

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кубанский государственный университет»
(ФГБОУ ВО «КубГУ»)

Физико-технический факультет

 УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной работе
и инновациям
Е.В. Строганова
29 мая 2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.ДВ.1.1 ФИЗИКА И ТЕХНИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Направление подготовки 03.06.01 Физика и астрономия

Направленность 01.04.07 Физика конденсированного состояния

Программа подготовки академическая

Форма обучения очная

Квалификация выпускника Исследователь. Преподаватель-Исследователь

Краснодар 2020

Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия, утвержденными 30 июля 2014 г. № 867, зарегистрированный в Министерстве юстиции Российской Федерации 25.08.2014 г. № 33836

Автор:  В.А. Исаев, д-р физ.-мат. наук, доцент, заведующий кафедрой теоретической физики и компьютерных технологий физико-технического факультета ФГБОУ ВО «КубГУ»

Программа одобрена на заседании кафедры теоретической физики и компьютерных технологий от «16» апреля 2020 г., протокол № 10

Зав. кафедрой



В.А. Исаев

Одобрено на заседании учебно-методической комиссии физико-технического факультета от «20» апреля 2020 г., протокол № 9

Председатель УМС факультета,
д. ф.-м. наук, профессор



Н.М. Богатов

Зав. отделом аспирантуры и
докторантуры



Е.В. Строганова

1 Цели и задачи изучения дисциплины (модуля).

1.1 Цель освоения дисциплины.

Основной целью дисциплины «Физика и техника полупроводников» является формирование компетенций, необходимых для самостоятельной научно-исследовательской и педагогической деятельности, углубленное изучение теоретических и методологических основ физики полупроводников.

1.2 Задачи дисциплины.

Основными задачами дисциплины являются:

- углубленно изучить физику полупроводников;
- научиться применять полученные знания, сформированные умения и навыки для решения научных и практических задач.

1.3 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Физика и техника полупроводников» относится к вариативной части Блока 1 "Дисциплины (модули)" учебного плана направления 03.06.01 – Физика и астрономия направленности 01.04.07 Физика конденсированного состояния.

Изучение дисциплины базируется на знаниях аспирантов, полученных ранее при изучении дисциплин, входящих в цикл общей и теоретической физики: Б1.Б.07.04 «Оптика», Б1.Б.08.04 «Термодинамика, статистическая физика» учебного плана 03.03.02 Физика; Б1.В.02 «Теория конденсированного состояния», Б1.В.ДВ.05.01 «Кристаллофизика» учебного плана 03.04.02 Физика конденсированного состояния вещества.

1.4 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Изучение данной учебной дисциплины направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций:

№ п.п	Индекс компетенции	Содержание компетенции (или её части)	В результате изучения учебной дисциплины должны		
			знать	уметь	
1.	ОПК-1	способностью самостоятельно осуществлять научноисследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационнокоммуникационных технологий	физические законы, определяющие свойства полупроводниковых материалов и структур	измерять параметры, определяющие свойства полупроводниковых материалов и структур	ме ко мо пр по ма ст

2.	ПК-2	владением теоретическими и экспериментальными методами исследования природы кристаллических и аморфных веществ в твердом и	терминологию и определения физических величин, характеризующих свойства полупроводниковых	выбирать, осваивать и совершенствовать методы экспериментального и теоретического исследования полупровод-	ко ме па ха св по ма
№ п.п	Индекс компетенции	Содержание компетенции (или её части)	В результате изучения учебной дисциплины должны		
			знать	уметь	
		жидком состояниях и изменения их свойств при различных внешних воздействиях	материалов и структур	никовых материалов и структур	ст
3	УК-5	способностью планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития	классификацию примесей в полупроводниках и связанную с ней терминологию	выбирать, осваивать и совершенствовать методы экспериментального и теоретического исследования	ме ко мо оп по ст

2. Структура и содержание дисциплины

2.1 Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 4 зач.ед. (144 часа), их распределение по видам работ представлено в таблице.

Вид учебной работы		Всего часов	Курсы (часы)
			2
Аудиторные занятия (всего):		20	20
Занятия лекционного типа		8	8
Лабораторные занятия		12	12
Занятия семинарского типа (семинары, практические занятия)		-	-
Самостоятельная работа, в том числе:		97	97
Самостоятельное изучение разделов		57	57
Самоподготовка		40	40
Контроль:		27	27
Подготовка к экзамену		27	27
Общая трудоемкость	час.	144	144
	зач. ед.	4	4

2.2 Структура дисциплины:

Распределение видов учебной работы и их трудоемкости по разделам дисциплины.
 Разделы дисциплины, изучаемые на 2 курсе

№ раздела	Наименование разделов	Количество часов				
		Всего	Аудиторная работа			Самостоятельная работа
			Л	ПЗ	ЛР	
1	2	3	4	5	6	7
1	Структура полупроводников.	6	2	-	-	4
2	Примеси в полупроводниках.	8	2	-	2	4
3	Кинетические свойства полупроводников.	6	-	-	2	4
№ раздела	Наименование разделов	Количество часов				
		Всего	Аудиторная работа			Самостоятельная работа
			Л	ПЗ	ЛР	
4	Квантовая теория полупроводников.	6	-	-	-	6
5	Волновые функции электронных состояний.	6	2	-	-	4
6	Эффективная масса электронов, дырок.	6	-	-	-	6
7	Зонная структура полупроводников.	10	2	-	-	8
8	Квантовая теория примесных состояний.	10	-	-	-	10
9	Статистика электронов и дырок.	10	-	-	-	10
10	Рекомбинация носителей заряда.	8	-	-	2	6
11	Оптические переходы в полупроводниках.	20	-	-	2	18
12	Границы раздела в полупроводниках.	21	-	-	4	17
	<i>Всего:</i>		8	-	12	97

2.3 Содержание разделов дисциплины:

2.3.1 Занятия лекционного типа

№	Наименование раздела	Содержание раздела	Форма текущего контроля
1	2	3	4

1.	Структура полупроводников.	Удельное сопротивление металлов, полупроводников и диэлектриков. Ковалентные связи в полупроводниках. Гетеровалентные связи в полупроводниках. Зона проводимости, зона запрещенных энергий, валентная зона. Электроны и дырки в полупроводниках.	Коллоквиум
2.	Примеси в полупроводниках.	Донорные примеси в полупроводниках. Акцепторные примеси в полупроводниках. Мелкие и глубокие примесные уровни.	Коллоквиум
3.	Волновые функции электронных состояний.	Граничные условия Борна-Кармана. Значения компонент волнового вектора электрона в кристалле. Число различных энергетических состояний в разрешенной зоне кристалла. Связь между импульсом и длиной волны свободного электрона, волновое число. Квазиимпульс электрона в периодическом поле кристалла. Четность энергетического спектра электрона в кристалле. Обоснование существования зоны запрещенных энергий на основе приближения сильно связанных электронов.	Коллоквиум
4.	Зонная структура полупроводников.	Зонная структура кремния. Зонная структура германия. Зонная структура прямозонных полупроводников (GaAs).	Коллоквиум

2.3.2 Занятия семинарского типа Не предусмотрено учебным планом.

2.3.3 Лабораторные занятия

№	№ раздела	Наименование лабораторных работ	Содержание лабораторных работ	Форма текущего контроля
1	2	3	4	5
1.	2	Измерение электропроводности полупроводников.	Провести измерение ВАХ полупроводникового материала. Вычислить сопротивление и электропроводность полупроводникового материала при различном внешнем напряжении.	Защита лабораторной работы
2.	3	Исследование температурной зависимости электропроводности полупроводников.	Измерение ВАХ при различной температуре полупроводника. Определить энергии активации примесей по температурной зависимости сопротивления.	Защита лабораторной работы

3.	10	Исследование фотопроводимости полупроводников.	Измерение ВАХ при различном уровне освещенности. Изучение кинетики фотопроводимости. Определение времени жизни неравновесных носителей заряда. Определение темнового сопротивления и удельной чувствительности полупроводника.	Защита лабораторной работы
4.	11	Измерение спектров полупроводникового материала с различной концентрацией носителей заряда.	Изучение принципов работы спектрофотометра. Провести измерение спектров полупроводникового материала. Определить коэффициенты оптического поглощения полупроводников. Рассчитать ширину запрещенной зоны полупроводникового материала по экспериментальным данным.	Защита лабораторной работы
5.	12	Исследование работы солнечного элемента	Провести измерение темновых и световых ВАХ солнечного элемента. Рассчитать характеристики солнечного элемента по экспериментальным данным.	Защита лабораторной работы

2.3.4 Примерная тематика рефератов Не предусмотрены учебным планом.

2.4 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

№	Вид СР	Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины по выполнению самостоятельной работы
1	2	3
1	Самостоятельное изучение разделов	Методические указания по организации аудиторной и внеаудиторной самостоятельной работы, утвержденные кафедрой теоретической физики и компьютерных технологий, протокол № 9 от «14» марта 2017г
	Самоподготовка	

3. Образовательные технологии

При реализации учебной работы по освоению курса «Физика и техника полупроводников» используются современные образовательные технологии:

информационно-коммуникационные технологии;
исследовательские методы в обучении; проблемное обучение.

Успешное освоение материала курса предполагает большую самостоятельную работу аспирантов и руководство этой работой со стороны преподавателей.

В учебном процессе используются активные и интерактивные формы проведения занятий: исследовательские методы в обучении, проблемное обучение.

Для проведения лекционных занятий используются доска, справочные материалы, компьютерные технологии.

По изучаемой дисциплине аспирантам предоставляется возможность открыто пользоваться (в том числе копировать на личные носители информации) подготовленными ведущим данную дисциплину лектором материалами в виде электронного комплекса сопровождения, перечень контрольных вопросов, список рекомендуемой литературы.

Проведение занятий лабораторного практикума предусмотрено в специализированном кабинете, в компьютерном классе, в исследовательских лабораториях.

4. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

4.1 Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля.

Проведение текущего контроля осуществляется в формах коллоквиума и защиты выполненных лабораторных работ.

Примерный список вопросов для коллоквиум по дисциплине «Физика и техника полупроводников»:

1. Удельное сопротивление металлов.
2. Удельное сопротивление полупроводников и диэлектриков.
3. Ковалентные связи в полупроводниках.
4. Гетеровалентные связи в полупроводниках.
5. Зона проводимости, зона запрещенных энергий, валентная зона.
6. Электроны и дырки в полупроводниках.
7. Донорные примеси в полупроводниках.
8. Акцепторные примеси в полупроводниках.
9. Мелкие и глубокие примесные уровни.
10. Средняя длина и среднее время свободного пробега носителей заряда.
11. Дрейф носителей заряда в полупроводниках.
12. Подвижность электронов и дырок в полупроводниках.
13. Уравнения переноса электронов и дырок в полупроводниках.
14. Классификация механизмов рекомбинации носителей заряда.
15. Излучательная рекомбинация неравновесных носителей заряда.
16. Рекомбинация неравновесных носителей заряда через примесные центры.
17. Оже рекомбинация неравновесных носителей заряда.
18. Рекомбинация в случае низкой концентрации неравновесных носителей заряда.
19. Рекомбинация в случае высокой концентрации неравновесных носителей заряда.
20. Собственное поглощение в прямозонных полупроводниках (разрешенные оптические переходы).
21. Собственное поглощение в прямозонных полупроводниках (запрещенные оптические переходы).
22. Собственное поглощение в непрямозонных полупроводниках.
23. N-P переходы в полупроводниках.
24. Энергетическая диаграмма структуры с n-p переходом в равновесии.
25. Неравновесная энергетическая диаграмма структуры с n-p переходом.
26. Гетеропереходы в полупроводниках.
27. Барьер Шоттки.
28. Уравнения, описывающие транспорт носителей заряда в полупроводниковой структуре с n-p переходом в случае слабой инжекции носителей заряда.

29. Эквивалентная схема полупроводниковой структуры с n-p переходом, 4-х параметрическая модель ВАХ.
30. Физические явления, влияющие на перенос носителей заряда в полупроводниковой структуре с n-p переходом, 5-ти параметрическая модель ВАХ.
31. Механизмы пробоя n-p перехода.
32. Вольтамперная характеристика освещенного n-p перехода.
33. Уравнение Шредингера для кристалла в общем виде.
34. Уравнение Шредингера для кристалла в адиабатическом приближении.
35. Уравнение Шредингера для кристалла в валентном приближении.
36. Приближение самосогласованного поля.
37. Уравнение Шредингера для кристалла в одноэлектронном приближении.
38. Периодичность потенциала самосогласованного поля в кристалле.
39. Функция Блоха.
40. Приближение слабо связанных электронов.
41. Приближение сильно связанных электронов.
42. Обменный интеграл и интеграл перекрытия.
43. Образование энергетической зоны из энергетического уровня изолированного атома.
44. Энергия электрона в поле простой кубической решетки в приближении сильно связанных электронов.
45. Граничные условия Борна-Кармана.
46. Значения компонент волнового вектора электрона в кристалле.
47. Число различных энергетических состояний в разрешенной зоне кристалла.
48. Связь между импульсом и длиной волны свободного электрона, волновое число.
49. Квазиимпульс и энергия электрона в периодическом поле кристалла.
50. Обоснование существования зоны запрещенных энергий на основе приближения сильно связанных электронов.
51. Эффективная масса электронов.
52. Эффективная масса дырок. 53. Зонная структура кремния.
54. Зонная структура германия.
55. Зонная структура прямозонных полупроводников (GaAs).
56. Циклотронный резонанс.
57. Экспериментальное определение эффективной массы электрона (дырки) методом циклотронного резонанса.
58. Метод эффективной массы.
59. Водородоподобная модель примесных состояний.
60. Расчет энергии и радиуса орбиты электрона «мелкого» донорного уровня в германии.
61. Плотность квантовых состояний при параболической зависимости энергии электронов.
62. Плотность квантовых состояний в окрестности дна зоны проводимости кремния.
63. Плотность квантовых состояний в окрестности дна зоны проводимости германия.
64. Плотность квантовых состояний в окрестности вершины валентной зоны кремния.
65. Плотность квантовых состояний в окрестности вершины валентной зоны германия.
66. Концентрация электронов в окрестности дна зоны проводимости.
67. Концентрация дырок в окрестности вершины валентной зоны.

4.2 Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.

Вопросы для подготовки к экзамену по дисциплине «Физика и техника полупроводников»:

1. Электронная конфигурация внешних оболочек атомов и типы сил связи в твердых телах. Ван-дер-ваальсова, ионная и ковалентная связь.
2. Комплексная диэлектрическая проницаемость, показатель преломления, коэффициент отражения, коэффициент поглощения. Связь между ними и соотношения Крамерса—Кронига.
3. Радиационные дефекты и их влияние на электрические и рекомбинационные характеристики полупроводников.
4. Структуры важнейших полупроводников – элементов A^{IV} , A^{VI} и соединений типов $A_{III}B_V$, $A_{II}B_{VI}$, $A_{IV}B_{VI}$.
5. Межзонные переходы. Край собственного поглощения в случае прямых и непрямых, разрешенных и запрещенных переходов. Экситонное поглощение и излучение.
6. Методы выращивания объемных монокристаллов из жидкой и газовой фаз.
7. Симметрия кристаллов. Трансляционная симметрия кристаллов. Элементарная ячейка. Примитивная ячейка. Ячейка Вигнера—Зейтца. Решетка Браве.
8. Методы выращивания эпитаксиальных пленок (эпитаксия из жидкой и газовой фазы)..
9. Точечные радиационные дефекты. Области скопления радиационных дефектов. Пассивация радиационных дефектов.
10. Химическая природа и электронные свойства примесей. Точечные, линейные и двумерные дефекты.
11. Поглощение света на свободных носителях заряда.
12. Образование простых радиационных дефектов. Влияние энергии первично смещенного атома на количество простых дефектов. Линейная плотность простых радиационных дефектов.
13. Кинетические коэффициенты – проводимость, постоянная Холла и термо-ЭДС.
14. Примесное поглощение света в прямозонных и непрямозонных полупроводниках. Межпримесная излучательная рекомбинация. Экситоны, связанные на примесных центрах.
15. Оптические явления в структурах с квантовыми ямами, правила отбора для межзонных и внутризонных переходов. Межзонное поглощение и излучательная рекомбинация.
16. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Металлорганическая эпитаксия.
17. Оптические явления во внешних полях. Эффект Франца-Келдыша. Эффект Поккельса. Эффект Бурштейна-Мосса. Эффекты Фарадея и Фойгта.
18. Электронные состояния в сильнолегированных полупроводниках. Электронные состояния в неупорядоченных полупроводниках и диэлектриках.
19. Методы легирования полупроводников.
20. Примесная и собственная фотопроводимость. Влияние прилипания неравновесных носителей заряда на фотопроводимость. Оптическая перезарядка локальных уровней.
21. Электроны и дырки как элементарные возбуждения многоэлектронной системы в полупроводнике. Плазма носителей заряда в твердом теле. Экситоны. Поляритоны. Поляроны.
22. Методы определения ширины запрещенной зоны.
23. Аморфные и стеклообразные полупроводники. Структура атомной матрицы некристаллических полупроводников. Гидрированные аморфные полупроводники.

24. Особенности фотоэлектрических явлений в сильно легированных и компенсированных полупроводниках.

25. Методы определения подвижности и концентрации свободных носителей.

26. Термостимулированная проводимость. Фоторазогрев носителей заряда. Фотоэлектромагнитный эффект.

27. Таммовские уровни. Скорость поверхностной рекомбинации.

28. Методы определения времени жизни неосновных носителей, концентрации и глубины залегания уровней примесей и дефектов.

29. Особенности электронного энергетического спектра неупорядоченных полупроводников. Плотность состояний. Локализация электронных состояний. Щель подвижности.

30. Фотоэдс на неоднородностях состава.

31. Волновая функция электрона в периодическом поле кристалла. Теорема Блоха.

Зона Бриллюэна. Энергетические зоны.

32. Легирование некристаллических полупроводников.

33. Использование энергии фоторазогретых электронов и поверхностных плазмонов в фотоэлектрических преобразователях.

34. Законы дисперсии для важнейших полупроводников. Изоэнергетические поверхности. Тензор обратной эффективной массы. Плотность состояний. Особенности Ван-Хова.

35. Механизмы переноса носителей заряда в некристаллических полупроводниках.

Прыжковая проводимость. Закон Мотта.

36. Модели фотоэлектрических преобразователей.

37. Уравнения движения электронов и дырок во внешних полях. Метод эффективной массы. Движение электронов и дырок в электрическом и магнитном полях.

38. Спектры оптического поглощения некристаллических материалов. Правило Урбаха.

39. Генерационно-рекомбинационные механизмы в p-n и гетеропереходах.

40. Уровни энергии, создаваемые примесными центрами в полупроводниках. Доноры и акцепторы. Мелкие и глубокие уровни. Водородоподобные примесные центры.

41. Нестационарные процессы. Определение дрейфовой подвижности по измерениям времени пролета. Дисперсионный перенос.

42. Диффузионный и дрейфовый механизмы транспорта фотогенерированных носителей заряда.

43. Определение эффективных масс из циклотронного (диамагнитного) резонанса. Связь зонной структуры с оптическими свойствами полупроводника.

44. Влияние внешних воздействий на свойства некристаллических полупроводников. Метастабильные состояния.

45. Фотогенерация электронно-дырочных пар. Спектральная чувствительность фотоэлектрических преобразователей.

46. Функция распределения электронов. Концентрация электронов и дырок в зонах, эффективная плотность состояний. Положение уровня Ферми.

47. Размерное квантование. Двумерные и квазидвумерные электронные системы. Контра- и ковариантные композиционные сверхрешетки, сверхрешетки легирования.

48. Термостимулированные эффекты в фотоэлектрических преобразователях.
49. Концентрации электронов и дырок на локальных уровнях. Факторы вырождения примесных состояний. Многозарядные примесные центры.
50. Квантовые нити. Квантовые точки. Энергетический спектр электронов и плотность состояний в этих системах.
51. Типы фотоэлектрических преобразователей, их преимущества и недостатки.
52. Дрейфовая скорость, дрейфовая и холловская подвижности, фактор Холла. Дрейфовый и диффузионный ток. Соотношение Эйнштейна.
53. Экситоны в квантовых ямах, квантово-размерный эффект Штарка.
54. Резонансное туннелирование в двухбарьерной гетероструктуре и резонансотуннельный диод. Оптический модулятор на основе квантово-размерного эффекта Штарка.
55. Механизмы рассеяния носителей заряда в неидеальной решетке. Взаимодействие носителей заряда с акустическими и оптическими фононами, заряженными и нейтральными примесями.
56. Электрические и гальваномагнитные явления в двумерных структурах. Эффект Шубникова-де Гааза. Общее представление о квантовом эффекте Холла.
57. Поверхностные состояния и поверхностные зоны. Искривление зон, распределение заряда и потенциала вблизи поверхности. Поверхностная рекомбинация. Эффект поля.
58. Горячие электроны. Отрицательная дифференциальная проводимость. Электрические неустойчивости; электрические домены и токовые шнуры.
59. Вольтамперная характеристика p-n перехода. Приборы с использованием p-n переходов.
60. Гетеротранзистор с двумерным электронным газом (HEMT). Гетеролазеры на основе структур с квантовыми ямами и квантовыми точками.
61. Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда. Квазиравновесие, квазиуровни Ферми. Уравнение кинетики рекомбинации. Времена жизни. Фотопроводимость.
62. Туннельный диод. Диод Ганна. Биполярный транзистор. Тиристор.
63. Гетеропереходы. Энергетические диаграммы гетеропереходов. Варизонные полупроводники.
64. Излучательная и безызлучательная рекомбинация. Межзонная рекомбинация. Рекомбинация через уровни примесей и дефектов. Центры прилипания. Оже-рекомбинация.
65. Энергетическая диаграмма структуры металл-диэлектрик-полупроводник (МДП). Полевые транзисторы на МДП-структурах. Приборы с зарядовой связью.
66. Светодиоды и полупроводниковые лазеры. Инжекционные лазеры на основе двойной гетероструктуры.
67. Пространственно неоднородные неравновесные распределения носителей заряда.
Амбиполярная диффузия. Эффект Дембера. Длина диффузии неравновесных носителей заряда.
68. Шумы в полупроводниковых приборах.
69. Энергетическая диаграмма p-n перехода. Инжекция неосновных носителей заряда в p-n переходе.
70. Контакт металл-полупроводник. Обогащенные, обедненные и инверсионные слои пространственного заряда вблизи контакта. Вольт-амперная характеристика барьера Шоттки.

71. Фотоэлементы и фотодиоды. Спектральная чувствительность и обнаружительная способность. Полупроводниковые детекторы ядерных излучений.
72. Фотоэлектрические преобразователи, КПД преобразования.
73. Методы выращивания объемных монокристаллов из жидкой и газовой фаз.
74. Функция распределения электронов. Концентрация электронов и дырок в зонах, эффективная плотность состояний.
75. Энергетическая диаграмма p-n перехода. Инжекция неосновных носителей заряда в p-n переходе.
76. Резонансные явления в магнитном поле.
77. ЯМР в полупроводниках.
78. ЯКР в полупроводниках.

Образец экзаменационного билета

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
Кубанский государственный университет
Кафедра теоретической физики и компьютерных технологий
2019-2020 уч.год

Дисциплина «Физика и техника полупроводников»

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №1

1. Электронная конфигурация внешних оболочек атомов и типы сил связи в твердых телах. Ван-дер-ваальсова, ионная и ковалентная связь.
2. ЯКР в полупроводниках.
3. Вычислить собственную концентрацию носителей заряда в кремнии при $T=300\text{K}$, если ширина его запрещенной зоны $E_g=1,12\text{eV}$, а эффективные массы носителей заряда $m_n=1,05m_0$, $m_p=0,56m_0$, где m_0 – масса свободного электрона.

Зав. кафедрой
теоретической физики и компьютерных технологий
Исаев В.А.

Оценочные средства для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья выбираются с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

– при необходимости инвалидам и лицам с ограниченными возможностями здоровья предоставляется дополнительное время для подготовки ответа на экзамене;

- при проведении процедуры оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья предусматривается использование технических средств, необходимых им в связи с их индивидуальными особенностями;
- при необходимости для обучающихся с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения по дисциплине может проводиться в несколько этапов.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине (модулю) предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом, – в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Данный перечень может быть конкретизирован в зависимости от контингента обучающихся.

5. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

5.1 Основная литература:

1. Шалимова К.В. Физика полупроводников: учебник / К.В. Шалимова. - Изд. 4-е, стер. - СПб. [и др.] : Лань, 2010. - 392 с.
2. Рамбиди, Н.Г. Структура и свойства наноразмерных образований [Текст] : реалии сегодняшней нанотехнологии : [учебное пособие] / Н.Г. Рамбиди . - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 375 с.

5.2 Дополнительная литература:

1. Петров, Ю.В. Основы физики конденсированного состояния: [учебное пособие] /Ю. В. Петров -Долгопрудный: Интеллект, 2013. – 213 с.
2. Морозов, А.И. Элементы современной физики твердого тела: [учебное пособие] / А.И. Морозов. - Долгопрудный : Интеллект, 2015. – 213 с.
3. Тимофеев, В.Б. Оптическая спектроскопия объемных полупроводников и наноструктур [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2015. — 512 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/56612>.

5.3. Периодические издания:

1. Физика и техника полупроводников.
2. Физика твердого тела.
3. Поверхность. Рентгеновские синхротронные и нейтронные исследования

6. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)

№ п/п	Ссылка	Пояснение
1.	http://www.book.ru	BOOK.ru – электронная библиотечная система (ЭБС) современной учебной и научной литературы. Библиотека BOOK.ru содержит актуальную литературу по всем отраслям знаний, коллекция пополняется электронными книгами раньше издания печатной версии.
2.	http://www.ibooks.ru	Айбукс.ру – электронная библиотечная система учебной и научной литературы. В электронную коллекцию включены современные учебники и пособия ведущих издательств России.
3.	http://www.sciencedirect.com	Платформа ScienceDirect обеспечивает всесторонний охват литературы из всех областей науки, предоставляя доступ к более чем 2500 наименований журналов и более 11000 книг из коллекции издательства «Эльзевир», а также огромному числу журналов, опубликованных престижными научными сообществами. Полнотекстовая база данных ScienceDirect является непревзойденным Интернет-ресурсом научно-технической и медицинской информации и содержит 25% мирового рынка научных публикаций.
4.	http://www.scopus.com	База данных Scopus индексирует более 18 тыс. наименований журналов от 5 тыс. международных издательств, включая более 300 российских журналов. Непревзойденная поддержка в поиске научных публикаций и предоставлении ссылок на все вышедшие рефераты из обширного объема доступных статей. Возможность получения информации о том, сколько раз ссылались другие авторы на интересующую Вас статью, предоставляется список этих статей. Отслеживание своих публикаций с помощью авторских профилей, а так
		же работы своих соавторов и соперников.
5.	http://www.scirus.com	Scirus – бесплатная поисковая система для поиска научной информации.
6.	http://www.elibrary.ru	Научная электронная библиотека (НЭБ) содержит полнотекстовые версии научных изданий ведущих зарубежных и отечественных издательств.
7.	http://diss.rsl.ru	«Электронная библиотека диссертаций» Российской Государственной Библиотеки (РГБ) в настоящее время содержит более 400 000 полных текстов наиболее часто запрашиваемых читателями диссертаций. Ежегодное оцифровывание от 25000 до 30000 диссертаций.
8.	http://moodle.kubsu.ru	Среда модульного динамического обучения

7. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Самостоятельная работа аспирантов проводится в форме изучения отдельных теоретических вопросов по предлагаемой литературе и самостоятельного решения задач с дальнейшим их разбором или обсуждением на аудиторных занятиях. Во время самостоятельной подготовки обучающиеся обеспечены доступом к базам данных и библиотечным фондам и доступом к сети Интернет.

На самостоятельную работу аспирантов отводится более 50% времени от общей трудоемкости дисциплины. Сопровождение самостоятельной работы аспирантов организовано в следующих формах:

- по итогам выполнения этой работы аспирант составляет отчет, в котором обосновывает достижение компетенций. Защита проекта происходит на лабораторных занятиях.
- выполнение контрольных заданий в виде коллоквиума.

Консультации, организованные для разъяснения проблемных моментов при самостоятельном изучении разделов дисциплины.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю).

8.1 Перечень информационных технологий.

Не предусмотрено.

8.2 Перечень необходимого программного обеспечения.

Программный продукт	Договор/лицензия
Операционная система MS Windows 8, 10	№73–АЭФ/223-ФЗ/2018 Соглашение Microsoft ESS 72569510 от 06.11.2018
Интегрированное офисное приложение MS Office Professional Plus	№73–АЭФ/223-ФЗ/2018 Соглашение Microsoft ESS 72569510 от 06.11.2018

8.3 Перечень информационных справочных систем:

1. Электронная библиотечная система "Университетская библиотека ONLINE" [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://biblioclub.ru>.
2. Электронная библиотечная система издательства "Лань" [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://e.lanbook.com>.
3. Электронная библиотечная система eLIBRARY.RU (<http://www.elibrary.ru>).

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю).

№	Вид работ	Материально-техническое обеспечение дисциплины и оснащенность
---	-----------	---

1.	Лекционные занятия	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа; оснащенность: комплект учебной мебели; доска учебная магнитно-маркерная; комплект плакатов «Теория групп», «Физические свойства кристаллов»; компьютерное оснащение ПЭВМ – 4 шт. 350040 г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149, №320С
2.	Лабораторные занятия	Учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа «Лаборатория информационных систем в технике и технологиях»; оснащение: комплект учебной мебели; доска учебная магнитно-маркерная; компьютерная техника с подключением к сети "Интернет": ПЭВМ 15 шт.; Измеритель параметров полупроводников ИППП01 №000001316156; Спектрофотометр СФ-256УВИ №000001316184; Спектрофотометр СФ-256БИК №000001316185; Цифровой осциллограф GDS-71102 №130051316104; Осциллограф GOS-6031 №130051316104; Генератор сигналов Г4-221/1 № 130051316117; Вольтметр В7-72 № 130051316108; Комплекс спектральный КСВУ № 130061305438350040 г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149, № 132С
3.	Групповые (индивидуальные) консультации	Аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций; оснащенность: комплект учебной мебели с учебными ПЭВМ; 1 ПЭВМ администратора (преподавательский); доска учебная магнитно-маркерная 350040 г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149, № 212С, 207С
4.	Текущий контроль, промежуточная аттестация	Учебная аудитория для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации; оснащенность: комплект учебной мебели; доска учебная магнитно-маркерная; комплект плакатов «Теория групп», «Физические свойства кристаллов»; компьютерное оснащение ПЭВМ – 4 шт. 350040 г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149, №320С
5.	Самостоятельная работа	Помещение для самостоятельной работы; оснащенность: комплект учебной мебели, компьютерное оснащение ПЭВМ с возможностью подключения к сети «Интернет», программой экранного увеличения и доступом в электронную информационно-образовательную среду университета 350040 г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149, № 208С