных носителей заряда у границы, распределение электрического поля и потенциала в p-n-переходе, барьерная емкость. Полупроводниковые гетеропереходы.</p> <p>Понятие полупроводникового диода. Распределение носителей в базе диода с p-n-переходом. ВАХ диода. Анализ решений для случаев тонкой и толстой базы диода. Влияние процессов генерации и рекомбинации носителей в p-n-переходе на ВАХ диода. Расчет переменных токов и полной проводимости диода с p-n-переходом; диффузионная емкость. Механизмы пробоя диодов. Процессы в диодах при больших прямых токах. Шумы в диодах. Переходные процессы в диодах. Основные типы диодов и технологические способы их создания. Диоды специального назначения: варикапы, туннельные диоды, ЛПД, фотодиоды, светодиоды,</p>	лекции	экзамен

		инжекционные лазеры. Диоды и лазеры на гетеропереходах.		
2	Биполярные транзисторы	<p>Понятие о биполярном транзисторе как о полупроводниковой структуре с 2-я взаимодействующими р-п-переходами. Основные режимы работы транзистора, распределение неосновных носителей в транзисторе при разных режимах. Основные схемы включения транзистора. Значения постоянных токов и напряжений в транзисторе в активном режиме. Статические характеристики транзисторов. Связь между параметрами статических характеристик транзистора со свойствами исходного полупроводника и геометрией транзисторной структуры. Системы малосигнальных параметров; h-параметры как наиболее удобная система. Эквивалентные схемы (формальная и физическая), параметры эквивалентных схем. Частотные характеристики транзисторов, их связь со свойствами исходного полупроводника и геометрией транзисторной структуры. Шумы в транзисторах. Особенности СВЧ-транзисторов. Работа транзисторов на импульсах. Параметры быстродействия биполярных транзисторов, усиление на высоких частотах, усиление по мощности, время задержки переключения. Основные типы биполярных транзисторов и технологические способы их создания. Транзисторы на гетеропереходах.</p>	лекции	экзамен
3	Полевые транзисторы	<p>Принцип действия полевого транзистора с управляющим р-п-переходом, основные режимы работы. Статические характеристики и их параметры. Расчет статических характеристик полевого транзистора. Система малосигнальных параметров. Эквивалентные схемы полевого транзистора (формальная и малосигнальная).</p> <p>Энергетическая диаграмма МДП-структуры. Емкость МДП-структуры, CV-характеристики. Статические</p>	лекции	экзамен

		характеристики МДП-транзисторов. Основные виды МДП-транзисторов, их сравнение с полевым транзистором на р-п-переходе. Параметры быстродействия полевых транзисторов, усиление на высоких частотах, максимальная частота генерации, время задержки переключения. КМОП-транзисторы. Приборы с зарядовой связью. Энергонезависимая память на МДП-структурах. Гетероструктурные полевые транзисторы.		
4	Полупроводниковые приборы на квантовых эффектах	Селективное легирование. 2D-электронный газ. Реализации ГСЛ-ПТ. Транзисторы на горячих электронах. Одноэлектроника. Квантовые ямы и квантовые точки. Светоизлучающие и светоприемные устройства на квантовых ямах и точках. Резонансно-туннельные диод и транзистор. Транзисторы с квантовой структурой двойного барьера (ДБКС). ПТ с резонансным туннелированием. Структуры со сверхрешёткой. Эффект Ааронова-Бома. Транзисторы с квантовой интерференцией электронных волн. Полевой транзистор на углеродных нанотрубках.	лекции	экзамен

#### 4. Образовательные технологии

Занятия по дисциплине проводят в лекционной форме а также в форме самостоятельной работы аспирантов. На лекциях аспиранты знакомятся с физическими основами твердотельной электроники, у них формируются умения и навыки, необходимые для оптимизации параметров и конструкции приборов нанoeлектроники. Они получают углубленное профессиональное образование по электронной компонентной базе, обеспечивающее возможность быстрого и самостоятельного приобретения новых знаний, необходимых для успешной профессиональной деятельности в области микро- и нанoeлектроники. В конце лекционного цикла проводится экзамен.

#### 5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа аспирантов выполняется в следующих видах: в читальном зале библиотеки, в учебных лабораториях, компьютерных классах и в домашних условиях, с доступом к лабораторному оборудованию, приборам, базам данных, к ресурсам Интернет.

Самостоятельная работа аспирантов обеспечивается учебно-методическими пособиями, учебной и научной литературой.

*Осуществляется подготовка к экзамену по вопросам*

1. Резкий  $p-n$ -переход при ненулевом смещении: распределение электрического поля потенциала и заряда, высота барьера, зонная диаграмма. Инжекция и экстракция носителей заряда. Сравнение с плавным  $p-n$ -переходом.
2. Статическая ВАХ идеального диода. Распределение носителей в базе диода.
3. Полное сопротивление диода на переменном сигнале. Диффузионная емкость. Эквивалентные схемы диода.
4. Барьерная емкость. Зависимость барьерной емкости  $p-n$ -перехода от напряжения смещения (случаи резкого и плавного переходов). Варикапы.
5. Основные механизмы пробоя диодов.
6. Работа диода при высоком уровне инжекции.
7. Переходные процессы в диодах.
8. Туннельный диод: принцип работы, эквивалентная схема, частотные ограничения.
9. Лавинно-пролетные диоды и диоды Ганна.
10. Плоский биполярный транзистор: принцип работы, токи в транзисторе, зонная диаграмма.
11. Статические характеристики транзистора в схеме с общей базой. Влияние на них температуры.
12. Статические характеристики транзистора в схеме с общим эмиттером. Влияние на них температуры.
13. Анализ работы транзистора на малом переменном сигнале. Системы малосигнальных параметров.
14. Т-образная эквивалентная схема транзистора. Связь параметров эквивалентной схемы с физическими параметрами транзистора.
15. Частотные свойства транзисторов. Граничная частота передачи тока базы и предельная частота генерации. Шумы в транзисторах.
16. Импульсные свойства транзисторов (схемы ОБ и ОЭ).
17. Тиристор: ВАХ, принцип работы, зонные диаграммы.
18. Полевой транзистор с управляющим  $p-n$ -переходом: принцип работы, статические характеристики. Разновидности полевых транзисторов. Сравнение с МДП-транзистором.
19. Гетеропереходы: зонные диаграммы, распределение поля и потенциала, высота барьера. ВАХ гетероперехода (модель термоэлектронной эмиссии). Применение гетеропереходов в приборах.
20. Идеальный контакт металл-полупроводник: характеристики контакта, зонные диаграммы, диодная и диффузионная модели ВАХ.
21. Реальные контакты металл-полупроводник: эффект Шоттки, роль граничных состояний. Диоды Шоттки. Омические контакты.
22. Идеальные МДП-структуры: зонные диаграммы, зависимость заряда в полупроводнике от поверхностного потенциала.  $CV$ -характеристики идеальных и реальных МДП-структур. Роль частоты при регистрации  $CV$ -характеристик.
23. Принципы работы приборов с зарядовой связью.
24. Фоторезисторы.
25. Фотодиоды. Фотодиодный и фотогальванический режимы включения.
26. Полупроводниковые лазеры и светодиоды. Лазеры и светодиоды на квантовых ямах и квантовых точках.

27. Основные виды и типы микросхем, их основные параметры. Программируемые логические интегральные схемы.
28. Основные явления, на которых строится сверхпроводящая электроника. Принцип действия сквида. Предел быстрогодействия.
29. Основные параметры качества и тенденции развития элементов нанoeлектроники.
30. Максимальные частоты переключения в гомоструктурных полевых, биполярных транзисторах. Насколько эффективным является переход к наноразмерным масштабам структур? Основные принципиальные физические и технологические ограничения размеров гомоструктурных транзисторов.
31. Новые качества в гетероструктурном варианте транзисторов. Почему при этом можно дальше продвинуться в нанометровый масштаб размеров элементов и увеличить быстродействие?
32. Полезные качества двумерного электронного газа электронов в приборах нанoeлектроники.
33. Горячие электроны. Как они возникают и позволяют увеличить быстродействие БТ?
34. Резонансно-туннельные структуры с двойным барьером.
35. Квантовая интерференция электронных волн в эффекте Ааронова-Бома, как ею можно управлять?
36. Кулоновская блокада туннелирования, что ограничивает скорость дискретного туннелирования?
37. Углеродные нанотрубки. Какие качества углеродных нанотрубок позволяют считать их перспективными структурами для создания ПТ на их основе?
38. Графен. Перспективы создания активных приборов на графене.
39. Принцип действия спинового клапана. Зачем нужен слой антиферромагнетика в спиновом клапане?
40. Спиновая инжекция. Какое полезное дополнительное качество даёт спиновая поляризация в транзисторе на горячих электронах?

**6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине**  
включающий:

**6.1.** *Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования.*

Описание показателей и критериев оценивания компетенций приведены в приложении 1.

**6.2. Критерии оценок экзамена:**

Оценка *отлично* – исчерпывающее владение программным материалом, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, твёрдое знание основных положений дисциплины, умение применять концептуальный аппарат при анализе актуальных проблем. Логически последовательные, содержательные, конкретные ответы на все вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, свободное владение источниками. Практическая часть курса успешно выполнена.

Оценка *хорошо* – достаточно полные знания программного материала, правильное понимание сути вопросов, знание определений, умение формулировать тезисы и



аргументы. Ответы последовательные и в целом правильные, хотя допускаются неточности, поверхностное знакомство с отдельными теориями и фактами, достаточно формальное отношение к рекомендованным для подготовки материалам. Практическая часть курса успешно выполнена.

Оценка *удовлетворительно* – фрагментарные знания, расплывчатые представления о предмете. Ответ содержит как правильные утверждения, так и ошибки, возможно, грубые. Испытуемый плохо ориентируется в учебном материале, не может устранить неточности в своем ответе даже после наводящих вопросов. Практическая часть курса успешно выполнена.

Оценка *неудовлетворительно* – отсутствие ответа хотя бы на один из основных вопросов, либо грубые ошибки в ответах, полное непонимание смысла проблем, не достаточно полное владение терминологией. Практическая часть курса не выполнена или выполнена не в полном объеме.

**6.3.** Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих этапы формирования компетенций.

*Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:*

*- индивидуальное собеседование,*

*Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используются следующие процедуры и технологии:*

*- практические контрольные задания (далее – ПКЗ), включающих одну или несколько задач (вопросов) в виде краткой формулировки действий (комплекса действий), которые следует выполнить, или описание результата, который нужно получить.*

*По сложности ПКЗ разделяются на простые и комплексные задания.*

*Простые ПКЗ предполагают решение в одно или два действия. К ним можно отнести: простые ситуационные задачи с коротким ответом или простым действием; несложные задания по выполнению конкретных действий. Простые задания применяются для оценки умений. Комплексные задания требуют многоходовых решений как в типичной, так и в нестандартной ситуациях. Это задания в открытой форме, требующие поэтапного решения и развернутого ответа, в т.ч. задания на индивидуальное или коллективное выполнение проектов, на выполнение практических действий или лабораторных работ. Комплексные практические задания применяются для оценки владений.*

*Типы практических контрольных заданий:*

*- задания на установление правильной последовательности, взаимосвязанности действий, выяснения влияния различных факторов на результаты выполнения задания.*

**6.4.** Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций.

Типовые контрольные задания включают в себя 2 вопроса в каждом экзаменационном билете из обоих списков контрольных вопросов выше в п.5.

**6.5.** Методические материалы, определяющие процедуры оценивания приведены в фонде оценочных средств.

**7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

а) основная литература:

1. В.А.Гуртов. Твердотельная электроника. – М.: Техносфера, 2005.
2. В.В.Пасынков, Л.К.Чиркин, А.Д.Шинков. Полупроводниковые приборы.- М.: ВШ, 1987; М.: ВШ, 2003.
3. И.М.Викулин, В.И.Стафеев. Физика полупроводниковых приборов. - М.: Сов. Радио, 1990.
4. И.П.Степаненко. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. - М.: Энергия, 1990.
5. С.Зи. Физика полупроводниковых приборов, т.1, 2. - М.: Мир, 1984.
6. Ю.Пожела. Физика быстродействующих транзисторов. – Вильнюс: Моклас, 1989.
7. Драгунов В. П., Неизвестный И. Г., Гридчин В. А. Основы нанoeлектроники. – Новосибирск: изд. НГТУ, 2000.
8. Демиховский В. Я., Вугальтер Г. А., Физика квантовых низкоразмерных структур.- М.: Логос, 2000.
9. Золотухин И. В., Калинин Ю. Е., Стогней О. В., Новые направления физического материаловедения.- Воронеж: изд. ВГУ, 2000.
10. Шука А. А. Нанoeлектроника.- М.: Физматкнига, 2007.
11. Бурбаева Н.В., Днепровская Т.С. Сборник задач по полупроводниковой электронике.- М.: Физматлит, 2004.
12. Аваев Н.А., Наумов Ю.Е., Фролкин В.Т. Основы микрoeлектроники. М.6Радио и связь, 1991.

б) дополнительная литература:

1. Гуляев Ю. В., Сандомирский В. Б., Суханов А. А., Ткач Ю. А. Тенденции развития микрoeлектроники// УФН, 1984, т.144, в.3, с.475-495.
2. Кульбачинский В. А. Структуры малой размерности в полупроводниках.- М.: изд. МГУ, 1998.
3. Елецкий А. В. Углеродные нанотрубки.// УФН, 1997, т.167, в.9.
4. Демидов Е. С., Аттосекундная высокотемпературная одноэлектроника на атомах переходных элементов.// Письма в ЖЭТФ, 2000, т.71, В.9, С.513–518,.
5. Дудкин В. И., Пахомов Л. Н., Квантовая электроника. Приборы и их применение. - М.: Техносфера, 2006.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы :

Пакет компьютерных аналитических и графических вычислений для персонального компьютера. Допускается применение сред Wolfram Mathematica или любых иных компьютерных ресурсов аналогичного назначения.

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

- помещения для проведения занятий: лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования и помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ННГУ;

- материально-техническое обеспечение, необходимое для реализации дисциплины, включая лабораторное оборудование – комплекс учебного оборудования фирмы Natinal Instruments;
- лицензионное программное обеспечение фирмы Natinal Instruments.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 11.06.01 ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИОТЕХНИКА И СИСТЕМЫ СВЯЗИ (уровень подготовки кадров высшей квалификации).

Автор (ы) доцент каф ФПЭН \_\_\_\_\_ Карзанов В.В.

Рецензент (ы) \_\_\_\_\_

заведующий кафедрой теоретической физики,  
д.ф.-м.н., профессор

\_\_\_\_\_ В. А. Бурдов

Программа рекомендована на заседании кафедры физики полупроводников, электроники и нанoeлектроники от \_\_\_\_\_ года, протокол № \_\_\_\_\_

Программа одобрена на заседании методической комиссии физического факультета от \_\_\_\_\_ года, протокол № \_\_\_\_\_

**ОПК-1** владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности

Планируемые результаты обучения*(показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
<b>31</b> <u>Знать</u> основные методы исследования электрических свойств изделий активных элементов электроники.	Отсутствие знаний	Фрагментарное знание основных методов исследования электрических свойств изделий активных элементов электроники.	В целом успешное знание основных методов исследования электрических свойств изделий активных элементов электроники.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знание основных методов исследования электрических свойств изделий активных элементов электроники.	Успешное и систематическое знание основных методов исследования электрических свойств изделий активных элементов электроники.
<b>У1</b> <u>Уметь</u> делать выбор наиболее подходящих методов исследования активных элементов электроники.	Отсутствие умений	Частично освоенное умение делать выбор наиболее подходящих методов исследования активных элементов электроники.	В целом успешное, но не систематическое осуществляемое умение делать выбор наиболее подходящих методов исследования активных элементов электроники.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение делать выбор наиболее подходящих методов исследования активных элементов электроники.	Сформированное умение делать выбор наиболее подходящих методов исследования активных элементов электроники.
<b>В1</b> <u>Владеть</u> практическими навыками по применению современных методов исследования в области активных элементов твердотельной электроники.	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение современных методов исследования в области активных элементов твердотельной электроники.	В целом успешное, но не систематическое применение современных методов исследования в области активных элементов твердотельной электроники.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение современных методов исследования в области активных элементов твердотельной электроники.	Успешное и систематическое применение современных методов исследования в области активных элементов твердотельной электроники.

**ПК-1** Способность понимать, критически оценивать, анализировать, применять базовую информацию, современную научную, техническую и патентную литературу и пополнять научные знания в областях твердотельной электроники, радиокомпонентов, микро- и нанoeлектроники, приборов на квантовых эффектах

Планируемые	Критерии оценивания результатов обучения
-------------	--

результаты обучения*(показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	1	2	3	4	5
31 <u>Знать</u> современные тенденции развития твердотельных активных элементов электроники.	Отсутствие знаний	Фрагментарное знание современных тенденций развития твердотельных активных элементов электроники.	В целом успешное знание современных тенденций развития твердотельных активных элементов электроники	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знание современных тенденций развития твердотельных активных элементов электроники	Успешное и систематическое знание современных тенденций развития твердотельных активных элементов электроники
У1 <u>Уметь</u> находить необходимую информацию по вопросам развития твердотельных активных элементов электроники, применять базовую информацию, современную научную, техническую и патентную литературу.	Отсутствие умений	Частично освоенное умение находить необходимую информацию по вопросам развития твердотельных активных элементов электроники, применять базовую информацию, современную научную, техническую и патентную литературу.	В целом успешное, но не систематически осуществляемое умение находить необходимую информацию по вопросам развития твердотельных активных элементов электроники, применять базовую информацию, современную научную, техническую и патентную литературу.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение находить необходимую информацию по вопросам развития твердотельных активных элементов электроники, применять базовую информацию, современную научную, техническую и патентную литературу.	Сформированное умение находить необходимую информацию по вопросам развития твердотельных активных элементов электроники, применять базовую информацию, современную научную, техническую и патентную литературу.
В1 <u>Владеть</u> методами поиска, обработки и представления информации об аналоговых элементах электроники, пополнять научные знания в областях твердотельной электроники, радиокомпонентов, микро- и наноэлектроники, приборов на квантовых эффектах.	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение методов поиска, обработки и представления информации об аналоговых элементах электроники, пополнять научные знания в областях твердотельной электроники, радиокомпонентов, микро- и наноэлектроники, приборов на квантовых эффектах.	В целом успешное, но не систематическое применение методов поиска, обработки и представления информации об аналоговых элементах электроники, пополнять научные знания в областях твердотельной электроники, радиокомпонентов, микро- и наноэлектроники, приборов на квантовых эффектах.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение методов поиска, обработки и представления информации об аналоговых элементах электроники, пополнять научные знания в областях твердотельной электроники, радиокомпонентов, микро- и наноэлектроники, приборов на квантовых эффектах.	Успешное и систематическое применение методов поиска, обработки и представления информации об аналоговых элементах электроники, пополнять научные знания в областях твердотельной электроники, радиокомпонентов, микро- и наноэлектроники, приборов на квантовых эффектах.

**ПК-4** Способность разрабатывать новые модели физических процессов в области физики и электроники твердотельных материалов, которые могут быть положены в основу новых технических процессов твердотельной электроники, микро- и наноэлектроники, приборов на квантовых эффектах

Планируемые	Критерии оценивания результатов обучения
-------------	--

результаты обучения*(показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	1	2	3	4	5
<b>Знать:</b> физические явления, на которых основана работа современных активных элементов твердотельной электроники.	Отсутствие знаний	Фрагментарное знание физических явлений, на которых основана работа современных активных элементов твердотельной электроники.	В целом успешное знание физических явлений, на которых основана работа современных активных элементов твердотельной электроники.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знание физических явлений, на которых основана работа современных активных элементов твердотельной электроники.	Успешное и систематическое знание физических явлений, на которых основана работа современных активных элементов твердотельной электроники.
<b>Уметь:</b> делать количественные оценки важнейших параметров активных элементов твердотельной электроники.	Отсутствие умений	Частично освоенное умение делать количественные оценки важнейших параметров активных элементов твердотельной электроники.	В целом успешное, но не систематически осуществляемое умение делать количественные оценки важнейших параметров активных элементов твердотельной электроники.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение делать количественные оценки важнейших параметров активных элементов твердотельной электроники.	Сформированное умение делать количественные оценки важнейших параметров активных элементов твердотельной электроники.
<b>Владеть:</b> навыками разрабатывать новые модели физических процессов в области физики и электроники твердотельных материалов, которые могут быть положены в основу новых технических процессов твердотельной электроники, микро- и наноэлектроники, приборов на квантовых эффектах.	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение новых моделей физических процессов в области физики и электроники твердотельных материалов, которые могут быть положены в основу новых технических процессов твердотельной электроники, микро- и наноэлектроники, приборов на квантовых эффектах.	В целом успешное, но не систематическое применение новых моделей физических процессов в области физики и электроники твердотельных материалов, которые могут быть положены в основу новых технических процессов твердотельной электроники, микро- и наноэлектроники, приборов на квантовых эффектах.	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение новых моделей физических процессов в области физики и электроники твердотельных материалов, которые могут быть положены в основу новых технических процессов твердотельной электроники, микро- и наноэлектроники, приборов на квантовых эффектах.	Успешное и систематическое применение новых моделей физических процессов в области физики и электроники твердотельных материалов, которые могут быть положены в основу новых технических процессов твердотельной электроники, микро- и наноэлектроники, приборов на квантовых эффектах.