

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
БОРИСОГЛЕБСКИЙ ФИЛИАЛ
(БФ ФГБОУ ВО «ВГУ»)

МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ
Физические основы элементной базы микроэлектроники

1. Код и наименование направления подготовки:

44.03.01 Педагогическое образование

2. Профиль подготовки:

Информатика и информационные технологии в образовании

3. Квалификация (степень) выпускника:

Бакалавр

4. Форма обучения:

заочная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:

Кафедра прикладной математики, информатики, физики и методики их преподавания

6. Составители:

Жиренко Н.Г., кандидат биологических наук, доцент кафедры,

Зюзин С.Е., кандидат физико-математических наук, доцент

7. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Приступая к изучению учебной дисциплины, обучающиеся должны ознакомиться с учебной программой дисциплины. Электронный вариант рабочей программы размещён на сайте БФ ВГУ. Следует обратить особое внимание на:

- основные цели и задачи дисциплины;
- перечень и содержание компетенций, на формирование которых направлена дисциплина;
- систему оценивания ваших учебных достижений;
- распределение видов занятий по разделам дисциплины;
- учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.

В ходе лекций необходимо критически осмысливать предлагаемый материал, задавать вопросы, добиваться полного понимания изучаемых вопросов темы.

Глубокое усвоение содержания дисциплины и формирование необходимых компетенций возможно только при условии самостоятельной работы студента по изучению дисциплины. Самостоятельная работа студентов включает изучение теоретического материала по рекомендованным учебным пособиям. Кроме рекомендованных учебников и учебных пособий можно использовать и другую дополнительную литературу: справочники, словари, специальные научно-популярные периодические журналы и т.п. Кроме того, при всех формах самостоятельной работы студент может получить конкретную помощь при изучении тех или иных вопросов у преподавателя на консультации. При этом помощь, полученная на консультации, будет тем значительнее, чем больший объем работы студенту удалось проделать самостоятельно, и чем лучше он определил для себя объем необходимой конкретной помощи.

Требования к оформлению рефератов и списка цитированных источников соответствуют требованиям к оформлению курсовых работ по кафедре ПМИ-ФиМП.

8. Методические материалы для обучающихся по освоению теоретических вопросов дисциплины

№	Тема лекции	Рассматриваемые вопросы
1	Элементы зонной теории	Строение твёрдых веществ, применяемых в электронике. Электроны в одномерной цепочке атомов. Образование зон. Зоны валентных и свободных состояний. Виды твердых тел: диэлектрики, металлы, полупроводники. Распределение Ферми и ее зависимость от температуры. Уровень Ферми. Энергия Ферми. Эффективная масса электрона. Плотность электронных состояний. Электроны и дырки.
2	Проводимость полупроводников	Собственная и примесная проводимость; зависимость от температуры. Доноры и акцепторы. Кинетика носителей зарядов в полупроводниках и токи.
3	Фотоэлектрические явления в полупроводниках	Внутренний фотоэффект. Фотодиоды. Полупроводниковые источники излучения. Лазер на p-n-переходе

Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Барыбин, А.А. Электроника и микроэлектроника. Физико-технологические основы : учебное пособие / А.А. Барыбин. - Москва : Физматлит, 2008. - 424 с. : ил. - ISBN 978-5-9221-0679-5 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=75443 (21.11.2017).
2	Игумнов, В.Н. Физические основы микроэлектроники : учебное пособие / В.Н. Игумнов. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2014. - 358 с. : ил., табл. - Библиогр.: с. 345-346. - ISBN 978-5-4475-3300-7 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=271708 (21.11.2017).

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
3	Краткий курс общей физики: учебное пособие / И.А. Старостина, Е.В. Бурдова, О.И. Кондратьева и др.; Министерство образования и науки России, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет». - Казань : Издательство КНИТУ, 2014. - 377 с.; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=428788 (21.11.17)

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
4	Игумнов, В.Н. Физические основы микроэлектроники : практикум / В.Н. Игумнов. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2014. - 266 с. : ил., табл., схем. - Библиогр.: с. 255. - ISBN 978-5-4475-3301-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=271707 (21.11.2017).

9. Тематика рефератов/докладов/эссе, методические рекомендации по выполнению контрольных и курсовых работ, иные материалы

Типовые задания для организации индивидуальной работы (индивидуальные задания) по дисциплине «Физические основы элементной базы микроэлектроники»

Темы рефератов

1. Основные положения и понятия микроэлектроники.
2. История развития микроэлектроники.
3. Современные направления развития микроэлектроники.
4. Зонная теория кристаллов.
5. Физические явления и процессы в полупроводниковых структурах.
6. Общие сведения о полупроводниках. Собственная и примесная проводимость полупроводников.
7. Статистика электронов и дырок в полупроводниках.
8. Кинетические процессы в полупроводниковых структурах.
9. Поверхностные процессы в полупроводниковых структурах.

10. Физика процессов в р-п-переходе при отсутствии и наличии внешнего поля.
11. Физические принципы работы транзисторов.
12. Диодно-транзисторная логика.
13. Транзисторно-транзисторная логика
14. Интегральные микросхемы.
15. Особенности технологии и методы создания БИС и СБИС.
16. Физические принципы хранения информации на магнитном и лазерном носителе. Организация памяти.
17. Физические принципы работы запоминающих устройств.
18. Классификация запоминающих устройств (ЗУ) по назначению, способам записи, хранения и поиска информации.
19. Отображение информации в ЭЛТ.
20. Отображение информации в жидкокристаллических (газоразрядных) дисплеях.
21. Формирование цветного изображения. Пиксели.
22. Способы выращивания кристаллов

Помимо реферата студент составляет словарь терминов (глоссарий) и задание в тестовой форме (5-10 вопросов) по теме реферата. Примеры глоссария и тестового задания по различным темам приводятся ниже.

Глоссарий по теме «Основные положения и понятия микроэлектроники»

Электроника – наука о взаимодействии электронов с электромагнитными полями и методах создания электронных приборов и устройств, предназначенных для преобразования электромагнитной энергии, передачи, обработки и хранения информации.

Микроэлектроника – область электроники, охватывающая проблемы исследования, изготовления и применения микроэлектронных изделий малых размеров с высокой степенью интеграции.

Полупроводниковая микроэлектроника – область микроэлектроники, в которой все активные и пассивные элементы и соединения между ними сформированы в объеме полупроводникового кристалла.

Функциональная микроэлектроника – область микроэлектроники, в которой функциональные приборы изготавливаются на основании оптических, механических, акустических, тепловых, магнитных и других физических свойств твердых тел, изменяющихся при внешнем воздействии. В изделиях функциональной микроэлектроники отсутствуют активные элементы, функционирующие на основе дискретных неоднородностей в твердых телах, что имеет место в обычной микроэлектронике. Вместо них используются динамические неоднородности. Подразделами функциональной микроэлектроники являются: *оптоэлектроника, акустоэлектроника, магнитоэлектроника, криоэлектроника, биоэлектроника.*

Интегральная микросхема – единое и неделимое микроэлектронное изделие, характеризующееся большой плотностью упаковки электрически соединенных

между собой активных и пассивных элементов, изготовленных в едином технологическом цикле в тонком слое полупроводникового кристалла, выполняющее определенную функцию преобразования и обработки электрических сигналов.

Микроминиатюризация – выполнение электрических функций при условии использования минимального физического объема полупроводникового кристалла, размеры которого лимитированы отводом тепла и другими физическими параметрами.

Плотность упаковки – количество элементов и компонентов в микросхеме на единице площади (чаще всего транзисторов).

Степень интеграции – характеризуется числом элементов и компонентов в интегральной схеме на основании соотношения $k = \lg N$, где k – коэффициент интеграции, N – число элементов.

Для количественной характеристики степени интеграции микросхем используют следующую классификацию:

- первая степень интеграции (простая ИМС) содержит до 10 элементов, $k \leq 1$;
- вторая степень интеграции (средняя интегральная микросхема – СИМС) содержит от 10 до 100 элементов, $1 \leq k \leq 2$;
- третья степень интеграции (большая интегральная схема – БИС) содержит от 100 до 1000 элементов, $2 \leq k \leq 4$;
- при числе элементов более 10^4 (сверхбольшая интегральная схема – СБИС), $k \geq 4$.

Пленочная интегральная схема – ИМС, все активные и пассивные элементы которой и соединения между ними выполнены в виде тонких пленок из различных материалов, которые в определенной конфигурации и последовательности наносятся на изоляционную подложку. Различают *тонкопленочные* и *толстопленочные* интегральные микросхемы.

Гибридные интегральные микросхемы – содержат элементы, выполненные по интегральной технологии, с навесными дискретными элементами, обычно больших размеров.

Аналоговые ИМС – схемы, предназначенные для преобразования и обработки сигналов, изменяющихся по законам непрерывной функции.

Цифровые ИМС – схемы, предназначенные для преобразования и обработки дискретных сигналов с двоичным или другим цифровым кодом.

Интегральный биполярный транзистор – активный элемент ИМС, функционирующий на основе дискретной неоднородности проводимости участка полупроводникового кристалла путем инжекции неосновных носителей зарядов в обратно смещенный р-п переход. Биполярные транзисторы бывают *р-п-р-* и *п-р-п-* типа.

р-п-переход – физический контакт двух полупроводниковых кристаллов с различным типом проводимости: электронной и дырочной. На основании *р-п-* переходов создаются активные элементы в электронике и микроэлектронике – диоды и биполярные транзисторы, управляемые током.

Полевой транзистор – активный элемент электроники и микроэлектроники, управляемый электрическим потенциалом, созданный на базе контактов типа "ме-

талл – диэлектрик – полупроводник (МДП) или "металл – окисел – полупроводник" (МОП).

Интегральные диоды – активные элементы микроэлектроники, сформированные на базе биполярных транзисторов путем короткого замыкания двух любых электродов (БЭ, БК или ЭК), и функционирующие на основе соответствующих р-п-переходов транзистора.

Интегральные конденсаторы – емкости р-п-переходов в биполярных транзисторах, а также емкости на базе подзатворного диэлектрика в полевом интегральном транзисторе.

Паразитные элементы микроэлектроники - не предусмотренные схемой контакты и переходные области в интегральных элементах микросхем.

Статистика Ферми - Дирака – характеризует распределение по энергиям подвижных носителей зарядов (электронов и дырок) в полупроводнике при заданной температуре, описываемых антисимметричными волновыми функциями, подчиняющимися запрету Паули.

Статистика Бозе-Эйнштейна – характеризует распределение по энергиям неразличимых квантово-механических частиц (например, квантов света), описываемых симметричными волновыми функциями.

Статистика Максвелла-Больцмана – характеризует распределение по энергиям свободных частиц во внешнем потенциальном поле (атомов и молекул, а также электронов и ионов в газах и плазме при определенных условиях).

Уровень Ферми – энергетический уровень в статистике Ферми-Дирака, вероятность заполнения которого электроном или дыркой при любой температуре равна 0,5. В собственном полупроводнике уровень Ферми расположен в середине запрещенной зоны.

Планарная технология микроэлектроники. В основу технологии изготовления изделий микроэлектроники (интегральных микросхем) положен интегрально-групповой принцип, предусматривающий одновременное формирование в объеме полупроводникового кристалла большого числа идентичных элементов и соединений между ними, расположенных на одном уровне (планарно).

Базовые технологические процессы – последовательность технологических операций, связанных с нанесением или удалением тонких слоев различных материалов, а также с изменением типа и величины проводимости в объеме полупроводника в процессе изготовления изделий микроэлектроники. Эта последовательность включает: очистку поверхности полупроводникового кристалла, осаждение тонких слоев: (полупроводниковых – эпитаксия; диэлектрических – пассивация, металлических – металлизация, выравнивающих рельеф поверхности – планаризация); удаление тонких слоев – избирательное или сплошное травление; модификацию проводимости в объеме полупроводника – диффузия и ионное легирование.

Жидкостно-химическая технология – процессы обработки поверхности твердых тел в жидких реактивных средах (в основном при травлении тонких пленок).

Вакуумно-плазменная технология – процессы обработки поверхности твердых тел: нанесение и удаление тонких слоев различных материалов в реактивных и инертных газовых средах, в газоразрядной плазме и в вакууме.

Эпитаксия – технологический процесс наращивания тонкого монокристаллического слоя полупроводника на подложку с одновременным легированием для создания слоя с n или p проводимости.

Литография – процесс создания защитной маски для размерного травления диэлектрических или металлических пленок, а также локальной диффузии при формировании топологического рисунка ИС

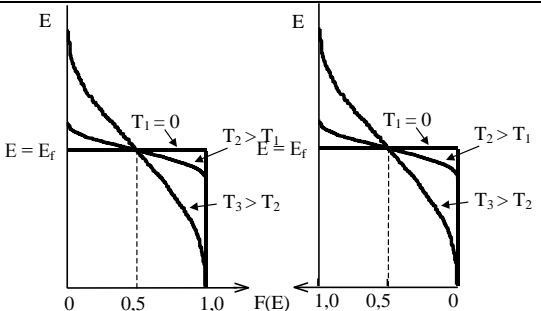
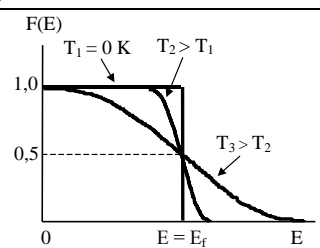
Магнетронное распыление – физическое выбивание атомов с поверхности твердого тела ускоренными ионами инертного газа, генерируемыми в разряде низкого давления в скрещенных электрических и магнитных полях, используемого для технологического процесса нанесения тонких пленок различных материалов.

Радиационное стимулирование технологических процессов – дополнительное энергетическое воздействие на обрабатываемую поверхность или реактивную газовую среду электронным, ионным или фотонным потоками, позволяющее ускорить технологический процесс.

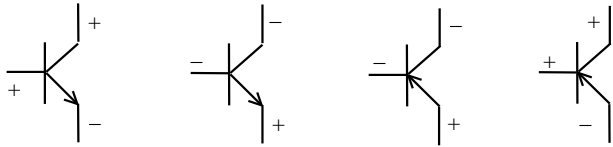
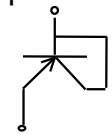
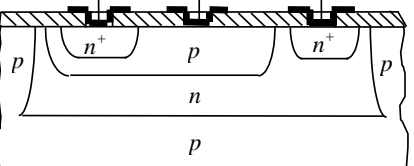
Оперативный спектральный контроль в микроэлектронике – непрерывный контроль одного или нескольких параметров технологического процесса путем регистрации интенсивности характерной спектральной линии или молекулярной полосы эмиссионного излучения газоразрядной плазмы при нанесении или травлении тонких слоев или для определения момента окончания технологического процесса.

**Задание в тестовой форме
по теме «Статистика электронов и дырок в полупроводниках»**

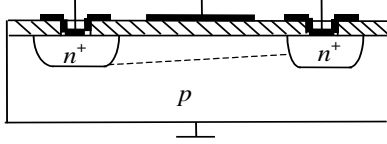
1. Каким параметром определяется работа выхода в п/п?	1. Шириной запрещенной зоны.
	2. Положением уровня Ферми.
	3. Дном зоны проводимости.
	4. Потолком валентной зоны.
2. Какая из приведенных формул описывает статистику Ферми-Дирака?	1. $f(E, T) = \{1 + \exp[(E - E_f)/kT]\}^{-1}$
	2. $f(E, T) = C \exp(-E / kT)$
	3. $f(E, T) = \{1 - \exp[(E - E_v)/kT]\}^{-1}$
3. Какую систему частиц описывает статистика Максвелла-Больцмана?	1. Распределение электронов по энергиям в металлах.
	2. Распределение молекул по скоростям в газах.
	3. Распределение молекул и атомов в плазме газового разряда по скоростям и кинетической энергии.
	4. Распределение фотонов по энергиям.

<p>4. Какой из приведенных графиков функции Ферми-Дирака определяет распределение дырок в полупроводнике?</p>	 <p>1. 2.</p>
<p>5. В каком направлении смещается уровень Ферми при нагревании полупроводника?</p>	 <p>3.</p> <p>1. Остается неизменным. 2. В сторону зоны проводимости. 3. В сторону валентной зоны. 4. В середину запрещенной зоны.</p>

Задание в тестовой форме по теме «Транзисторы»

<p>1. На каком физическом принципе функционирует интегральный биполярный транзистор?</p>	<p>1. Инжекция основных носителей зарядов. 2. Инжекция неосновных носителей зарядов. 3. Экстракция основных носителей зарядов. 4. Экстракция неосновных носителей зарядов.</p>
<p>2. Какой способ подключения питания транзистора является правильным?</p>	 <p>1. 2. 3. 4.</p>
<p>3. Чем отличается интегральный биполярный транзистор от МОП-структуры?</p>	<p>1. Способом управления. 2. Структурой. 3. Технологией изготовления. 4. Линейными размерами.</p>
<p>7.4. Что изображено на рисунке?</p> 	<p>1. Комбинированный транзистор. 2. Интегральный диод. 3. Интегральная емкость.</p>
<p>5. Что изображено на рисунке?</p> 	<p>1. Планарный биполярный транзистор. 2. Полевой транзистор. 3. n⁺-p-n⁺-структура.</p>

6. Что изображено на рисунке?



1. Биполярный транзистор.

2. Полевой транзистор.

3. МОП-структура.

4. Интегральная емкость.