

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Политехнический институт
Факультет приборостроения, информационных технологий и электроники



«УТВЕРЖДАЮ»
Директор ПИ
Д. В. Артамонов
Октября 2014 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«ОСНОВЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ»
А1.В.ОД.3

Направление подготовки: **03.06.01 — «Физика и астрономия»**

Направленность (профиль) **Физика полупроводников**

Квалификация: **Исследователь. Преподаватель-исследователь**

Форма обучения: **очная**

Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению 03.06.01 — «Физика и астрономия» подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре (уровень подготовки кадров высшей квалификации)

Программу составил:

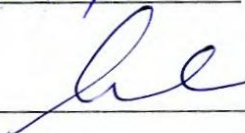
Грунин А. Б., д. ф.-м. н., профессор



Программа обсуждена на заседании кафедры «Физика»

Протокол № 1.1 от « 1 » октября 2014 года


Зав. кафедрой



Семенов М. Б.

Программа согласована с деканом факультета ФПИТЭ

Декан факультета



Кревчик В. Д.

Программа одобрена методической комиссией факультета ФПИТЭ

Протокол № 1

от « 1 » октября 2014 года

Председатель методической комиссии факультета ФПИТЭ



Задера А. В.

Настоящая программа не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы

1. Цели и задачи дисциплины, её место в системе подготовки аспиранта, требования к уровню освоения содержания дисциплины

1.1 Цели и задачи изучения дисциплины

Цель изучения дисциплины – формирование представления о предмете, ознакомление аспирантов с основными понятиями и идеями нанотехнологии, демонстрация принципиального отличия физических свойств наносистем и наноматериалов от аналогичных свойств обычных макроскопических систем и макроскопических тел, ознакомление аспирантов с физическими основами создания и применения сверхпроводниковых и полупроводниковых наноструктур, анализ имеющихся методов создания и исследования наносистем и наноматериалов.

Задачи дисциплины:

- повышение уровня общенаучной и специальной подготовки научно-исследовательских кадров;
- ознакомление с основными наноструктурами и наноматериалами, перспективными для современной техники и позволяющими проводить принципиально новые физические эксперименты;
- оценка перспективы применения этих объектов;
- анализ проблем, связанных с будущим широким применением наноструктур и наноматериалов (социальные, экологические, военные и пр.);
- формирование и закрепление навыков работы с научной, научно-популярной литературой и интернет-сайтами по нанотехнологиям и наноэлектронике;
- освоение новых теорий и моделей, требующих углубленных профессиональных знаний;
- развитие умений и навыков анализа научных исследований по приоритетным направлениям развития современной мировой и отечественной науки.

1.2 Место дисциплины в структуре ООП аспиранта

Дисциплина «Основы полупроводниковой наноэлектроники» относится к обязательным дисциплинам вариативной части учебного плана ООП по направлению подготовки 03.06.01 – Физика и астрономия, профиль подготовки – Физика полупроводников

Научно-исследовательская работа аспиранта осуществляется в каждом семестре всего периода обучения.

1.3 Связь с предшествующими и последующими дисциплинами

Курс предполагает наличие у аспирантов знаний по курсам «Общая физика», «Теоретическая физика», «Квантовая механика», «Дополнительные главы математической физики», «Избранные разделы физики конденсированного состояния», «Физические основы оптики полупроводниковых наноструктур». Знания и навыки, полученные аспирантами при изучении данного курса, могут быть применены при подготовке и написании диссертации по специальности – Физика полупроводников.

2. Компетенции аспиранта, формируемые в результате освоения программы дисциплины «Основы полупроводниковой наноэлектроники»

Коды компетенции	Наименование компетенции	Структурные элементы компетенции (в результате освоения дисциплины обучающийся должен знать, уметь, владеть)
1	2	3
ПК-4	Способность в теоретических и экспериментальных исследованиях использовать достижения современной полупроводниковой наноэлектроники.	Знать: современные данные о достижениях полупроводниковой наноэлектроники и их теоретическое объяснение.
		Уметь: применять теоретические методы расчёта, современные достижения информационных технологий и новейшее оборудование для решения актуальных задач полупроводниковой наноэлектроники
		Владеть: навыками теоретических расчётов характеристик структур полупроводниковой наноэлектроники
ПК-9	Способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области полупроводниковой наноэлектроники и решать их с помощью современной аппаратуры, оборудования информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта.	Знать: основы и принципы постановки задач, основные теоретические модели и методы решения поставленных задач в рамках заданных граничных условий
		Уметь: решать задачи расчёта характеристик приборов и структур полупроводниковой наноэлектроники, применять достижения информационных технологий
		Владеть: навыками решения практических задач современной микро- и наноэлектроники с использованием современной аппаратуры

3. Структура и содержание дисциплины «Основы полупроводниковой нанoeлектроники»

3.1 Структура дисциплины «Основы полупроводниковой нанoeлектроники»

Общая трудоёмкость дисциплины 4 зачётных единицы, 144 часа, в том числе 108 часов подготовки к экзамену.

№ п/п	Наименование разделов и тем дисциплины (модуля)	Семестр	Недели семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)						Формы текущего контроля успеваемости (неделя)	
				Аудиторная работа			Самостоятельная работа				
				Всего	Лекция	Практические занятия	Всего	Подготовка к семинару	Подготовка к экзамену		Оценка работы на семинаре
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	Раздел 1. Введение										
	Тема 1.1 Наноструктуры	3	1-2	4	2	2	12	6	6	2	
	Раздел 2. Базовые структуры полупроводниковой нанoeлектроники										
	Тема 2.1 Сверхрешетки, фотонные кристаллы	3	3-4	4	2	2	12	6	6	4	
	Тема 2.2 Кластеры	3	5-6	4	2	2	12	6	6	6	
	Тема 2.3 Аллотропные соединения углерода	3	7-8	4	2	2	12	6	6	8	
	Тема 2.4 Основные виды наноматериалов	3	9-10	4	2	2	12	6	6	10	
	Раздел 3 Явление сверхпроводимости в структурах нанoeлектроники										
	Тема 3.1 Основы теории сверхпроводимости	3	11-12	4	2	2	12	6	6	12	
	Раздел 4. Основные виды структур полупроводниковой нанoeлектроники и технологии их изготовления										
	Тема 4.1 Технология создания структур нанометрового масштаба	3	13-14	4	2	2	12	6	6	16	
	Тема 4.2 Основные виды сверхпроводниковых наноструктур и их практическое использование	3	15-16	4	2	2	12	6	6	17	

Тема 4.3 Полупроводниковые гетероструктуры. Квантовые ямы, проволоки, точки.	3	17-18	4	2	2	12	6	6		
Общая трудоемкость, в часах			36	18	18	108	54	54	Пром. аттест.	
									Форма	Сем
									Зач	—
									Экз	5

3.2 Содержание дисциплины «Основы полупроводниковой нанoeлектроники»

Раздел 1. Введение

Тема 1.1 Наноструктуры

Основные определения (нанометр, наноструктура, наноматериал). Примеры наноструктур разной размерности. Наноструктуры как промежуточный объект между отдельными атомами и массивным материалом. Особенности физических и химических свойств наноструктур. Квантовые эффекты в наномире. Нанотехнология – основа третьей научно-технической революции.

Раздел 2. Базовые структуры полупроводниковой нанoeлектроники

Тема 2.1 Сверхрешетки, фотонные кристаллы

Работы Л.В.Келдыша, Л.Эсаки и Р.Цу, Э.Яблоновича.

Фотонные кристаллы – оптические сверхрешетки. Зонная теория фотонных кристаллов. Методы получения, роль процессов самоорганизации. Применения фотонных кристаллов. Световоды на фотонных кристаллах. Возможности оптического компьютера.

Тема 2.2 Кластеры

Газовые и твердотельные кластеры. Методы получения, магические числа. Роль процессов самоорганизации. Квантовые точки, работы Ж.И.Алфорова. Применения кластеров, в том числе в медицине.

Магнитные кластеры. Роль теплового движения, суперпарамагнетизм. Гигантское магнитосопротивление. Магнитные 1-D сверхрешетки.

Тема 2.3 Аллотропные соединения углерода

Фуллерены, история открытия, методы получения. Углеродные нанотрубки. Особенности электрических и механических свойств. Применения углеродных нанотрубок в нанoeлектронике. Проект космического лифта. Наноалмазы. Первый материал моноатомной толщины – графен. Неуглеродные нанотрубки.

Тема 2.4 Основные виды наноматериалов

Нанокристаллические материалы. Наноккомпозиты. Супрамолекулярные материалы. Нанопористые материалы. Тонкие пленки и покрытия. Методы получения, матричный синтез. Использование ДНК («липкие концы») для получения наноструктур. Гибридные материалы и биологическое материаловедение. «Умные» материалы. Применения наноматериалов, в том числе в быту (пленки и покрытия, спортивные товары) и в военном деле.

Раздел 3 Явление сверхпроводимости в структурах нанoeлектроники

Тема 3.1 Основы теории сверхпроводимости

История открытия сверхпроводимости. Методы получения криогенных температур. Основы теории сверхпроводимости. Микроскопическая теория сверхпроводимости. Эффект электронного разогрева в тонких пленках сверхпроводников. Двумерные и одномерные сверхпроводниковые наноструктуры.

Разрушение сверхпроводимости магнитными вихрями, центрами проскальзывания фазы. Квантовые когерентные эффекты в сверхпроводниках. Туннельные переходы. Эффект Джозефсона и его применение: для создания стандарта напряжения, в вычислительной технике (криотроны на Джозефсоновских переходах). Сверхпроводниковые квантовые интерферометры.

Раздел 4. Основные виды структур полупроводниковой нанoeлектроники и технологии их изготовления

Тема 4.1 Технология создания структур нанометрового масштаба

Обзор и первичное сравнение основных методов производства наноструктур – литографические и нелитографические методы. Методы и аппаратура контроля топологии – электронно-сканирующие, просвечивающие, атомно-силовые микроскопы. Технология осаждения ультратонких пленок различных материалов. Методы контроля электрофизических характеристик тонких пленок. Электронная и фотолитография. Зондовые методы создания наноструктур. Применение атомно-силового и туннельного микроскопов (АСМ) для создания структур атомного масштаба.

Эпитаксиальные методы и методы осаждения из газовой фазы при создании гетероструктур. Самоорганизация растущих нанокристаллов.

Тема 4.2 Основные виды сверхпроводниковых наноструктур и их практическое использование.

Быстродействующие однофотонные детекторы на основе тонкопленочных сверхпроводниковых наноструктур и их основные характеристики.

Смесители терагерцового диапазона, сверхпроводниковые смесители на горячих электронах. Боллометры на сверхпроводящем переходе.

Экспериментальная установка для измерения характеристик сверхпроводящего однофотонного детектора. Принципы построения оптической линии связи. Источники ошибок и способы повышения надежности канала связи.

Направления и перспективы использования однофотонных детекторов, сверхпроводниковых смесителей на горячих электронах и боллометров на сверхпроводящем переходе. Квантовая криптография.

Тема 4.3 Полупроводниковые гетероструктуры. Квантовые ямы, проволоки, точки.

Размерные эффекты. Экситоны. Одноэлектронное туннелирование. Смесители на разогреве электронов в двумерном электронном газе.

3.3 Особенности организации изучения дисциплины для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

Организация изучения дисциплины для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется в соответствии с:

1. ст.79, 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации»
2. Раздел IV, п.п. 46-51 приказа Минобрнауки России от 19.11.2013 № 1259 «Об утверждении Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре)»

3. Методические рекомендации по организации образовательного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в образовательных организациях высшего образования, в том числе оснащённости образовательного процесса (утверждены заместителем Министра образования и науки РФ А.А.Климовым от 08.04.2014 г. № АК-44/05 вн)

4. Образовательные технологии

В процессе освоения дисциплины «Основы полупроводниковой наноэлектроники» при проведении аудиторных занятий используются следующие образовательные технологии:

1. Технология развития критического мышления реализуется в ходе проведения следующих видов учебной работы:

1.1 *Проблемные лекции*, предполагающие диалоговый тип лекционного преподавания, предметом которого выступает вводимый лектором материал и система познавательных задач, отражающих основное содержание темы. В виде проблемных лекций реализуются занятия 2.2, 3.1, 4.3.

1.2. *Семинары – круглые столы*, в ходе которых происходит групповое обсуждение аспирантами учебной проблемы под руководством преподавателя. В ходе проведения круглого стола аспиранты приобретают навыки устного изложения заранее подготовленного материала, умение выслушивать коллег-сокурсников, делать заключения. В виде семинаров – круглых столов реализуются темы 2.3, 2.4, 4.2, 4.3.

1.3. *Семинары-дискуссии*, в ходе которых обсуждается проблема, поставленная преподавателем, а аспиранты защищают различные точки зрения на поставленную проблему. В ходе проведения дискуссии аспиранты приобретают умение излагать и аргументированно отстаивать точку зрения, обоснованно критиковать оппонентов, сопоставлять различные подходы к решению проблемы, делать выводы. В виде семинаров-дискуссий реализуются темы 2.1, 4.1.

2. Медиатехнология реализуется в ходе проведения следующих видов учебной работы:

2.1. *Проблемные лекции*, в ходе которых используются презентации, видео-фрагменты, изображающие физические модели, методы получения наноструктур, схемы устройств, основные этапы вычислений, графическое представление результатов исследований. В виде проблемных лекций с использованием медиатехнологий реализуется темы 1.1, 2.1 – 2.3, 3.1, 4.1 – 4.3.

2.2. *Семинары – круглые столы*, в ходе которых аспиранты делают краткие сообщения по рассматриваемой проблематике с использованием презентации. В результате использования этой технологии аспиранты учатся лаконично и четко представлять информацию в аудитории. В виде семинаров – круглых столов с использованием медиатехнологий реализуются темы 2.1 – 2.4, 3.1, 4.3.

При организации самостоятельной работы используются следующие технологии:

1. Технология систематизации имеющейся информации (работа с конспектом лекции для подготовки к экзамену; темы 1.1 – 4.3)

2. Технология поиска и сбора новой информации (работа на компьютере с целью поиска информации в базах данных, работа с учебной,

справочной и научной литературой с целью подготовки к семинарам: темы 1.1 – 4.3);

3. Технология анализа и представления новой информации (работа по подготовке устных сообщений на семинарах – круглых столах (темы 2.3, 2.4, 4.2, 4.3, по подготовке для выступлений презентациями на семинарах-дискуссиях (темы 2.1, 4.1), по подготовке к экзамену).

В целях реализации индивидуального подхода к обучению аспирантов, осуществляющих учебный процесс по собственной траектории в рамках индивидуального рабочего плана, изучение данной дисциплины базируется на следующих возможностях: обеспечение внеаудиторной работы с аспирантами, в том числе в электронной образовательной среде с использованием соответствующего программного оборудования, дистанционных форм обучения, возможностей интернет-ресурсов, индивидуальных консультаций.

5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов

5.1. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости:

Виды самостоятельной работы по темам: темы 1.1. - 4.3 Подготовка к семинару – круглому столу (4 часа). Подготовка к экзамену (4 часа).

5.2. Контрольные работы и промежуточное тестирование

Не предусмотрены.

5.3. Поддержка самостоятельной работы:

Литература и источники для обязательного прочтения. Регулярные консультации. Интернет-ресурсы: Базы данных: ELSEVIER – ScinceDirect; EBSCO – Host; Scopus; ProQuest; LexisNexis; ELIBRARY.RU; SpringerLink; OXFORD-Reference.

5.4. Тематика рефератов

Не предусмотрены.

5.5. Промежуточный контроль.

Вопросы к экзамену:

1. Классификация наноструктур. Квантовые эффекты в наномире. Особенности физических и квантовых свойств в наноструктурах.
2. Размерные эффекты. Классические и квантовые размерные эффекты. Характерные физические длины.
3. Квантово-размерные эффекты. Эффект Штарка. Эффект Зеемана. Эффект Франца-Келдыша.

4. Квантово-размерный эффект Холла. История открытия. Создание теории. Применение квантового эффекта Холла для определения эталона сопротивления.
5. Теория целочисленного и дробного квантового эффекта Холла. Гипотеза Лафлина. Работы Макдональда.
6. Сверхрешётки. Фотонные кристаллы. Зонная теория фотонных кристаллов. Методы получения фотонных кристаллов.
7. Квантовые ямы. Основные свойства, получение, применение.
8. Одномерные наноструктуры. Квантовые проволоки. Нитевидные нанокристаллы. Методы выращивания. Свойства применения одномерных наноструктур.
9. Квантовые точки. Оптические свойства, методы выращивания квантовых точек. Фото- и электролюминесценция квантовых точек.
10. Применения фотонных кристаллов. Световоды на фотонных кристаллах. Возможности оптического компьютера.
11. Газовые и твердотельные кластеры. Методы получения, роль процессов самоорганизации. Применения кластеров, в том числе в медицине.
12. Магнитные кластеры. Магнитные 1D-сверхрешётки. Эффект гигантского магнитосопротивления. Суперпарамагнетизм.
13. Фуллерены. История открытия, методы получения. Углеродные нанотрубки и их физико-химические свойства. Применения углеродных нанотрубок в нанoeлектронике.
14. Графен. Квантовый эффект Холла в графене. Электрические, электрооптические и магнитооптические свойства графена. Неуглеродные нанотрубки.
15. Основные виды наноматериалов. Нанокристаллические материалы. Нанокompозиты. Супрамолекулярные материалы. Тонкие плёнки и покрытия.
16. Применения наноматериалов, в том числе в быту, в военном деле, в электронике.
17. Сверхпроводимость. Основы теории сверхпроводимости. Микроскопическая теория сверхпроводимости. Эффект Майснера.
18. Эффект электронного разогрева в тонких плёнках сверхпроводников. Двумерные и одномерные сверхпроводниковые наноструктуры.
19. Магнитные вихри. Разрушение сверхпроводимости магнитными вихрями. Квантовые когерентные эффекты в сверхпроводниках. Туннельные переходы.
20. Эффект Джозефсона и его применение для создания стандарта напряжения, в вычислительной технике (криотроны на Джозефсоновских переходах). Сверхпроводниковые квантовые интерферометры.
21. Методы изготовления полупроводниковых наноструктур. Литографические и нелитографические методы. Методы и аппаратура контроля топологии.

22. Электронная литография. Фотолитография. Зондовые методы создания наноструктур. Применение атомно-силового и туннельного микроскопов (АСМ) для создания структур атомного масштаба.
23. Технология осаждения ультратонких пленок различных материалов. Эпитаксиальные методы и методы осаждения из газовой фазы при создании гетероструктур. Самоорганизация растущих нанокристаллов.
24. Быстродействующие однофотонные детекторы на основе тонкопленочных сверхпроводниковых наноструктур и их основные характеристики. Смесители терагерцового диапазона, сверхпроводниковые смесители на горячих электронах. Болометры на сверхпроводящем переходе.
25. Направления и перспективы использования однофотонных детекторов, сверхпроводниковых смесителей на горячих электронах и болометров на сверхпроводящем переходе. Квантовая криптография.
26. Перспективы применения лазеров в наноэлектронике, медицине, системах связи и военном деле.
27. Светоизлучающие диоды на квантовых точках. Лазеры на квантовых точках.
28. Лазеры на основе многопериодных наноструктур. Инжекционные лазеры.
29. Экситоны. Биэкситоны. Экситонная фотолюминесценция. Экситоны Ванье – Мотта в наноструктурах.
30. Резонансное туннелирование. Резонансно-туннельные диоды. Интегральные схемы на основе резонансно-туннельных гетероструктур.
31. Одноэлектронное туннелирование. Эффект кулоновской блокады. Одноэлектронный транзистор.
32. Высокотемпературные сверхпроводники в наноэлектронике.
33. Межзонное и межподзонное поглощение и излучение в квантовых ямах.
34. Электрооптика наноструктур. Эффект Пула - Френкеля. Управление энергией связи мелкого донора с помощью металлического затвора конечных размеров.
35. Магнитооптика квантовых точек. Эффект магнитного вымораживания примесей. Эффект Ханле. Эффект Рашбы. Спиновый квантовый транзистор.
36. Эффект Ааронова – Бома. Баллистический квантовый интерферометр.
37. Магнитооптика квантовых проволок. Особенности проводимости баллистических квантовых проволок во внешнем магнитном поле. Латтинжеровская жидкость. Эффект фотонного увлечения одномерных электронов.

6. Рекомендуемая литература

6.1 Основная литература

1. Жуковский В. Ч., Кревчик В. Д.; Семенов М. Б.; Тернов А. И., Маргулис В. А. Квантовые эффекты в мезоскопических системах: учеб. пособие. - М.: Физический факультет МГУ, 2005 - Ч.2: Мезоскопика конденсированного состояния. Транспортные и магнитооптические свойства наноструктур. - 148 с. (5 экз)
2. Жуковский В. Ч., Кревчик В. Д.; Семенов М. Б.; Тернов А. И. Квантовые эффекты в мезоскопических системах: учеб. пособие. - М.: Физический факультет МГУ, 2002 - Ч.1: Квантовое туннелирование с диссипацией. - 108 с. (3 экз)
3. [Ансельм А. И.](#) Введение в теорию полупроводников : учебное пособие. - 3-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2016. - 624 с. <https://e.lanbook.com/book/71742> (20 экз)
4. [Кревчик В. Д.](#) Введение в полупроводниковую наноэлектронику: учеб. пособие / Пенз. гос. ун-т. - Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2002. - 96 с. (20 экз)
5. Овчинников А.А. и др. Принципы управляемой модуляции низкоразмерных структур: монография / - М. : УНЦ ДО, 2003. - 510 с. (2 экз)
6. [Кревчик В. Д.](#) Метод потенциала нулевого радиуса в физике низкоразмерных систем: монография / В. Д. Кревчик, А. Б. Грунин ; Пенз. гос. ун-т. - Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2007. - 348 с. (50 экз)
7. Грунин А. Б. Магнитооптические эффекты в многоямных квантовых структурах с примесными центрами атомного типа : учебное пособие / под ред. В. Д. Кревчика ; Пенз. гос. ун-т. - Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2008. - 124 с. (70 экз)
8. Антоненко С.В. Технология наноструктур: учебное пособие для вузов: учеб. пособие — Москва : НИЯУ МИФИ, 2008. — 116 с. <https://e.lanbook.com/book/75885>
9. Байков Ю.А. Физика конденсированного состояния: учеб. пособие / Ю.А. Байков, В.М. Кузнецов. — Москва: Издательство "Лаборатория знаний", 2015. — 296 с. <https://e.lanbook.com/book/70766>
10. Баранов А.В., Маслов В.Г., Орлова А.О., Федоров А.В. Практическое использование наноструктур: учеб. пособие / А.В. Баранов и др. — Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2014. — 102 с. <https://e.lanbook.com/book/71551>

11. Барыбин А.А. Физико-технологические основы макро-, микро- и наноэлектроники: учеб. пособие / А.А. Барыбин, В.И. Томилин, В.И. Шаповалов. — Москва: Физматлит, 2011. — 784 с. <https://e.lanbook.com/book/5258>
12. Борухович А.С. Полупроводник и ферромагнетик монооксид европия в спинтронике: монография / А.С. Борухович, А.В. Трошин. — Санкт-Петербург: Лань, 2017. — 288 с. <https://e.lanbook.com/book/90864>
13. Брандт Н.Б. Квазичастицы в физике конденсированного состояния: учеб. пособие / Н.Б. Брандт, В.А. Кульбачинский. — Москва: Физматлит, 2010. — 632 с. <https://e.lanbook.com/book/59598>
14. Браун О. М. Модель Френкеля -Конторовой. Концепции, методы, приложения / О.М. Браун, Ю.С. Кившарь. — Москва: Физматлит, 2008. — 533 с. <https://e.lanbook.com/book/48254>
15. Бурбаева Н. В. Основы полупроводниковой электроники: учеб. пособие— Москва: Физматлит, 2012. — 312 с. <https://e.lanbook.com/book/5261>
16. Владимиров Г.Г. Физика поверхности твердых тел: учеб. пособие — Санкт-Петербург: Лань, 2016. — 352 с. <https://e.lanbook.com/book/71707>
17. Гантмахер В.Ф. Электроны в неупорядоченных средах — Москва: Физматлит, 2013. — 288 с. <https://e.lanbook.com/book/91178>
18. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии: учеб. пособие — Москва: Физматлит, 2009. — 416 с. <https://e.lanbook.com/book/2173>
19. Епифанов Г.И. Физика твердого тела: учеб. пособие — Санкт-Петербург: Лань, 2011. — 288 с. <https://e.lanbook.com/book/2023>
20. Зегря Г.Г. Основы физики полупроводников: учеб. пособие / Г.Г. Зегря, В.И. Перель.— Москва : Физматлит, 2009. — 336 с. <https://e.lanbook.com/book/2371>
21. Катанин А.А. Модельные подходы к магнетизму двумерных зонных систем / А.А. Катанин В.Ю. Ирхин, П.А. Игошев. — Москва: Физматлит, 2012. — 176 с. <https://e.lanbook.com/book/59630>
22. Ковалев А.Н. Физика и технология наноструктурных гетерокомпозиций: учебник / А.Н. Ковалев, О.И. Рабинович, М.И. Тимошина. — Москва: МИСИС, 2015. — 460 с. <https://e.lanbook.com/book/93630>
23. Лебедев А.И. Физика полупроводниковых приборов. — Москва: Физматлит, 2008. — 488 с. <https://e.lanbook.com/book/2244>

24. Перлин Е.Ю. Физика твердого тела. Оптика полупроводников, диэлектриков, металлов: учеб. пособие / Е.Ю. Перлин, Т.А. Вартамян, А.В. Федоров. — Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2008. — 216 с. <https://e.lanbook.com/book/43431>
25. Погосов В.В. Введение в физику зарядовых и размерных эффектов. Поверхность, кластеры, низкоразмерные системы: учеб. пособие — Москва: Физматлит, 2006. — 164 с. <https://e.lanbook.com/book/48243>
26. Особенности разогрева и релаксации горячих электронов в тонкопленочных сверхпроводниковых наноструктурах и 2D полупроводниковых гетероструктурах при поглощении излучения инфракрасного и терагерцового диапазонов: Монография: монография / К.В. Смирнов и др. — Москва: МПГУ, 2014. — 240 с. <https://e.lanbook.com/book/70034>
27. Шалимова К.В. Физика полупроводников: учеб. — Санкт-Петербург: Лань, 2010. — 384 с. <https://e.lanbook.com/book/648>

6.2 Дополнительная литература:

1. Демиховский В.Я., Вугальтер Г.А. Физика квантовых низкоразмерных структур – М.: Логос, 248 с. (5 экз)
2. Кревчик В.Д., Маргулис В.А., Семенов М.Б., Жуковский В.Ч., Тернов А.И. Квантовые эффекты в мезоскопических системах. Мезоскопика конденсированного состояния. Транспортные и магнитооптические свойства наноструктур. Учебное пособие с грифом УМО: «допущено УМС по физике УМО по классическому университетскому образованию вузов РФ в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 010701 - «физика». Москва, Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 2005, 156 с. (5 экз)
3. Кревчик В.Д., Семёнов М.Б., Разумов А.В., Меньшова С.Б. Электронный транспорт в наноструктурах, связанный с эффектом фотонного увлечения и диссипативным туннелированием. Учебное пособие. – Издательский центр ПГУ, 2011 (5 экз)
4. В.Д. Кревчик, В.В. Евстифеев Введение в полупроводниковую наноэлектронику. Пенза: Изд. ПГУ, 2002 г., 96 с. (20 экз)

6.3 Интернет-ресурсы

К рекомендуемым интернет-ресурсам по данной дисциплине относятся интернет-ресурсы ведущих российских и зарубежных журналов, а также образовательные порталы и сайты ведущих российских университетов.

Интернет-ресурсы ведущих российских журналов по данной тематике:

[www.journals.ioffe.ru / ft](http://www.journals.ioffe.ru/ft) — «Физика твёрдого тела»

[www.journals.ioffe.ru / ftp](http://www.journals.ioffe.ru/ftp) — «Физика и техника полупроводников»

[www.journals.ioffe.ru / pjtf](http://www.journals.ioffe.ru/pjtf) — «Письма в журнал технической физики»

[www.journals.ioffe.ru / jtf](http://www.journals.ioffe.ru/jtf) — «Журнал технической физики»

www.jetp.ac.ru — ЖЭТФ

www.jetpletters.ac.ru — «Письма в ЖЭТФ»

www.ufn.ru — «Успехи физических наук»

www.nanoru.ru

Интернет-ресурсы иностранных журналов

www.aps.org

www.ArXiv.org

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины «Основы полупроводниковой наноэлектроники»

Для освоения данной дисциплины необходимы:

– мультимедийные средства обучения (компьютер и проектор; ресурсы Интернета);

– электронные презентации по теме курса. Для подготовки материала к занятиям требуется программный пакет MS Office 2003 и выше, прикладные математические программы Mathcad 14, Mathematics 5.0, Maple 9.0 и выше.

**Сведения о переутверждении программы на очередной учебный год
и регистрации изменений**

Учебный год	Решение кафедры (№ протокола, дата, подпись зав. кафедрой)	Внесенные изменения	Номера листов (страниц)		
			заменен- ных	новых	аннулиро- ванных
2015/16	пр. № 1 2.09.15 <i>he</i>				
2016/17	пр. № 1 9.09.16 <i>he</i>				
2017/18	пр. № 1 14.09.17 <i>he</i>				