

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета
компьютерного проектирования

_____ Дик С.К.

"25" мая 2009 г.

Регистрационный № УД-1-02-78/р

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ
И ТЕХНОЛОГИИ

Рабочая учебная программа для специальности
I-39 02 01 Моделирование и компьютерное проектирование
радиоэлектронных средств

Факультет	компьютерного проектирования		
Кафедра	химии		
Курс (курсы)	1		
Семестр (семестры)	1, 2		
Лекции	68 часов	Зачёт	1 семестр
		Экзамен	2 семестр
Лабораторные занятия	34 часа		
Всего аудиторных часов по дисциплине	102 часа		
Всего часов по дисциплине	222 часа	Форма получения высшего образования дневная	

2008 г.

Составил: А.А. Позняк, канд. физ.-мат. наук, доцент.

Рабочая учебная программа составлена на основе типовой учебной программы «Физико-химические основы микроэлектроники и технологии», утвержденной Министерством образования Республики Беларусь 24 сентября 2008 г., регистрационный номер № ТД-І.081/тип. и учебного плана специальности І-39 02 01 Моделирование и компьютерное проектирование радиоэлектронных средств.

Рассмотрена и рекомендована к утверждению на заседании кафедры протокол № 17 от «16» июня 2008 г.

Зав. кафедрой химии _____ Боднарь И.В.

Одобрена и рекомендована к утверждению Советом факультета компьютерного проектирования Учреждения образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники" (протокол № 10 от 25 июня 2008 г.).

Председатель _____ Дик С.К.

СОГЛАСОВАНО

Начальник ОМОУП _____ Шикова Ц.С.

1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

1.1. Цель преподавания дисциплины

Расширение функциональных возможностей РЭС, улучшение их технико-экономических показателей приводит к необходимости интенсивно внедрять последние достижения науки и техники в разработку, конструирование и технологию РЭС.

Новые направления в радиоэлектронике требуют от разработчиков радиоэлектронной аппаратуры понимания множества сложных физических явлений и процессов в сплошных средах. Без ясного представления о физической природе явлений, определяющих работу конструкций РЭС и ЭВС и технологии их изготовления, без умения математически описать эти явления, невозможно заниматься проектированием РЭС и ЭВС. Для понимания принципов работы микросистемных устройств, возможности их использования в новых разработках электронной аппаратуры студент должен овладеть необходимыми знаниями, включающими в себя качественное и количественное описание строения полупроводниковых материалов, энергетического спектра и статистики носителей заряда и фононов, теории переноса, оптических и фотоэлектрических свойств твердых тел и контактных явлений. С другой стороны, характер производственных процессов при изготовлении РЭС в настоящее время является ветвью современной физической химии, что подразумевает изучение физико-химических свойств используемых материалов, методов получения новых материалов с заданными свойствами.

Все это диктует необходимость изучения физико-химических процессов, используемых при проектировании, изготовлении и эксплуатации РЭС, как учебной дисциплины “Физико-химические основы микроэлектроники и технологии”.

Настоящая программа курса составлена с учетом этих требований и отводимого времени.

Усвоение материала, предусмотренного программой необходимо также при изучении таких дисциплин данной специальности, как:

- физические основы проектирования радиоэлектронных средств;
- теоретические основы проектирования и надёжности радиоэлектронных средств.

1.2. Задачи изучения дисциплины

В результате изучения дисциплины, обучаемый должен:

знать:

- методы термодинамического анализа фазовых равновесий в различных системах;
- основные понятия и теоретические положения физики твердого тела и физики полупроводников;

уметь:

- использовать научный подход к выбору и правильному использованию физических принципов работы приборов и используемых материалов при создании соответствующей аппаратуры.

1.3. Перечень дисциплин, усвоение которых необходимо для изучения данной дисциплины

№ п.п.	Название дисциплины	Раздел, темы
1.	Физика	В объёме школьной программы
2.	Химия	В объёме школьной программы
3.	Математика	В объёме школьной программы

2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Курс ФХОМиТ включает в себя лекции, лабораторные занятия, индивидуальную работу со студентами.

2.1. Наименование тем лекционных занятий, их содержание, объём в часах.

№№ ТЕМЫ	НАИМЕНОВАНИЕ ТЕМЫ	СОДЕРЖАНИЕ ТЕМЫ	Объём в ча- сах
I СЕМЕСТР			
1.	Структура материалов электронной техники		
1.1.	Кристаллические твердые тела. Основы кристаллографии.	Агрегатные состояния вещества. Основные свойства кристаллических веществ. Симметрия в твердых телах. Виды симметрии. Сингонии. Кристаллические решетки. Решетки Браве. Основные виды решеток, характеристики. Обозначение узлов и направлений в кристаллах. Индексы Миллера.	2
1.2	Аморфные вещества.	Определение и основные свойства аморфных веществ. Процессы стеклования.	1
1.3.	Дефекты структуры.	Дефекты структуры кристаллов, их классификации. Точечные дефекты (по Шоттки, по Френкелю, примесные) и их влияние на физические свойства материалов. Дислокации. Виды дислокаций, образование и их влияние на физические свойства материалов. Линейные, объемные, поверхностные дефекты и их влияние на физические свойства материалов.	2
1.4.	Рост кристаллов.	Процессы роста кристаллов. Методы и технологии выращивания кристаллов: одно- и двухтемпературные методы (вертикальный и горизонтальный), метод обменных реакций, Методы выращивания монокристаллов: Обреимова-Шубникова, Степанова, Бриджмена-Стокбаргера, Чохральского, Киропулоса, вытягивания «из капли» и «из лужи», Вернейля, химических транспортных реакций, зонной плавки, бестигельной зонной плавки, выращивание монокристаллов из расплава – раствора.	4
2.	Основы квантовой механики.	Описание частицы волновым пакетом. Фазовая и групповая скорости. Соотношение Гейзенберга. Дифракция электронов. Физический смысл волны де-Бройля. Понятие волновой функции электрона. Принцип суперпозиции состояний. Уравнение Шредингера. Стационарное (амплитудное) уравнение Шредингера. Решение уравнения Шредингера. Требования к волновой функции. Прохождение частицы через потенциальный барьер. Туннельный эффект. Движение частицы в потенциальной яме. Линейный гармонический осциллятор. Водородоподобный атом. Минимальная энергия атома водорода. Многоэлектронные атомы. Принцип Паули. Число состояний и порядок заполнения квантовых состояний.	2

№№ ТЕМЫ	НАИМЕНОВАНИЕ ТЕМЫ	СОДЕРЖАНИЕ ТЕМЫ	Объем в ча- сах
3.	Виды химических связей.	Образование ионной связи. Свойства ионных кристаллов. Образование и свойства ковалентной связи. Особенности химической связи в полупроводниках. Образование металлической связи. Свойства металлов. Молекулярная связь. Способ образования и свойства.	2
4.	Зонная теория твердых тел.	Модель сильной связи. Модель слабой связи (модель периодического потенциала). Функции Блоха. Дисперсионная зависимость $E(k)$. Зоны Бриллюэна. Причины образования запрещенных зон в энергетическом спектре кристалла. Число уровней в разрешенных зонах. Приведенные зоны. Металлы, полупроводники и диэлектрики в свете зонной теории. Эффективная масса электрона. Понятие дырки. Собственные и примесные полупроводники. Положение примесных уровней в полупроводниках.	2
5	Диэлектрики		
5.1.	Физические процессы в диэлектриках.	Основные электрические характеристики. Механизмы поляризации диэлектриков. Электропроводность диэлектриков. Зависимость диэлектрической проницаемости от частоты переменного поля. Диэлектрические потери и механизмы диэлектрических потерь. Тангенс угла диэлектрических потерь. Мощность диэлектрических потерь. Электрическая прочность диэлектриков. Физико-механические свойства диэлектриков. Особенности свойств тонкопленочных диэлектриков. Микропробой и электрическая прочность тонких пленок.	2
5.2.	Классификация, применение диэлектриков.	Неорганические диэлектрические материалы. Классификация неорганических диэлектрических материалов. Керамика и стекло. Установочная керамика. Электровакуумные стекла. Ситаллы. Состав, основные свойства, применение в электронной технике. Оксидные пленки металлов. Стекловолоконистые материалы, люминофоры. Основные свойства, получение, способы применения в деталях электронной техники.	2
5.2.1.		Органические диэлектрические материалы. Полиэтилен, полистирол, фторопласт, полиамиды, полиэфирные смолы, эпоксидные смолы, эластомеры, другие полимерные материалы. Композиционные порошковые пластмассы. Волокнообразные диэлектрики, лаки, клеи, битумы, компаунды. Состав, свойства, использование в изделиях электронной техники.	4
5.2.2		Активные диэлектрики. Сегнетоэлектрики, пьезоэлектрики, пироэлектрики, электреты, жидкие кристаллы. Классификация и свойства ЖК. Методы получения жидких кристаллов. Электрооптические эффекты жидких кристаллов. Состав, получение, основные свойства, использование в электрических приборах.	2

№№ ТЕМЫ	НАИМЕНОВАНИЕ ТЕМЫ	СОДЕРЖАНИЕ ТЕМЫ	Объем в ча- сах
5.2.3.		Диэлектрики для микроэлектроники Основные требования, предъявляемые к диэлектрикам в микроэлектронике. Материалы тонкопленочных гибридных интегральных схем (подложки; межуровневая и межкомпонентная изоляция; для тонкопленочных конденсаторов; для защитных покрытий интегральных схем). Способы получения тонких диэлектрических пленок. Материалы для толстопленочных гибридных интегральных схем (подложки; межслойная изоляция; для толстопленочных конденсаторов; для защитных покрытий интегральных схем).	1
6.	Статистика носителей зарядов в полупроводниках и металлах.	Статистика носителей зарядов в твердых телах. Функции распределения Максвелла-Больцмана, Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Распределение Ферми-Дирака для металлов. Плотность заполнения уровней в полупроводниках. Определение концентрации носителей в полупроводниках. Положение уровня Ферми и концентрация носителей заряда в собственных полупроводниках. Положение уровня Ферми и концентрация носителей заряда в примесных полупроводниках. Вырожденные полупроводники. Компенсированные полупроводники. Концентрация носителей в металлах.	2
7.	Электропроводность твердых тел.	Равновесное состояние электронного газа в проводнике. Процессы рассеяния. Удельная электропроводность для вырожденного и невырожденного электронного газа. Подвижность свободных носителей. Зависимость подвижности носителей заряда от температуры для вырожденного и невырожденного газов. Электропроводность металлов и сплавов. Электропроводность собственных и примесных полупроводников. Закон Видемана-Франца.	2
8.	Перенос заряда в полупроводниках.	Процессы генерации и рекомбинации носителей заряда. Равновесные и неравновесные носители заряда. Излучательная и безызлучательная рекомбинация. Токперенос в полупроводниках при наличии градиента концентрации. Соотношение Эйнштейна. Уравнение непрерывности. Диффузионная длина. Время жизни неравновесных носителей.	2
9.	Электропроводность в сильных полях.	Критерий сильного поля. Разогрев электронного газа. Закон Джоуля-Ленца. Зависимость подвижности от напряженности поля. Влияние поля на концентрацию носителей. Термоэлектронная ионизация Френкеля, ударная и электростатическая ионизация. Эффект Ганна.	2
Всего за 1-й семестр:			34
II СЕМЕСТР			

№№ ТЕМЫ	НАИМЕНОВАНИЕ ТЕМЫ	СОДЕРЖАНИЕ ТЕМЫ	Объем в ча- сах
10.	Полупроводниковые материалы, применение.	Требования, предъявляемые к полупроводниковым материалам в современной электронной технике. Простые полупроводники. Германий, кремний, их основные свойства. Методы получения, очистка, применение. Полупроводниковые пленки. Полупроводниковые соединения группы $A^{III}B^V$. Основные свойства соединений этой группы материалов (арсенид галлия, арсенид индия, антимонид фосфора, антимонид галлия, нитрид бора, арсенид бора и т.д.). Гетероструктуры. Полупроводниковые соединения группы $A^{II}B^VI$. Основные свойства соединений этой группы материалов (теллуриды свинца, ртути, кадмия; сульфиды свинца, ртути, кадмия; селениды свинца, ртути, кадмия). Полупроводниковые соединения группы $A^{IV}B^{IV}$. Карбид кремния, его основные свойства, методы получения, применение в электронной технике.	2
11.	Проводники.	Классификация проводниковых материалов. Тугоплавкие, неметаллические, материалы высокой проводимости. Ионники, твердые электролиты. Требования к проводящим материалам. Медь, алюминий, серебро, золото, молибден. Сплавы на основе меди и алюминия.	2
11.1		Материалы высокого удельного сопротивления. Требования к резистивным материалам. Углеродистые и металлопленочные резистивные материалы, хромсилицидные сплавы и композиции, полупроводниковые резистивные материалы, стеклоэмали, стеклоэмалевые резисторы; сплавы для термопар, для нагревательных приборов.	2
11.2		Проводниковые материалы в микроэлектронике. Основные требования, предъявляемые к проводящим материалам в микроэлектронике. Проводники тока, металлизация на основе этих материалов: алюминий, медь, золото, серебро. Основные требования, предъявляемые к электродным материалам. Понятие выпрямляющего и омического контактов. Сплавы для омических контактов. Электроды для тонкопленочных конденсаторов. Металлы и сплавы с высоким удельным сопротивлением. Керметы. Основные требования, предъявляемые к этим материалам в микроэлектронике. Тонкопленочные проводники.	2
12.	Сверхпроводимость материалов.	Основные закономерности изменения физических свойств материалов при переходе в сверхпроводящее состояние. Теория Бардина-Купера-Шриффера (БКШ). Сверхпроводники первого и второго рода. Эффекты Джозефсона. Новые сверхпроводящие материалы, применение и перспективы.	2
13.	Гальваномагнитные эффекты.	Эффект Холла в примесных полупроводниках и металлах. Эффект Холла в собственном полупроводнике. Эффект магнетосопротивления. Эффект Эттингсгаузена в случаях собственного и примесного полупроводников.	2
14.	Тепловые свойства твердых тел.	Нормальные колебания атомов в кристалле. Дисперсионные зависимости для акустических и оптических колебаний. Спектр нормальных колебаний решетки. Тепловые колебания с квантовой точки зрения. Фононы. Теплоемкость кристаллической решетки. Законы Дюлонга-Пти и Дебая. Характеристическая температура Дебая. Теплоемкость электронного газа. Тепловое расширение твердых тел. Теплопроводность решетки, ее зависимость от температуры. Теплопроводность электронного газа. Зависимость от температуры.	2

№№ ТЕМЫ	НАИМЕНОВАНИЕ ТЕМЫ	СОДЕРЖАНИЕ ТЕМЫ	Объем в ча- сах
15.	Контактные явления в микроэлектронике.	Классификация контактных явлений. Работа выхода. Термоэлектронная эмиссия. Контакт металл-металл. Контактная разность потенциалов. Выпрямление на контакте металл-металл. Выпрямляющие и невыпрямляющие контакты металла с полупроводниками n- и p-типов проводимости. Энергетические диаграммы. ВАХ барьера Шоттки. Электронно-дырочный переход. Классификация. Равновесное состояние электронно-дырочного перехода. Энергетическая диаграмма контакта. Выпрямляющие свойства p-n-перехода. Энергетические диаграммы. ВАХ p-n-перехода. Омический контакт двух полупроводников. Гетеропереходы.	2
16.	Поверхностные процессы и явления. Технологии обработки поверхностей.		
16.1.	Физико-химические основы поверхностных процессов.	Адсорбционные процессы на поверхности твердых тел. Понятия адгезии и когезии. Факторы, влияющие на адгезию. Электрофизические характеристики соприкасающихся поверхностей и границ раздела слоев.	2
16.2.	Поверхностные свойства полупроводников.	Поверхностные состояния в полупроводниках. Быстрые и медленные состояния. Поверхностный слой объемного заряда для случаев образования обогащенных и обедненных слоев. Зонные диаграммы для p- и n-типов полупроводников при образовании обогащенных, обедненных и инверсных слоев. Поверхностная рекомбинация. Скорость поверхностной рекомбинации. Эффект поля. Влияние поверхностного потенциала на поверхностную проводимость.	2
16.3.	Физико-химические основы технологии обработки поверхностей.	Процессы подготовки поверхности. Процессы очистки, промывки и пропитки поверхностей. Травление поверхностей. Ионно-плазменные и плазмохимические процессы. Диффузионные процессы. Ионная имплантация.	2
17.	Оптические свойства твердых тел.	Взаимодействие света с кристаллической средой. Закон Бугера-Ламберта. Оптические свойства металлов. Механизмы поглощения света в полупроводниках. Фотопроводимость. Зависимость коэффициента поглощения света α от энергии фотонов падающего света E_{ϕ} . Собственное поглощение в прямозонных и непрямозонных полупроводниках. Экситонное и примесное поглощение света в полупроводниках. Зависимость $\alpha = f(E_{\phi})$ для этих механизмов. Механизмы поглощения света свободными носителями заряда и на оптических колебаниях решетки. Эффект Франца-Келдыша. Квантовые генераторы (лазеры).	2
18.	Магнитные свойства твердых тел.	Основные магнитные характеристики материалов. Магнитные свойства атомов. Классификация магнитных материалов. Природа диа- и парамагнетизма. Ферро- и антиферромагнетизм. Механизмы намагничивания магнетиков в постоянном и переменных полях. Механизмы рассеяния энергии в ферромагнетиках при их перемагничивании. Магнитострикция. Ферромагнетизм. Цилиндрические магнитные домены. Эффект Фарадея.	2

№№ ТЕМЫ	НАИМЕНОВАНИЕ ТЕМЫ	СОДЕРЖАНИЕ ТЕМЫ	Объём в ча- сах
19	Магнитные материалы. Основные свойства магнитных материалов.	Магнитомягкие материалы. Общая характеристика и требования, предъявляемые к этой группе материалов. Технически чистое железо. Электротехнические стали. Пермаллой. Магнитомягкие высокочастотные материалы. Ферриты. Магнитодиэлектрики. Магнитострикционные материалы. Магнитотвердые материалы. Общая характеристика и требования, предъявляемые к этой группе материалов. Сплавы на основе благородных и редкоземельных металлов. Материалы для магнитной записи. Магнитные материалы в микроэлектронике. Магнитные пленки. Гигантское магнетосопротивление. Материалы для устройств на цилиндрических магнитных доменах (ЦМД), их основные свойства.	2
20.	Тонкие пленки в МЭ.	Классификация, образование и структура тонких пленок. Процессы нанесения пленок на подложку из жидкой и твердой фазы. Эпитаксиальные процессы. Механизмы роста на ориентирующих и на неориентирующих подложках. Физические свойства тонких пленок. Электропроводность тонких пленок.	2
21.	Наноматериалы и наноэлектроника.	Размерные критерии. Основные явления в наноразмерных структурах. Основы нанотехнологий (традиционные методы, методы с использованием сканирующих зондов, самосборка и самоорганизация, формирование плёнок Лэнгмюра–Блоджетт) и формирования наноструктурированных материалов (пористый кремний, анодный оксид алюминия, углеродные нанотрубки).	2
22.	Деформация и напряжения в твердых телах.	Упругая и пластическая деформации кристаллов. Дислокационный механизм пластической деформации кристаллов. Деформация поликристаллов. Механизм и кинетика процессов механического разрушения твёрдых тел.	2
Всего за 2-й семестр:			34
Всего за учебный год:			68

2.2. Лабораторные занятия, их наименование и объем в часах

Основная цель проведения лабораторных занятий состоит в закреплении теоретического материала курса, приобретении навыков выполнения эксперимента, обработки экспериментальных данных, анализа полученных результатов и грамотного оформления отчетов.

№ лаб. работы	Наименование лабораторных работ	Содержание	Объем в часах
1.	Исследование по- верхностной прово- димости полупровод- ников.	Исследование поверхностной прово- димости методом эффекта поля на МДП-структурах с различными кана- лами проводимости на примере про- мышленных полевых транзисторов.	4
2.	Изучение контактных явлений. Изучение ВАХ контактов мате- риалов различной при- роды, определение вы- соты потенциального барьера Шоттки.	Изучение ВАХ контакта металл- металл, металл-полупроводник и полупроводник-полупроводник, оп- ределение высоты потенциального барьера Шоттки по ВАХ контакта ме- талл-полупроводник.	4
3.	Изучение контактных явлений. Определение высоты потенциаль- ного барьера контакта Шоттки по темпера- турным зависимостям прямого тока.	Исследование температурной зависи- мости прямого тока контакта металл- полупроводник при постоянном на- пряжении, расчёт высоты потенци- ального барьера Шоттки по получен- ной зависимости.	4
4.	Определение элек- трофизических ха- рактеристик полу- проводников из из- мерений эффекта Холла.	Исследование зависимости Холлов- ской разности потенциалов от темпе- ратуры при постоянном токе через образец. Расчёт ширины запрещённой зоны, концентрации подвижности свободных носителей заряда и опре- деление их типа, определение концен- трации легирующей примеси, ширины запрещённой зоны исследуемого ма- териала.	4
5.	Спектры поглощения и определение шири- ны запрещённой зо- ны полупроводников.	Расчёт коэффициента поглощения, показателя преломления по получен- ным зависимостям пропускания тон- коплёночного образца от длины волны падающего света, определение шири- ны запрещённой зоны материала.	4

6.	Изучение структуры кристаллов.	Расчёт межплоскостных расстояний, постоянной решётки, рентгеновской плотности образцов по рентгенодифракционным спектрам образцов.	4
7.	Изучение механизмов поляризации диэлектриков.	Исследование температурных зависимостей тангенса угла диэлектрических потерь и ёмкости промышленных конденсаторов с диэлектриками различной природы, расчёт относительной диэлектрической проницаемости материалов.	4
8.	Электропроводность диэлектриков и диэлектрические потери.	На основании экспериментальных данных, полученных в работе 7, расчёт энергии активации носителей заряда, удельной мощности диэлектрических потерь и удельной проводимости диэлектрических материалов.	4
	Итоговое занятие		2
Итого, 2-й семестр:			34
Итого, за учебный год:			34

3. ЛИТЕРАТУРА

3.1. Основная

- 3.1.1. Стильбанс Л.С. Физика полупроводников. — М.: Сов. радио, 1967.
- 3.1.2. Новиков В.В. Теоретические основы микроэлектроники. — М.: Высшая школа, 1972.
- 3.1.3. Епифанов Г.И., Мома Ю.А. Физические основы конструирования и технологии РЭА и ЭВА. — М.: Сов. радио, 1979.
- 3.1.4. Штернов А.А. Физические основы конструирования, технологии РЭА и микроэлектроники. — М.: Радио и связь, 1981.
- 3.1.5. Фистуль В.И. Введение в физику полупроводников. — М.: Высшая школа, 1984.
- 3.1.6. Епифанов Г.И., Мома Ю.А. Твердотельная электроника. — М.: Высшая школа, 1986.
- 3.1.7. Курносков А.И., Юдин В.В. Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. Уч. пос. — М.: Высш. шк., 1986.
- 3.1.8. Летюк Л.М. Технология производства материалов магнитоэлектроники: Учебник для вузов. — М.: Metallurgy, 1994.
- 3.1.9. Айвазов А.А. Неупорядоченные полупроводники: Учебное пособие, — М.: Высшая школа. 1995.
- 3.1.10. Сорокин В.С. и др. Вопросы, задачи по курсу «Материалы электронной техники». — С.-Петербург, Лань, 2001.
- 3.1.11. Воробьев Л.Е., Ивченко Е.А., Фирсов Д.А., Шалыгин В.А. Оптические свойства наноструктур: Учеб. пособие. Под ред Е.А. Ивченко и Л.Е. Воробьева. — С.-Петербург: Наука, 2001.
- 3.1.12. Тиаров Ю.М., Цветков В.Ф. Технология полупроводниковых и диэлектрических материалов. — С.-Петербург: Лань, 2002.
- 3.1.13. Пасынков В.В., Сорокин В.С. Материалы электронной техники. — С.-Петербург, Лань, 2003.
- 3.1.14. Андриевский Р.А., Рагуля А.В. Наноструктурные материалы. — М.: Академия, 2005.

3.2. Дополнительная

- 3.2.1. Федотов Я.А. Основы физики полупроводниковых приборов. — М.: Сов. радио, 1970.
- 3.2.2. Медведев С.А. Введение в технологию полупроводниковых материалов. — М.: Высшая школа. 1970.
- 3.2.3. Тарасов Л.В. Физические основы квантовой электроники. — М.: Сов. радио, 1976.
- 3.2.4. Палатник Л.С., Сорокин В.К. Материаловедение в микроэлектронике. — М.: Энергия, 1978.
- 3.2.5. Гусева М.Б., Дубинина Е.М. Физические основы твердотельной электроники. — М.: МГУ, 1986.
- 3.2.6. Крапухин В.В., Соколов И.А., Кузнецов Г.Д. Технология материалов электронной техники. Теория процессов полупроводниковой технологии: Учебник для вузов. — М.: Московский институт стали и сплавов (МИСИС), 1995.

3.2.7. Зайцев Ю.В., Кузищина Т.К., Кустов Д.Е. Расчет физико-химических характеристик элементов проводников: Методическое пособие. — М.: Изд-во МЭИ. 2001.

4. ПЕРЕЧЕНЬ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ, НАГЛЯДНЫХ И ДРУГИХ ПОСОБИЙ, МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЙ И МАТЕРИАЛОВ, ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОБУЧЕНИЯ

4.1. Методические пособия, указания и материалы

4.1.1. Методическое пособие к лабораторным работам по курсу "Физико-химические основы микроэлектроники, конструирования и технологии РЭС и ЭВС". — Мн.: ротапринт БГУИР, 1997.

4.1.2. Методическое пособие для самостоятельной работы студентов по курсу "Физико-химические основы микроэлектроники, конструирования и технологии РЭС и ЭВС". Раздел "Контактные явления". — Мн.: ротапринт БГУИР, 1998.

4.1.3. Методическое пособие для самостоятельной работы студентов по курсу "Физико-химические основы микроэлектроники, конструирования и технологии РЭС и ЭВС". Раздел "Электрофизические характеристики полупроводников и металлов. Гальваномагнитные эффекты". — Мн.: ротапринт БГУИР, 1998.

4.1.4. Программа, методические указания и контрольные задания для студентов специальности "Проектирование и производство РЭС" заочной формы обучения в 2-х частях. Часть 1. — Мн.: ротапринт БГУИР, 2000.

4.1.5. Программа, методические указания и контрольные задания для студентов специальности "Проектирование и производство РЭС" заочной формы обучения в 2-х частях. Часть 2. — Мн.: ротапринт БГУИР, 2000.

4.1.6. Электрофизические характеристики диэлектриков: лаб. практикум по дисц. "Физико-химические основы микроэлектроники и технологии РЭС и ЭВС" всех форм обуч. — Мн.: БГУИР, 2007.

4.2. Наглядные пособия, материалы и технические средства обучения

4.2.1. Макеты кристаллических решеток.

4.2.2. Стенды, макеты лабораторных работ.

4.2.3. Программы ЭВМ для обработки результатов экспериментов к лабораторным работам:

а) изучение контактных явлений (2 работы);

б) определение электрофизических характеристик полупроводников из измерений эффекта Холла;

в) спектры поглощения и определение ширины запрещенной зоны полупроводников;

г) изучение структуры кристаллов.

4.2.4. Электронный учебно-методический комплекс по дисциплине «Физико-химические основы микроэлектроники и технологии РЭС и ЭВС».

**Протокол согласования рабочей программы
с другими дисциплинами специальности на учебный год**

Кафедры факультета	Предложения кафедр об изменениях в содержании рабочей программы	Ф.И.О. зав. кафедрой	Подпись	Решение, принятое кафедрой, разрабатывающей рабочую программу
Радиоэлектронных средств		Цырельчук И.Н.		Программа рассмотрена на заседании кафедры, протокол № 2 от 15 сентября 2008 г.

Зав. кафедрой химии

Боднарь И.В.

4. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ

Номер недели	Номер темы	Название вопросов, которые рассматриваются на лекциях	Лабораторные занятия (номера по п. 2.2)	Литература (номера по п.п. 3.1, 3.2)	Наглядные и методические пособия (номера по разделу. 4)	Самостоятельная работа студентов, часы	Форма контроля знаний студентов
1	1.1	Структура материалов электронной техники. Кристаллические твердые тела. Основы кристаллографии. Агрегатные состояния вещества. Основные свойства кристаллических веществ. Симметрия в твердых телах. Виды симметрии. Сингонии. Кристаллические решетки. Решетки Браве. Основные виды решеток, характеристики. Обозначение узлов и направлений в кристаллах. Индексы Миллера	6	3.1.9, 3.1.12, 3.1.13, 3.2.2, 3.2.4	4.1.1, 4.1.4, 4.2.1, 4.2.2, 4.2.3 в, 4.2.4		Отчёт по лабораторной работе
2	1.2	Аморфные вещества. Определение и основные свойства аморфных веществ. Процессы стеклования.		3.1.9, 3.1.12, 3.1.13, 3.2.2, 3.2.4	4.1.1, 4.2.4		
2, 3	1.3	Дефекты структуры. Дефекты структуры кристаллов, их классификации. Точечные дефекты (по Шоттки, по Френкелю, примесные) и их влияние на физические свойства материалов. Дислокации. Виды дислокаций, образование и их влияние на физические свойства материалов. Линейные, объемные, поверхностные дефекты и их влияние на физические свойства материалов.		3.1.1, 3.1.9, 3.1.12, 3.1.13, 3.2.2, 3.2.4	4.1.1, 4.2.4		
3, 4, 5	1.4	Рост кристаллов. Процессы роста кристаллов. Методы и технологии выращивания кристаллов: одно- и двухтемпературные методы (вертикальный и горизонтальный), метод обменных реакций, Методы выращивания монокристаллов: Обреимова-Шубникова, Степанова, Бриджмена-Стокбаргера, Чохральского, Киропулоса, вытягивания «из капли» и «из лужи», Вернейля, химических транспортных реакций, зонной плавки, бестигельной зонной плавки, выращивание монокристаллов из расплава – раствора.		3.1.1, 3.1.8, 3.1.9, 3.1.12, 3.2.2, 3.2.6	4.2.4		
5, 6	2	Основы квантовой механики. Описание частицы волновым пакетом. Фазовая и групповая скорости. Соотношение Гейзенберга. Дифракция электронов. Физический смысл волны де-Бройля. Понятие волновой функции электрона. Принцип суперпозиции состояния. Уравнение Шредингера. Стационарное (амплитудное) уравнение Шредингера. Решение уравнения Шредингера. Требование к волновой функции. Прохождение частицы через потенциальный барьер. Туннельный эффект. Движение частицы в потенциальной яме. Линейный гармонический осциллятор. Водородоподобный атом. Минимальная энергия атома водорода. Многоэлектронные атомы. Принцип Паули. Число состояний и порядок заполнения квантовых состояний.		3.1.1, 3.1.2, 3.1.3, 3.1.6, 3.2.5	4.1.4, 4.2.4		

Номер недели	Номер темы	Название вопросов, которые рассматриваются на лекциях	Лабораторные занятия (номера по п. 2.2)	Литература (номера по п.п. 3.1, 3.2)	Наглядные и методические пособия (номера по разделу. 4)	Самостоятельная работа студентов, часы	Форма контроля знаний студентов
6, 7	3	Виды химических связей. Образование ионной связи. Свойства ионных кристаллов. Образование и свойства ковалентной связи. Особенности химической связи в полупроводниках. Образование металлической связи. Свойства металлов. Молекулярная связь. Способ образования и свойства.		3.1.11, 3.1.13, 3.2.2, 3.2.5	4.2.1, 4.2.4		
7, 8	4	Зонная теория твердых тел. Модель сильной связи. Модель слабой связи (модель периодического потенциала). Функции Блоха. Дисперсионная зависимость $E(k)$. Зоны Бриллюэна. Причины образования запрещенных зон в энергетическом спектре кристалла. Число уровней в разрешенных зонах. Приведенные зоны. Металлы, полупроводники и диэлектрики в свете зонной теории. Эффективная масса электрона. Понятие дырки. Собственные и примесные полупроводники. Положение примесных уровней в полупроводниках.		3.1.1, 3.1.2, 3.1.3, 3.1.4, 3.1.6, 13.1.13, 3.2.1	4.1.4, 4.2.4		
8, 9	5.1	Физические процессы в диэлектриках. Основные электрические характеристики. Механизмы поляризации диэлектриков. Электропроводность диэлектриков. Зависимость диэлектрической проницаемости от частоты переменного поля. Диэлектрические потери и механизмы диэлектрических потерь. Тангенс угла диэлектрических потерь. Мощность диэлектрических потерь. Электрическая прочность диэлектриков. Физико-механические свойства диэлектриков. Особенности свойств тонкопленочных диэлектриков. Микропробой и электрическая прочность тонких пленок.	7, 8	3.1.2, 3.1.10, 3.1.11, 3.1.13, 3.2.1, 3.2.5	4.1.6, 4.2.2, 4.2.4		Отчёт по лабораторной работе
9, 10	5.2	Классификация, применение диэлектриков. Неорганические диэлектрические материалы. Классификация неорганических диэлектрических материалов. Керамика и стекло. Установочная керамика. Электровакуумные стекла. Ситаллы. Состав, основные свойства, применение в электронной технике. Оксидные пленки металлов. Стекловолоконистые материалы, люминофоры. Основные свойства, получение, способы применения в деталях электронной техники.		3.1.13	4.1.6, 4.2.4		
10, 11, 12	5.2.1	Органические диэлектрические материалы. Полиэтилен, полистирол, фторопласт, полиамиды, полиэфирные смолы, эпоксидные смолы, эластомеры, другие полимерные материалы. Композиционные порошковые пластмассы. Волокнообразные диэлектрики, лаки, клеи, битумы, компаунды. Состав, свойства, использование в изделиях электронной техники.		3.1.13	4.1.6, 4.2.4		

Номер недели	Номер темы	Название вопросов, которые рассматриваются на лекциях	Лабораторные занятия (номера по п. 2.2)	Литература (номера по п.п. 3.1, 3.2)	Наглядные и методические пособия (номера по разделу. 4)	Самостоятельная работа студентов, часы	Форма контроля знаний студентов
12, 13	5.2.2	Активные диэлектрики. Сегнетоэлектрики, пьезоэлектрики, пирозлектрики, электреты, жидкие кристаллы. Классификация и свойства ЖК. Методы получения жидких кристаллов. Электрооптические эффекты жидких кристаллов. Состав, получение, основные свойства, использование в электрических приборах.		3.1.13	4.1.6, 4.2.4		
13	5.2.3	Диэлектрики для микроэлектроники Основные требования, предъявляемые к диэлектрикам в микроэлектронике. Материалы тонкопленочных гибридных интегральных схем (подложки; межуровневая и межкомпонентная изоляция; для тонкопленочных конденсаторов; для защитных покрытий интегральных схем). Способы получения тонких диэлектрических пленок. Материалы для толстопленочных гибридных интегральных схем (подложки; межслойная изоляция; для толстопленочных конденсаторов; для защитных покрытий интегральных схем).		3.1.13	4.2.4		
14	6	Статистика носителей зарядов в полупроводниках и металлах. Статистика носителей зарядов в твердых телах. Функции распределения Максвелла-Больцмана, Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Распределение Ферми-Дирака для металлов. Плотность заполнения уровней в полупроводниках. Определение концентрации носителей в полупроводниках. Положение уровня Ферми и концентрация носителей заряда в собственных полупроводниках. Положение уровня Ферми и концентрация носителей заряда в примесных полупроводниках. Вырожденные полупроводники. Компенсированные полупроводники. Концентрация носителей в металлах.		3.1.1, 3.1.2, 3.1.3, 3.1.4, 3.1.5, 3.1.6, 3.1.10, 3.1.11, 3.2.1, 3.2.7	4.1.4, 4.2.4		
15	7	Электропроводность твердых тел. Равновесное состояние электронного газа в проводнике. Процессы рассеяния. Удельная электропроводность для вырожденного и невырожденного электронного газа. Подвижность свободных носителей. Зависимость подвижности носителей заряда от температуры для вырожденного и невырожденного газов. Электропроводность металлов и сплавов. Электропроводность собственных и примесных полупроводников. Закон Видемана-Франца.		3.1.2, 3.1.1, 3.1.3, 3.2.5, 3.1.4, 3.1.6, 3.1.10, 3.1.13, 3.2.1, 3.2.7	4.1.3, 4.1.5, 4.2.4		
16	8	Перенос заряда в полупроводниках. Процессы генерации и рекомбинации носителей заряда. Равновесные и неравновесные носители заряда. Излучательная и безызлучательная рекомбинация. Токоперенос в полупроводниках при наличии градиента концентрации. Соотношение Эйнштейна. Уравнение непрерывности. Диффузионная длина. Время жизни неравновесных носителей.		3.1.5, 3.1.4, 3.1.1, 3.1.2, 3.1.14, 3.2.1, 19, 3.1.13, 3.1.10	4.1.4, 4.2.4		

Номер недели	Номер темы	Название вопросов, которые рассматриваются на лекциях	Лабораторные занятия (номера по п. 2.2)	Литература (номера по п.п. 3.1, 3.2)	Наглядные и методические пособия (номера по разделу. 4)	Самостоятельная работа студентов, часы	Форма контроля знаний студентов
17	9	Электропроводность в сильных полях. Критерий сильного поля. Разогрев электронного газа. Закон Джоуля-Ленца. Зависимость подвижности от напряженности поля. Влияние поля на концентрацию носителей. Термоэлектронная ионизация Френкеля, ударная и электростатическая ионизация. Эффект Ганна.		3.1.5, 3.1.4, 3.1.1, 3.1.2, 3.2.5, 3.2.1, 3.2.7	4.1.5, 4.2.4		
							ЗАЧЁТ
1	10	Полупроводниковые материалы, применение. Требования, предъявляемые к полупроводниковым материалам в современной электронной технике. Простые полупроводники. Германий, кремний, их основные свойства. Методы получения, очистка, применение. Полупроводниковые пленки. Полупроводниковые соединения группы A ^{III} B ^V . Основные свойства соединений этой группы материалов (арсенид галлия, арсенид индия, антимонид фосфора, антимонид галлия, нитрид бора, арсенид бора и т.д.). Гетероструктуры. Полупроводниковые соединения группы A ^{III} B ^{VI} . Основные свойства соединений этой группы материалов (теллуриды свинца, ртути, кадмия; сульфиды свинца, ртути, кадмия; селениды свинца, ртути, кадмия). Полупроводниковые соединения группы A ^{IV} B ^{IV} . Карбид кремния, его основные свойства, методы получения, применение в электронной технике.		3.1.4, 3.1.13	4.2.1, 4.2.4		
2	11	Проводники. Классификация проводниковых материалов. Тугоплавкие, неметаллические, материалы высокой проводимости. Ионики, твёрдые электролиты. Требования к проводящим материалам. Медь, алюминий, серебро, золото, молибден. Сплавы на основе меди и алюминия.		3.1.13, 3.2.7	4.2.4		
3	11.1	Материалы высокого удельного сопротивления. Требования к резистивным материалам. Углеродистые и металлопленочные резистивные материалы, хромсилицидные сплавы и композиции, полупроводниковые резистивные материалы, стеклоэмали, стеклоэмалевые резисторы; сплавы для терморпар, для нагревательных приборов.		3.1.13, 3.2.7	4.2.4		

Номер недели	Номер темы	Название вопросов, которые рассматриваются на лекциях	Лабораторные занятия (номера по п. 2.2)	Литература (номера по п.п. 3.1, 3.2)	Наглядные и методические пособия (номера по разделу. 4)	Самостоятельная работа студентов, часы	Форма контроля знаний студентов
4	11.2	Проводниковые материалы в микроэлектронике. Основные требования, предъявляемые к проводящим материалам в микроэлектронике. Проводники тока, металлизация на основе этих материалов: алюминий, медь, золото, серебро. Основные требования, предъявляемые к электродным материалам. Понятие выпрямляющего и омического контактов. Сплавы для омических контактов. Электроды для тонкопленочных конденсаторов. Металлы и сплавы с высоким удельным сопротивлением. Керметы. Основные требования, предъявляемые к этим материалам в микроэлектронике. Тонкопленочные проводники.		3.1.4, 3.1.10, 3.1.13, 3.2.7	4.2.4		
5	12	Сверхпроводимость материалов. Основные закономерности изменения физических свойств материалов при переходе в сверхпроводящее состояние. Теория Бардина-Купера-Шриффера (БКШ). Сверхпроводники первого и второго рода. Эффекты Джозефсона. Новые сверхпроводящие материалы, применение и перспективы.		3.1.2, 3.1.3, 3.1.6, 3.2.1, 3.2.5	4.2.4		
6	13	Гальваномагнитные эффекты. Эффект Холла в примесных полупроводниках и металлах. Эффект Холла в собственном полупроводнике. Эффект магнетосопротивления. Эффект Эттингсгаузена в случаях собственного и примесного полупроводников.	4	3.1.1, 3.1.2, 3.1.3, 3.1.4, 3.1.5, 3.1.6, 3.1.10, 3.1.13, 3.2.1, 3.2.5	4.1.3, 4.1.5, 4.2.2, 4.2.3 б, 4.2.4		Отчёт по лабораторной работе
7	14	Тепловые свойства твердых тел. Нормальные колебания атомов в кристалле. Дисперсионные зависимости для акустических и оптических колебаний. Спектр нормальных колебаний решетки. Тепловые колебания с квантовой точки зрения. Фононы. Теплоемкость кристаллической решетки. Законы Дюлонга-Пти и Дебая. Характеристическая температура Дебая. Теплоемкость электронного газа. Тепловое расширение твердых тел. Теплопроводность решетки, ее зависимость от температуры. Теплопроводность электронного газа. Зависимость от температуры.		3.1.1, 3.1.2, 3.1.3, 3.1.6, 3.2.1, 3.2.5	4.1.5, 4.2.4		
8	15	Контактные явления в МЭ. Классификация контактных явлений. Работа выхода. Термоэлектронная эмиссия. Контакт металл-металл. Контактная разность потенциалов. Выпрямление на контакте металл-металл. Выпрямляющие и невыпрямляющие контакты металла с полупроводниками n- и p-типов проводимости. Энергетические диаграммы. ВАХ барьера Шоттки. Электронно-дырочный переход. Классификация. Равновесное состояние электронно-дырочного перехода. Энергетическая диаграмма контакта. Выпрямляющие свойства p-p-перехода. Энергетические диаграммы. ВАХ p-p-перехода. Омический контакт двух полупроводников. Гетеропереходы.	2, 3	3.1.1, 3.1.2, 3.1.4, 3.2.5, 3.2.7	4.1.2, 4.1.5, 4.2.2, 4.2.3 а, 4.2.4		Отчёт по лабораторной работе

Номер недели	Номер темы	Название вопросов, которые рассматриваются на лекциях	Лабораторные занятия (номера по п. 2.2)	Литература (номера по п.п. 3.1, 3.2)	Наглядные и методические пособия (номера по разделу. 4)	Самостоятельная работа студентов, часы	Форма контроля знаний студентов
9	16.1	Физико-химические основы поверхностных процессов. Адсорбционные процессы на поверхности твёрдых тел. Понятия адгезии и когезии. Факторы, влияющие на адгезию. Электрофизические характеристики соприкасающихся поверхностей и границ раздела слоёв.		3.1.7	4.2.4		
10	16.2	Поверхностные свойства полупроводников. Поверхностные состояния в полупроводниках. Быстрые и медленные состояния. Поверхностный слой объемного заряда для случаев образования обогащенных и обедненных слоев. Зонные диаграммы для p- и n-типов полупроводников при образовании обогащенных, обедненных и инверсных слоев. Поверхностная рекомбинация. Скорость поверхностной рекомбинации. Эффект поля. Влияние поверхностного потенциала на поверхностную проводимость.	1	3.1.1, 3.1.2, 3.1.4, 3.1.5, 3.2.1, 3.2.5	4.2.4		Отчёт по лабораторной работе
11	16.3	Физико-химические основы технологии обработки поверхностей. Процессы подготовки поверхности. Процессы очистки, промывки и пропитки поверхностей. Травление поверхностей. Ионно-плазменные и плазмохимические процессы. Диффузионные процессы. Ионная имплантация.		3.1.7	4.2.4		
12	17	Оптические свойства твердых тел. Взаимодействие света с кристаллической средой. Закон Бугера-Ламберта. Оптические свойства металлов. Механизмы поглощения света в полупроводниках. Фотопроводимость. Зависимость коэффициента поглощения света α от энергии фотонов падающего света E_f . Собственное поглощение в прямозонных и непрямозонных полупроводниках. Экситонное и примесное поглощение света в полупроводниках. Зависимость $\alpha = f(E_f)$ для этих механизмов. Механизмы поглощения света свободными носителями заряда и на оптических колебаниях решетки. Эффект Франца-Келдыша. Квантовые генераторы (лазеры).	5	3.1.1, 3.1.2, 3.1.4, 3.1.5, 3.1.13, 3.2.1, 3.2.5	4.1.1, 4.1.5, 4.2.2, 4.2.3 в, 4.2.4		Отчёт по лабораторной работе
13	18	Магнитные свойства твердых тел. Основные магнитные характеристики материалов. Магнитные свойства атомов. Классификация магнитных материалов. Природа диа- и парамагнетизма. Ферро- и антиферромагнетизм. Механизмы намагничивания магнетиков в постоянном и переменных полях. Механизмы рассеяния энергии в ферромагнетиках при их перемагничивании. Магнитострикция. Ферримагнетизм. Цилиндрические магнитные домены. Эффект Фарадея.		3.1.2, 3.1.8, 3.1.13, 3.2.1, 3.2.5	4.2.4		

