

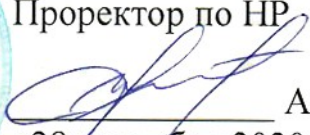
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования



«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)



УТВЕРЖДАЮ
Проректор по НР


Ахметова И.Г.
«28» октября 2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.ДВ.01.02 Основы нанoeлектроники

(указывается индекс и наименование дисциплины согласно учебному плану в соответствии с ФГОС ВПО)

Направление
подготовки

12.06.01 Фотоника, приборостроение, оптические и био-
технические системы и технологии

(указывается код и наименование)

Направленность
подготовки

05.11.13 Приборы и методы контроля природной
среды, веществ, материалов и изделий

Уровень высшего
образования

Подготовка кадров высшей квалификации

Квалификация (степень)
выпускника

Исследователь. Преподаватель-
исследователь

Форма обучения

Очная, заочная

(очная, очно-заочная, заочная)

г. Казань

2020

1 Цели и задачи освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Основы наноэлектроники» является изучение сведений и приобретение практических навыков, необходимых для разработки и исследования элементов наноэлектроники с использованием современных аппаратно-программных комплексов.

Основными задачами дисциплины являются:

1. Приобретение необходимых знаний об основных законах, определяющих физические свойства объектов нанометрового масштаба;
2. Изучение структур с пониженной размерностью;
3. Ознакомление с основными достижениями и перспективами полупроводниковой наноэлектроники.

В результате изучения дисциплины «Основы наноэлектроники» аспирант должен овладеть:

Формируемые компетенции (код и формулировка компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций
ПК-1 способность адаптироваться к изменяющимся условиям, переоценивать накопленный опыт, анализировать свои возможности	З1(ПК-1) Знать: принципы построения, конструкции, модели и методы моделирования сверхбыстродействующих гетеропереходных транзисторов; эффективные методики проведения экспериментального исследования с применением современных средств и методов У1 (ПК-1) Уметь: проводить анализ и систематизацию информации, связанной с исследованием наноэлектронных приборов; обрабатывать и представлять результаты наблюдений, производить оценку результатов и погрешностей прямых, косвенных и совокупных измерений. В1 (ПК-1) Владеть: эффективными методиками проведения экспериментального исследования с применением современных средств и методов
УК-1 способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	З1(УК-1) Знать: основы метрологии и метрологического обеспечения при решении исследовательских и практических задач; У1 (УК-1) Уметь: критически анализировать и оценивать современные научные достижения, генерировать новые идеи при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных об-

	ластях В1 (УК-1) Владеть: способностью к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях
УК-6 способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития	З1(УК-6) Знать: как планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития; У1 (УК-6) Уметь: планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития; В1 (УК-6) Владеть: способностью планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития

2 Место дисциплины в структуре ООП ВО

Дисциплина «Основы нанoeлектроники» относится к дисциплинам по выбору и является образовательной составляющей учебного плана. Дисциплина преподается на 4 курсе. Содержание дисциплины базируется на знаниях, полученных при изучении дисциплин: Квантовая электроника; Физика металлов, полупроводников и диэлектриков; Физика сверхпроводимости; История и методология науки и техники.

Знания, полученные при изучении данной дисциплины, используются при выполнении научно-исследовательской работы аспиранта и диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук.

3. Структура и содержание дисциплины «Основы нанoeлектроники»

3.1. Общая трудоемкость дисциплин составляет 3 зачетных единицы, 108 часов. Практическая подготовка по виду профессиональной деятельности составляет 3 часа.

Вид учебной работы	Всего часов	из них, проводимых в интерактивной форме	семестры			
			4			
ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ	108		108			
АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ:	30		30			

Лекции (Лк)	15		15			
Практические (семинарские) занятия (ПЗ)	15		15			
Лабораторные работы (ЛР)						
и(или) другие виды аудиторных занятий						
САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА:	60		60			
Курсовой проект (работа)						
Расчетно-графические работы						
Реферат						
и (или) другие виды самостоятельной работы						
ВИД ИТОГОВОГО КОНТРОЛЯ (З – зачет, Э – экзамен)	18		30			

для аспирантов заочной формы обучения

Вид учебной работы	Всего часов	из них, проводимых в интерактивной форме	семестры			
			4			
ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ	108		108			
АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ:	12		12			
Лекции (Лк)	6		6			
Практические (семинарские) занятия (ПЗ)	6		6			
Лабораторные работы (ЛР)						
и(или) другие виды аудиторных занятий						
САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА:	92		92			
Курсовой проект (работа)						
Расчетно-графические работы						
Реферат						
и (или) другие виды самостоятельной работы	92		92			
ВИД ИТОГОВОГО КОНТРОЛЯ (З – зачет, Э – экзамен)	4		30			

3.2. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Всего часов на раздел	Семестр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лк	ПЗ	ЛР	СР	
1	2	3	4	6	7	8	9	10
1	Физические основы наноэлектроники	23	4	4	4		15	Устный опрос.
2	Способы формирования квантово-размерных наноструктур	23	4	4	4		15	Устный опрос.
3	Квантовые эффекты	23	4	4	4		15	Устный опрос.
4	Устройства наноэлектроники	21	4	3	3		15	Устный опрос.
	Промежуточная аттестация	18	4					Зачет
	Итого:	108	–	15	15		60	–

3.3. Содержание разделов дисциплины

1. Физические основы наноэлектроники

Квантовое ограничение. Полупроводниковые гетероструктуры. Сверхрешетки. Полупроводниковые сверхрешетки. Энергетические диаграммы сверхрешеток. Энергетический спектр электронов в сверхрешетках. Свойства электронного газа в сверхрешетках. Влияние квантово-размерных эффектов на свойства вещества.

2. Способы формирования квантово-размерных наноструктур

Формирование квантовых точек. Формирование квантовых проволок (нитей). Формирование квантовых ям.

3. Квантовые эффекты

2D-электронный газ в магнитном поле. Целочисленный и дробный квантовый эффект Холла. Эффект Ааронова–Бома. Эффект Штарка. Квантово-размерный эффект Штарка в гетеронаноструктурах с квантовыми ямами. Туннельный эффект. Эффект Джозефсона. Кулоновская блокада. Кулоновская блокада с одним туннельным переходом. Кулоновская блокада с двумя туннельными переходами. Сотуннелирование.

4. Устройства наноэлектроники

Приборы на резонансном туннелировании. Диоды на резонансном туннелировании. Транзисторы на резонансном туннелировании. Логические элементы на резонансно-туннельных приборах. Приборы на одноэлектронном туннелировании. Одноэлектронный транзистор. Одноэлектронный насос. Одноэлектронная память. Устройства на основе сверхрешеток. Инфракрасные фотоприемники. Сверхрешетки в лазерных

структурах. Квантовые каскадные лазеры. Лавинные фотодиоды. Оптические модуляторы. Транзисторы с высокой подвижностью.

3.4. Практические (семинарские) занятия

№ п/п	Тема практических (семинарских) занятий	Семестр	Номер раздела лекционного курса	Продолжительность (часов)
1	2	3	4	5
1	Исследование процесса формирования низкоразмерной среды для создания устройств наноэлектроники	4	1	4
2	Исследование технологии создания гетеролазерной структуры методом жидкостной эпитаксии	4	2	4
3	Исследование электрических и структурных дефектов поверхности полупроводниковых подложек	4	3	4
4	Изучение параметров светоизлучающих диодов и фотоприемников, оптоволоконных линий передачи информации	4	4	3
	Промежуточная аттестация	4	1-4	
	Итого			15

3.5. Лабораторные занятия учебным планом дисциплины не предусмотрены

3.6. Разделы дисциплины и связь с формируемыми компетенциями

			ПК-1	УК-1	УК-6	Количество компетенций
1	Физические основы нанoeлектроники	23	З	З	У	3
2	Способы формирования квантово-размерных наноструктур	23		З	В	2
3	Квантовые эффекты	23	З	В		2
4	Устройства нанoeлектроники	21	З	У	В	3

(Сумма компетенций, сформированных каждым разделом, соотнесенная с часами на изучение данного раздела, позволяет оценить реальность формирования компетенций и скорректировать распределение часов отведенных на разделы).

Условные обозначения: З – знать,
У – уметь,
В – владеть.

3.7. Организация самостоятельной работы аспирантов

№ п/п	Тема самостоятельной работы	Семестр	Номер раздела лекционного курса	Продолжительность (часов)
1	2	3	4	5
1	Подготовка к устному опросу по теме «Физические основы наноэлектроники»	4	1	15
2	Подготовка к устному опросу по теме «Способы формирования квантово-размерных наноструктур»	4	2	15
3	Подготовка к устному опросу по теме «Квантовые эффекты»	4	3	15
4	Подготовка доклада и презентации по темам «Квантовые эффекты, Устройства наноэлектроники, Способы формирования квантово-размерных наноструктур»	4	2-4	15
5	Подготовка к зачету с оценкой	4	1-4	
	Итого:			60

4. Образовательные технологии

№ п/п	Раздел дисциплины	Компетенции	Образовательные технологии	Оценочные средства
1	2	3	4	5
1	Физические основы наноэлектроники	ПК-1з, УК-1у	Лекция-визуализация	Устный опрос.
2	Способы формирования квантово-размерных наноструктур	УК-1з, УК-6в	Лекция-визуализация, интерактивная форма	Устный опрос.
3	Квантовые эффекты	ПК-1з, УК-1в	Лекция-визуализация, интерактивная форма	Устный опрос.
4	Устройства наноэлектроники	ПК-1з, УК-1у, УК-6в	Лекция-визуализация	Устный опрос.

Используются электронные образовательные ресурсы (ЭОР), размещенные в личных кабинетах студентов Электронного университета КГЭУ, URL: <http://e.kgeu.ru/>.

5. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов

5. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

5.1. Виды и формы контроля по дисциплине

Контроль уровня усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных навыков (владений) осуществляется в рамках текущего и промежуточного контроля в соответствии с Положением о текущем контроле и промежуточной аттестации обучающихся в КГЭУ.

Текущий контроль освоения компетенций по дисциплине проводится при изучении теоретического материала, выполнении индивидуальных заданий в форме устного опроса. Текущему контролю подлежит посещаемость аспирантами аудиторных занятий и работа на занятиях.

Итоговой оценкой освоения дисциплинарных компетенций (результатов обучения по дисциплине «*Основы наноэлектроники*») является промежуточная аттестация в форме зачета с оценкой, проводимая с учетом результатов текущего контроля в 4 семестре.

5.2. Типовые задания и материалы для оценки сформированности компетенций в процессе освоения дисциплины

5.2.1. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

Для промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины разработаны и используются следующие средства:

Вопросы к зачету

1. Чем определяется квантовое ограничение.
2. Как устроены полупроводниковые гетероструктуры.
3. Как устроены сверхрешетки.
4. Из чего состоят полупроводниковые сверхрешетки.
5. Привести энергетические диаграммы сверхрешеток.
6. Энергетический спектр электронов в сверхрешетках.
7. Свойства электронного газа в сверхрешетках.
8. Влияние квантово-размерных эффектов на свойства вещества.
9. Как происходит формирование квантовых точек.
10. Формирование квантовых проволок (нитей).
11. Формирование квантовых ям.
12. 2D-электронный газ в магнитном поле.
13. Целочисленный и дробный квантовый эффект Холла.
14. Эффект Ааронова–Бома.
15. Эффект Штарка.
16. Квантово-размерный эффект Штарка в гетеронаноструктурах с квантовыми ямами.

17. Туннельный эффект.
18. Эффект Джозефсона.
19. Кулоновская блокада. Кулоновская блокада с одним туннельным переходом.
20. Кулоновская блокада с двумя туннельными переходами. Сотуннелирование.
21. Приборы на резонансном туннелировании.
22. Диоды на резонансном туннелировании.
23. Транзисторы на резонансном туннелировании.
24. Логические элементы на резонансно-туннельных приборах.
25. Приборы на одноэлектронном туннелировании.
26. Одноэлектронный транзистор.
27. Одноэлектронный насос.
28. Одноэлектронная память.
29. Устройства на основе сверхрешеток.
30. Инфракрасные фотоприемники.
31. Сверхрешетки в лазерных структурах.
32. Квантовые каскадные лазеры.
33. Лавинные фотодиоды.
34. Оптические модуляторы.
35. Транзисторы с высокой подвижностью.

5.3. Критерии оценивания уровня сформированности компетенций

Оценка результатов обучения по дисциплине «Наноэлектроника в электроэнергетике» в форме уровня сформированности компонентов знать, уметь, владеть заявленных дисциплинарных компетенций проводится по 4-х балльной шкале оценивания путем выборочного контроля во время зачета с оценкой.

При оценке уровня сформированности дисциплинарных компетенций в рамках выборочного контроля при зачете считается. Что полученная оценка за компонент проверяемой в билете дисциплинарной компетенции обобщается на соответствующий компонент всех дисциплинарных компетенций, формируемых в рамках данной дисциплины.

Критерии оценивания

Оценка	Критерии
«отлично»	Наличие глубоких и исчерпывающих знаний в объеме пройденного программного материала, правильные и уверенные действия по применению полученных знаний на практике, грамотное и стройное изложение материала при ответе, знание дополнительно рекомендованной литературы

«хорошо»	Наличие твердых и достаточно полных знаний программного материала, незначительные ошибки при освещении заданных вопросов, правильные действия по применению знаний на практике, четкое изложение материала
«удовлетворительно»	Наличие твердых знаний пройденного материала, изложение ответов с ошибками, необходимость дополнительных вопросов, правильные действия по применению знаний на практике
«неудовлетворительно»	Наличие грубых ошибок в ответе, непонимание сущности излагаемого вопроса, неумение применять знания на практике, неточность ответов на дополнительные вопросы.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

6.1. Основная литература:

1. Смирнов Ю. А. Основы нано- и функциональной электроники : учеб. пособие/ Ю. А. Смирнов, С. В. Соколов, Е. В. Титов. -Москва: Лань, 2013. -320 с. - электронный ресурс Издательского дома «Лань». Режим доступа URL: <https://e.lanbook.com/book/5855>

2. Лозовский В. Н. Нанотехнология в электронике. Введение в специальность/ (учебное пособие) В. Н. Лозовский, Г. С. Константинова, С. В. Лозовский. -Москва: Лань, 2018. -336 с. - электронный ресурс Издательского дома «Лань». Режим доступа URL: <https://e.lanbook.com/book/5855>

3. Игнатов А.Н. Микросхемотехника и наноэлектроника: (учеб. пособие) / А.Н. Игнатов. – Москва: лань, 2011. – 527 с. – есть электронный ресурс Издательского дома «Лань». Режим доступа <https://e.lanbook.com/book/2035>.

4. Введение в нанотехнологию / В. И. Марголин [и др.]. -Москва: Лань, 2012. -464 с. - электронный ресурс Издательского дома «Лань». Режим доступа <http://e.lanbook.com>.

5. Смирнов Ю. А. Основы нано- и функциональной электроники : учеб. пособие/ Ю. А. Смирнов, С. В. Соколов, Е. В. Титов. -Москва: Лань, 2013. - 320 с. - электронный ресурс Издательского дома «Лань». Режим доступа <http://e.lanbook.com>.

6.2. Дополнительная литература

1. Драгунов В. П. Основы наноэлектроники : учебное пособие/ В. П. Драгунов, И. Г. Неизвестный, В. А. Гридчин. -М.: Логос, 2006. -496 с.
2. Лозовский В. Н. Нанотехнология в электронике. Введение в специальность/ учебное пособие, В. Н. Лозовский, Г. С. Константинова, С. В. Лозовский. -Москва: Лань, 2018. -336 с. -электронный ресурс Издательского дома «Лань».Режим доступа с
3. Игнатов А.Н. Микросхемотехника и наноэлектроника: учеб. Пособие / А.Н. Игнатов. – Москва: лань, 2011. – 527 с. – есть электронный ресурс Издательского дома «Лань». Режим доступа <https://e.lanbook.com/book/2035>.
4. Введение в нанотехнологию /УЧЕБНИК, В. И. Марголин [и др.]. - Москва: Лань, 2012. -464 с. - электронный ресурс Издательского дома «Лань». Режим доступа <https://e.lanbook.com/book/4310>
5. Смирнов Ю. А. Основы нано- и функциональной электроники : учеб. пособие/ Ю. А. Смирнов, С. В. Соколов, Е. В. Титов. -Москва: Лань, 2013. - 320 с. -электронный ресурс Издательского дома «Лань».Режим доступа:<https://e.lanbook.com/book/585>

6.3. Электронно-библиотечные системы

1. iprbookshop.ru.
2. knigafund.ru.
3. ibooks.ru.
4. znanium.com.
5. e.lanbook.com.
6. library.bsu.ru/menu-electronic.

6.4. Программное обеспечение дисциплины

Пакеты прикладных программ для расчета параметров интерфейсов Multisim, MatLab, LabVIEWи Trace Mode.

6.5. Интернет-ресурсы

1. [http:// otherreferats.allbest.ru](http://otherreferats.allbest.ru).
2. www.kgeu.ru.
3. www.mirknig.com

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Требования к условиям реализации дисциплины

№ п./п.	Вид учебной работы	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы
1	Лекции	Специальные помещения для проведения занятий лекционного типа	Специализированная учебная мебель, технические средства обучения: мультимедийный проектор, мобильный ПК (ноутбук), экран
2	Практические занятия	Специальные помещения для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	Специализированная учебная мебель, технические средства обучения: мультимедийный проектор, мобильный ПК (ноутбук)
		Компьютерный класс с выходом в Интернет	Специализированная учебная мебель, технические средства обучения: ПК, лицензионное программное обеспечение
3	Самостоятельная работа обучающихся	Компьютерный класс с выходом в Интернет В-600а	Специализированная учебная мебель на 30 посадочных мест, 30 компьютеров, технические средства обучения (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран), видеокamеры, программное обеспечение
		Читальный зал библиотеки	Специализированная мебель, компьютерная техника с возможностью выхода в Интернет и обеспечением доступа в ЭИОС, мультимедийный проектор, экран, программное обеспечение

8. Особенности организации образовательной деятельности для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Лица с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) и инвалиды имеют возможность беспрепятственно перемещаться из одного учебно-лабораторного корпуса в другой, подняться на все этажи учебно-лабораторных корпусов, заниматься в учебных и иных помещениях с учетом особенностей психофизического развития и состояния здоровья.

Для обучения лиц с ОВЗ и инвалидов, имеющих нарушения опорно-двигательного аппарата, обеспечены условия беспрепятственного доступа во все учебные помещения. Информация о специальных условиях, созданных для обучающихся с ОВЗ и инвалидов, размещена на сайте университета www//kgeu.ru. Имеется возможность оказания технической помощи ассистентом, а также услуг сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков.

Для адаптации к восприятию лицами с ОВЗ и инвалидами с нарушен-

ным слухом справочного, учебного материала по дисциплине обеспечиваются следующие условия:

- для лучшей ориентации в аудитории, применяются сигналы оповещения о начале и конце занятия (слово «звонок» пишется на доске);
- внимание слабослышащего обучающегося привлекается педагогом жестом (на плечо кладется рука, осуществляется нерезкое похлопывание);
- разговаривая с обучающимся, педагогический работник смотрит на него, говорит ясно, короткими предложениями, обеспечивая возможность чтения по губам.

Компенсация затруднений речевого и интеллектуального развития слабослышащих обучающихся проводится путем:

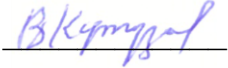
- использования схем, диаграмм, рисунков, компьютерных презентаций с гиперссылками, комментирующими отдельные компоненты изображения;
- регулярного применения упражнений на графическое выделение существенных признаков предметов и явлений;
- обеспечения возможности для обучающегося получить адресную консультацию по электронной почте по мере необходимости.

Для адаптации к восприятию лицами с ОВЗ и инвалидами с нарушениями зрения справочного, учебного, просветительского материала, предусмотренного образовательной программой по выбранному направлению подготовки, обеспечиваются следующие условия:


- ведется адаптация официального сайта в сети Интернет с учетом особых потребностей инвалидов по зрению, обеспечивается наличие крупношрифтовой справочной информации о расписании учебных занятий;
- педагогический работник, его собеседник (при необходимости), присутствующие на занятии, представляются обучающимся, при этом каждый раз называется тот, к кому педагогический работник обращается;
- действия, жесты, перемещения педагогического работника коротко и ясно комментируются;
- печатная информация предоставляется крупным шрифтом (от 18 пунктов), тотально озвучивается;
- обеспечивается необходимый уровень освещенности помещений;
- предоставляется возможность использовать компьютеры во время занятий и право записи объяснений на диктофон (по желанию обучающихся).

Форма проведения текущей и промежуточной аттестации для обучающихся с ОВЗ и инвалидов определяется педагогическим работником в соответствии с учебным планом. При необходимости обучающемуся с ОВЗ, инвалиду с учетом их индивидуальных психофизических особенностей дается возможность пройти промежуточную аттестацию устно, письменно на бумаге, письменно на компьютере, в форме тестирования и т.п., либо предоставляется дополнительное время для подготовки ответа.

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 12.06.01 «Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии» (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденным приказом Министерством образования и науки Российской Федерации от 30 июля 2014 г. №877.

Автор:  д.ф.-м.н., проф. Голенищев-Кутузов В. А.

Программа обсуждена и одобрена на заседании кафедры ПЭС от 27.10.2020 г., протокол № 5.

Зав. кафедрой ПЭС  д.ф.-м.н., проф. Голенищев-Кутузов А. В.

На заседании методического совета ИЭЭ от 28.10.2020 г., протокол №3 программа рекомендована к утверждению.

Директор ИЭЭ  д.т.н., проф. И. В. Ившин

