

*Приложение к приказу первого проректора
по учебной и научной работе*

от _____ № _____

**Правительство Российской Федерации
Санкт-Петербургский государственный университет**

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

(учебной дисциплины, практики и т.п.)

*Физика полупроводников
Physics of semiconductors*

Язык(и) обучения

_____русский_____

Трудоёмкость (границы трудоёмкости) в зачетных единицах: 2

Регистрационный номер рабочей программы: 000621

Санкт-Петербург

2016

Раздел 1. Характеристики учебных занятий

1.1. Цели и задачи учебных занятий

Формирование у студентов представления о физических свойствах полупроводниковых материалов. Изучение зонной структуры полупроводников, статистики носителей заряда в равновесном и неравновесном случае, а также явлений переноса.

1.2. Требования к подготовленности обучающегося к освоению содержания учебных занятий (пререквизиты)

Обучающиеся должны знать математику и физику в объеме программы первых трех лет бакалавриата. Для успешного освоения программы дисциплины «Физика полупроводников» студентам необходимо прослушать курс лекций «Физика твердого тела».

1.3. Перечень результатов обучения (learning outcomes)

ОКМ-3 способен к самостоятельному освоению новых методов исследования, к изменению профиля своей профессиональной деятельности;

ОКМ-7 уметь ставить, формализовать и решать задачи, уметь системно анализировать научные проблемы, генерировать новые идеи и создавать новое знание;

ПК-3 уметь ставить задачи теоретических и (или) экспериментальных научных исследований и решать их с помощью соответствующего физико-математического аппарата, современной аппаратуры и информационных технологий;

Знания о современных и классических физических моделях, используемых для описания явлений в полупроводниках; знания об основных процессах переноса заряда в полупроводниках;

1.4. Перечень активных и интерактивных форм учебных занятий

- Лекция – изложение материала преподавателем, включающее использование средств мультимедиа (30 часов).
- Консультация - ответ преподавателя на вопросы, возникшие в ходе самостоятельной подготовки студентов к экзамену (2 часа).

Раздел 2. Организация, структура и содержание учебных занятий

2.1. Организация учебных занятий

2.1.1 Основной курс

Трудоёмкость, объёмы учебной работы и наполняемость групп обучающихся				
Период обучения (месяц)	Контактная работа обучающихся с преподавателем	Самостоятельная работа	занятый	группы
			объём	ость

	лекции	семинары	консультации	практические занятия	лабораторные работы	контрольные работы	коллоквиумы	текущий контроль	промежуточная аттестация	итоговая аттестация	под руководством преподавателя	в присутствии преподавателя	сам.раб. с использованием методических материалов	текущий контроль (сам.раб.)	промежуточная аттестация (сам.раб.)	итоговая аттестация (сам.раб.)		
ОСНОВНАЯ ТРАЕКТОРИЯ																		
очная форма обучения																		
Семестр 2	30		2						2								34	2
	1-10		1-10						1-10									
ИТОГО	30		2						2								34	2

Формы текущего контроля успеваемости, виды промежуточной и итоговой аттестации			
Период обучения (модуль)	Формы текущего контроля успеваемости	Виды промежуточной аттестации	Виды итоговой аттестации (только для программ итоговой аттестации и дополнительных образовательных программ)
ОСНОВНАЯ ТРАЕКТОРИЯ			
очная форма обучения			
Семестр 1		экзамен	

2.2. Структура и содержание учебных занятий

Основной курс Основная траектория Очная форма обучения

Период обучения: **Семестр 1**

№ п/п	Наименование темы (раздела, части)	Вид учебных занятий	Количество часов
1	Общие сведения о полупроводниках. Свойства полупроводников. Типы химической связи. Полупроводниковые материалы. Применение полупроводников.	лекции	2
2	1. Основы зонной теории полупроводников 1.1 Адиабатическое и	лекции	2

	одноэлектронное приближение. Периодический потенциал, теорема Блоха, зоны Бриллюэна. Циклические граничные условия. Оператор квазиимпульса. Дисперсионная зависимость и эффективная масса. Зонные схемы в приближении слабой связи.		
3	1.2 Дисперсионная зависимость и изоэнергетические поверхности. Операторы скорости и ускорения. Дырки. Локализованные электронные состояния. Метод эффективной массы. Примесные состояния в водородоподобной модели. Экситоны. Изгиб зон.	лекции	2
4	2. Статистика равновесных носителей заряда в полупроводниках: 2.1 Циклические граничные условия и число состояний в зоне Бриллюэна. Плотность состояний. Сферические и эллипсоидальные изоэнергетические поверхности. Эффективная масса плотности состояний. Распределение Ферми-Дирака. Интеграл Ферми и критерий вырождения электронного газа.	лекции	2
5	2.2 Концентрация и средняя энергия носителей заряда в невырожденном и вырожденном полупроводнике. Концентрация носителей заряда в собственном полупроводнике. Закон действующих масс. Концентрация носителей заряда в примесном полупроводнике. Истошение примеси и переход к собственной проводимости. Условия перехода к вырождению.	лекции	2
6	3. Кинетические явления 3.1 Кинетическое уравнение Больцмана. Неравновесная функция распределения. Приближение времени релаксации. Время релаксации при упругом рассеянии на ионизованной и нейтральной примеси и фононах.	лекции	2
7	3.2 Электропроводность	лекции	2

	полупроводников. Учет зависимости времени релаксации от энергии и подвижность. Зависимость подвижности и проводимости от температуры. Электропроводность в случае тензорной эффективной массы.		
8	3.3 Термоэлектрические явления и электронная теплопроводность. Термо э.д.с. Эффекты Джоуля-Ленца, Томпсона и Пельтье.	лекции	2
9	3.4 Гальваномагнитные явления в слабом магнитном поле. Эффект Холла и холловская подвижность. Магнитосопротивление. Гальваномагнитные явления в сильных магнитных полях.		2
10	3.5 Электропроводность в сильных полях. Ударная ионизация. Эффект Ганна.		2
11	4. Неравновесные носители заряда 4.1 Время релаксации импульса и энергии. Нарушение концентрационного равновесия. Квазиуровни Ферми. Время жизни неравновесных носителей заряда. Уравнение неразрывности. Биполярная и монополярная генерация неравновесных носителей. Механизмы рекомбинации. Прямая межзонная рекомбинация: линейная и квадратичная.	лекции	2
12	4.2 Рекомбинация через ловушки. Модель Шокли-Рида-Холла. Рекомбинационные ловушки и центры захвата. Сечение захвата.	лекции	2
13	4.3 Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда. Диффузионный и дрейфовый токи. Соотношение Эйнштейна. Амбиполярная диффузия и дрейф.	лекции	2
14	4.4 Длины диффузии и дрейфа. Диффузия и дрейф при монополярной генерации. Длина экранирования. Поверхностная рекомбинация		

15	<p>5. Оптические свойства полупроводников.</p> <p>Поглощение света полупроводниками. Межзонные переходы. Поглощение квазисвободными носителями. Поглощение примесными атомами и экситонами. Люминесценция полупроводников. Фотопроводимость. Фотомагнитный эффект. Фотогальванический эффект.</p>	лекции	2
----	---	--------	---

Раздел 3. Обеспечение учебных занятий

3.1. Методическое обеспечение

3.1.1 Методические указания по освоению дисциплины

Посещение лекций.

3.1.2 Методическое обеспечение самостоятельной работы

Обязательная и дополнительная литература.

3.1.3 Методика проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации и критерии оценивания

Промежуточная аттестация проводится в виде устного экзамена, окончательная оценка выставляется по 10-балльной системе.

Методика оценки и система соответствия баллов:

	Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
10-балльная система	0-2	3-5	6-8	9-10

«Отлично» - полностью освоен материал курса, результаты ответа на основные вопросы экзаменационного билета оценены максимальным числом баллов, получены исчерпывающие ответы на дополнительные вопросы.

«Хорошо» - материал курса освоен с несущественными пробелами, получены полные ответы на основные вопросы экзаменационного билета.

«Удовлетворительно» - материал курса освоен не полностью, но пробелы в знаниях не сказываются на формировании необходимых навыков, получены неполные и/или неверные ответы на половину дополнительных вопросов.

«Неудовлетворительно» - материал курса не освоен, либо частично освоен, но пробелы в знаниях не позволяют получить необходимые навыки. Отсутствует ответ на один из основных вопросов билета. Большая часть ответов на дополнительные вопросы неверна или отсутствует.

3.1.4 Методические материалы для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации (контрольно-измерительные материалы, оценочные средства)

Список билетов для проведения промежуточной аттестации

Билет 1.

1. Основы зонной теории полупроводников. Адиабатическое и одноэлектронное приближение. Периодический потенциал, теорема Блоха, зоны Бриллюэна. Циклические граничные условия.
2. Термоэлектрические явления и электронная теплопроводность. Эффекты Джоуля-Ленца, Томпсона и Пельтье.

Билет 2.

1. Оператор квазиимпульса. Дисперсионная зависимость и эффективная масса. Зонные схемы в приближении слабой связи. Изоэнергетические поверхности. Операторы скорости и ускорения.
2. Электропроводность полупроводников. Учет зависимости времени релаксации от энергии и подвижность. Электропроводность в случае тензорной эффективной массы.

Билет 3.

1. Дисперсионная зависимость и эффективная масса. Дырки. Локализованные электронные состояния.
2. Эффект Холла и холловская подвижность.

Билет 4.

1. Метод эффективной массы. Примесные состояния в водородоподобной модели. Экситоны. Изгиб зон.
2. Длины диффузии и дрейфа. Диффузия и дрейф неравновесных носителей при монополярной генерации. Длина экранирования.

Билет 5.

1. Статистика равновесных носителей. Циклические граничные условия и число состояний в зоне Бриллюэна. Плотность состояний. Сферические и эллипсоидальные изоэнергетические поверхности. Эффективная масса плотности состояний.
2. Рекомбинационные ловушки и центры захвата. Демаркационные уровни. Сечение захвата.

Билет 6.

1. Распределение Ферми-Дирака. Интеграл Ферми и критерий вырождения электронного газа. Концентрация и средняя энергия носителей заряда в невырожденном и вырожденном полупроводнике.
2. Магнитосопротивление. Гальваномагнитные явления в сильных магнитных полях. Термомагнитные явления. Эффект Нернста-Эттингсгаузена. Эффект Риги-Ледюка.

Билет 7.

1. Плотность состояний и концентрация носителей заряда в невырожденном собственном полупроводнике. Закон действующих масс.
2. Электропроводность в сильных полях. Ударная ионизация. Эффект Ганна.

Билет 8.

1. Концентрация носителей заряда в примесном полупроводнике. Истощение примеси и переход к собственной проводимости. Условия перехода к вырождению.
2. Поглощение света полупроводниками. Межзонные переходы. Поглощение квазисвободными носителями. Поглощение примесными атомами и экситонами.

Билет 9.

1. Кинетическое уравнение Больцмана. Неравновесная функция распределения. Приближение времени релаксации. Зависимость неравновесной функции распределения от внешних и внутренних полей.
2. Неравновесные носители. Время релаксации импульса и энергии. Нарушение концентрационного равновесия. Квазиуровни Ферми.

Билет 10.

1. Время релаксации при упругом рассеянии на ионизированной и нейтральной примеси и фононах. Зависимость подвижности и проводимости от температуры.
2. Рекомбинация через ловушки. Модель Шокли-Рида-Холла.

Билет 11.

1. Термоэлектрические явления. Термо э.д.с.
2. Время жизни неравновесных носителей заряда. Уравнение неразрывности. Биполярная и монополярная генерация неравновесных носителей. Механизмы рекомбинации. Межзонная рекомбинация: линейная и квадратичная.

Билет 12.

1. Гальваномагнитные явления в слабом магнитном поле. Угол Холла.
2. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда. Диффузионный и дрейфовый токи. Соотношение Эйнштейна. Амбиполярная диффузия и дрейф.

Билет 13.

1. Люминесценция полупроводников. Фотопроводимость. Фотомагнитный эффект. Фотогальванический эффект.

2. Дисперсионная зависимость и эффективная масса. Дырки. Локализованные электронные состояния.

3.1.5 Методические материалы для оценки обучающимися содержания и качества учебного процесса

Анкета-отзыв по преподаванию дисциплины

Просим Вас заполнить анонимную анкету-отзыв по пройденному Вами курсу. Обобщенные данные анкет будут использованы для совершенствования преподавания. По каждому вопросу проставьте соответствующие оценки по шкале от 1 до 10 баллов (обведите выбранный Вами балл). В случае необходимости впишите свои комментарии.

1. Насколько Вы удовлетворены содержанием дисциплины в целом?

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Комментарий _____

2. Насколько Вы удовлетворены формами преподавания?

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Комментарий _____

3. Как Вы оцениваете качество подготовки предложенных учебно-методических материалов?

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Комментарий _____

4. Насколько Вы удовлетворены использованием преподавателями интерактивных и активных методов обучения ?

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Комментарий _____

5. Какие из тем дисциплины Вы считаете наиболее полезными, ценными с точки зрения дальнейшего обучения и/или применения в последующей практической деятельности?

6. Что бы Вы предложили изменить в методическом и содержательном плане для совершенствования преподавания данной дисциплины?

СПАСИБО!

3.2. Кадровое обеспечение

3.2.1 Образование и (или) квалификация преподавателей и иных лиц, допущенных к проведению учебных занятий

К чтению лекций должны привлекаться преподаватели, имеющие ученую степень и/или ученое звание в области физики.

3.2.2 Обеспечение учебно-вспомогательным и (или) иным персоналом

Не предусмотрено.

3.3. Материально-техническое обеспечение

3.3.1 Характеристики аудиторий (помещений, мест) для проведения занятий

Лекционная аудитория, оборудованная мультимедиа средствами демонстрации материала: проектор и настенный экран.

3.3.2 Характеристики аудиторного оборудования, в том числе неспециализированного компьютерного оборудования и программного обеспечения общего пользования

Для проведения занятия необходимы: проектор, ноутбук, экран.

3.3.3 Характеристики специализированного оборудования

Не предусмотрено.

3.3.4 Характеристики специализированного программного обеспечения

Не предусмотрено.

3.3.5 Перечень и объёмы требуемых расходных материалов

Фломастеры цветные, мел, губки, бумага формата А4, канцелярские товары, картриджи принтеров, диски, флеш-накопители, в объёме, необходимом для организации и проведения занятий, по заявкам преподавателей, подаваемым в установленные сроки.

3.4. Информационное обеспечение

3.4.1 Список обязательной литературы

1. А.И.Ансельм "Введение в теорию полупроводников". 4-е изд., СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2016. - 618 с.
2. М. Кардона, П. Ю. "Основы физики полупроводников" 3-е изд. - М. : Физматлит, 2002. - 560 с.
3. В.Л.Бонч-Бруевич, С.Г.Калашников "Физика полупроводников". 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Наука. Гл. ред. физ. -мат. лит., 1990. - 688 с.
4. П.С.Киреев "Физика полупроводников". М. : Высшая школа, 1969. - 590 с.

3.4.2 Список дополнительной литературы

1. Л.С.Стильбанс. "Физика полупроводников" - М. : Советское радио, 1967. - 451 с.
2. К. Зеегер. "Физика полупроводников". - М. : Мир, 1977. - 615 с.
3. Р.А.Смит "Полупроводники"- 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Мир, 1982. - 558 с.
4. К.В.Шалимова "Физика полупроводников". 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Энергоатомиздат, 1985. - 391 с.

3.4.3 Перечень иных информационных источников

Базы данных по свойствам полупроводников:

<http://www.ioffe.ru/SVA/NSM>

<http://www.semiconductors.co.uk/>

Раздел 4. Разработчики программы

Фамилия, имя, отчество	Учёная степень	Учёное звание	Должность	Контактная информация (служебный адрес электронной почты, служебный телефон)
Петров Юрий Владимирович	к.ф.м.н.	-	доцент	y.petrov@spbu.ru +7-905-260-25-25