

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ФИЗИКО – ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Кафедра физической электроники и нанофизики

Актуализировано:  
на заседании кафедры  
протокол № 5 от 24.06.2021

Согласовано:  
Председатель УМК физико-  
технического института

Зав. кафедрой



Шарипов Т.И.



М.Х. Балапанов

**Рабочая программа дисциплины (модуля электроника)**

дисциплина Электрорадиоматериалы  
(наименование дисциплины)

Вариативная часть  
(Цикл дисциплины и его часть)  
**Б1.В.1.08**

Направление подготовки

03.03.03 Радиофизика, квалификация (степень) бакалавр  
(наименование ООП ВПО направления подготовки или специальности  
с указанием кода)

*Профиль подготовки*  
Цифровые технологии обработки информации

Разработчик (составитель)  
д.ф.-м.н., проф. Бахтизин Р.З.  
(уч. степень, уч. звание)



подпись

Уфа 2021

Составитель / составители:

д.ф.-м.н., профессор Бахтизин Р.З.

Рабочая программа дисциплины актуализирована и одобрена на заседании кафедры протокол № 5 от «24» июня 2021 г.

Заведующий кафедрой

/ Т.И. Шарипов Ф.И.О/

Дополнения и изменения, внесенные в рабочую программу дисциплины, утверждены на заседании кафедры \_\_\_\_\_, протокол № \_\_\_\_ от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_ г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ Ф.И.О/

Дополнения и изменения, внесенные в рабочую программу дисциплины, утверждены на заседании кафедры \_\_\_\_\_, протокол № \_\_\_\_ от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_ г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ Ф.И.О/

Дополнения и изменения, внесенные в рабочую программу дисциплины, утверждены на заседании кафедры \_\_\_\_\_, протокол № \_\_\_\_ от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_ г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ Ф.И.О/

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы (*с ориентацией на карты компетенций*);
2. Цель дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы;
3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся;
4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических или астрономических часов и видов учебных занятий;
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине электрорадиоматериалы;
6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине электрорадиоматериалы;
7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины электрорадиоматериалы;
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет" (далее - сеть «Интернет»), необходимых для освоения дисциплины электрорадиоматериалы;
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины электрорадиоматериалы;
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости);
11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине электрорадиоматериалы.

**1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы (с ориентацией на карты компетенций)**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ОП ВО по данному направлению подготовки:

**ОПК-1** способностью к овладению базовыми знаниями в области математики и естественных наук, их использованию в профессиональной деятельности (основной этап формирования данной компетенции);

**ПК-1** способностью понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования;

**ПК-9** способностью к подготовке документации на проведение НИР (смет, заявок на материалы, оборудование, трудовых договоров и т.п.), а также поиску в сети Интернет материально-технических и информационных ресурсов для обеспечения НИР.

**Табл. 1**

| Результаты обучения                 |  | Формируемая компетенция (с указанием кода) | Примечание |
|-------------------------------------|--|--|------------|
| Знания                              | 1. Знать физическую сущность процессов, протекающих в проводниковых, полупроводниковых, диэлектрических и магнитных материалах в различных условиях эксплуатации;  | <b>ОПК-1</b>                               |            |
|                                     | 2. Знать свойства различных групп материалов: диэлектриков, полупроводников, проводников, магнитных материалов;  | <b>ПК-9</b>                                |            |
|                                     | 3. Знать физические и математические модели процессов и явлений, лежащих в основе принципа действия приборов и устройств электроники и микроэлектроники;   | <b>ПК-1</b>                                |            |
| Умения                              | 1. Выдвигать и проверять гипотезы, делать обоснованный выбор методов исследования материалов электронной техники; применять справочный материал по выбору требуемых материалов для конкретных устройств; | <b>ОПК-1</b>                               |            |
|                                     | 2. Прогнозировать изменение свойств материалов при изменении внешних условий или воздействий: давления, температуры, электрических/ магнитных полей, радиационных воздействий;                           | <b>ПК-9</b>                                |            |
|                                     | 3. Определять надежность, стабильность и воспроизводимость характеристик материалов и элементов при наличии внешних воздействий;   | <b>ПК-1</b>                                |            |
| Владения (навыки/опыт деятельности) | 1. Владеть экспериментальными навыками по изучению основных свойств материалов, в том числе методами электрофизических и металлографических измерений.   | <b>ПК-1</b>                                |            |
|                                     | 2. Владеть методиками решения задач определения электрофизических параметров проводников, полупроводников и диэлектриков.  | <b>ПК-9</b>                                |            |

## 2. Цель дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Электрорадиоматериалы» входит в профессиональный цикл как вариативная часть и входит в раздел «Б1.В.1.08.» (обязательная дисциплина) ФГОС по направлению подготовки 03.03.03 «Радиофизика».

Знания, полученные в результате освоения курса «Электрорадиоматериалы» позволяют создавать электронные приборы и вырабатывать методы исследования новых материалов, необходимых для разработки новых электронных приборов и устройств. Поэтому, изучение дисциплины является необходимым элементом подготовки специалистов по данному направлению.

Дисциплина «Электрорадиоматериалы» одна из основных дисциплин профиля, так как без знания физико-химических характеристик материалов и протекающих в них физических процессов невозможны сознательные и эффективные подходы к разработке изделий электронной техники и к организации технологических процессов.

Данный курс тесно связан с физическими основами электроники и способствует формированию у будущих специалистов принципов физического и инженерного подхода к оценке возможностей использования материалов в конкретных элементах и устройствах электронной техники.

## 3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Согласно ОП подготовки бакалавра по направления 03.03.03 «Радиофизика», профиль «Радиофизика и электроника» и рабочему учебному плану (РУП) по дисциплине «Электрорадиоматериалы» отводится:

|                                 |                   |
|---------------------------------|-------------------|
| общий объем часов по дисциплине | 72 (всего 2 ЗЕТ); |
| в том числе аудиторных часов    | 36;               |
| контактных часов                | 34.               |

Разбиение общего числа часов по видам учебных занятий с указанием их объемов приведено в таблице 1

Табл. 2

| Виды учебной работы                   | Общий объем по РУП 88_ | Количество часов в семестре |
|---------------------------------------|------------------------|-----------------------------|
| Аудиторные занятия                    | 60                     | 60                          |
| Лекции                                | 12                     | 12                          |
| Лабораторные занятия                  | 8                      | 22                          |
| Практические занятия                  | 14                     | 0                           |
| Самост. раб. студентов                | 36                     | 36                          |
| Контроль самостоятельной работы (КСР) | 2                      | 2                           |
| Виды контроля                         | зачет                  | зачет                       |

#### 4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических или астрономических часов и видов учебных занятий

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

дисциплины \_\_\_\_\_ Электрорадиоматериалы \_\_\_\_\_ на \_\_\_\_\_ 8 \_\_\_\_\_ семестр  
(наименование дисциплины)

Рабочую программу осуществляют:

Зачетных единиц трудоемкости (ЗЕТ) 2

Учебных часов:

лекций **12**

Лекции: профессор кафедры физической электроники и нанофизики,  
д.ф.-м.н. Бахтизин Р.З.

(должность, уч. степень, ф.и.о.)

семинарских **14**

лабораторных **8**

самостоятельная работа студентов **36**

КСР **2**

В том числе контактных часов **34.**

Лабораторные и практич. (семинарские) занятия: профессор кафедры  
физической электроники и нанофизики, д.ф.-м.н. Бахтизин Р.З.

(должность, уч. степень., ф.и.о.)

**Таблица 3**

| № п/п  | Тема и содержание   | Форма изучения материалов (лекции, практические занятия, семинарские занятия, лабораторные работы, самостоятельная работа) | Кол-во часов аудиторной работы | Основная и дополнительная литература, рекомендуемая студентам | Задания по самостоятельной работе студентов с указанием литературы, номеров задач | Количество часов самостоят. работы | Форма контроля самостоятельной работы студентов (коллоквиумы, контрольные работы, компьютерные тесты и т.п.) |
|--|---|--|--------------------------------|---|---|------------------------------------|--|
| 1  | 2   | 3  | 4                              | 5   | 6   | 7                                  | 8  |
| <b>Модуль 1: проводники и полупроводники</b> |   |  |                                |   |   |                                    |  |
| 1.   | Основные сведения об электро-радиоматериалах и их классификация; строение и рентгено-структурный анализ.  | Лекция<br><br>Семинар  | 1<br><br>2                     | [1]: §1.1-1.3   | номера задач<br>[1, 3]  | 5                                  | Решение задач<br>отчет   |
| 2.   | Проводники. Физическая природа электропроводности металлов. Температурная зависимость уд. сопротивл. металлов. Влияние структурных дефектов на электропроводность.                          | Лекция<br><br>Лаборат. работа  | 1<br><br>2                     | [1]: §3.1-3.2   | номера задач<br>[1, 2]  | 5                                  | Решение задач<br>отчет к лаб. работе   |
| 3  | Электропроводность тонких пленок металлов. Контактная разность потенциалов, термо-ЭДС и термопары.  | Лекция   | 1                              | [1]: §4.7-4.8<br>[2]:   | номера задач<br>[3]   | 3                                  | Решение задач  |
| 4  | Собственные и примесные полупроводники, их энергетические диаграммы. Температурная зависимость проводимости полупроводников. Рекомбинация неравновесных носителей заряда в полупроводниках. | Лекция<br>Семинар  | 1<br>4                         | [1]:§ 4.1-4.3,<br>[2]:  | номера задач<br>[2, 3]  | 5                                  | Отчет к лаб. работе,<br>Решение задач  |

|  |  |                           |             |   |                        |           |   |
|--|--|---------------------------|-------------|---|------------------------|-----------|---|
| 5  | Эффект Холла в полупроводниках. Электропроводность п/п в сильном электрическом поле.         | Лекция<br>Лаб. работа     | 1<br>2      | [1]: § 4.7, 4.8<br>[2]:                         | номера задач<br>[3]: № | 2         | Отчет к лаб. работе                                   |
| 6  | Методы очистки/выращивания п/п кристаллов. Осн. свойства Ge и Si и области применения        | Лекция<br>Семинар         | 1<br>2      | [1]: § 5.2-5.4,<br>[2]:                         | номера задач<br>[3]: № | 2         | Отчет к лаб. работе<br>Решение задач<br>Рубежный тест |
|  | <b>ИТОГО</b>   |                           | <b>6/12</b> |   |                        | <b>22</b> | <b>Рубежный контроль</b>                              |
| <b>Модуль 2: Диэлектрики и органические материалы; магнитные материалы и материалы спинтроники</b> |  |                           |             |   |                        |           |   |
| 7  | Диэлектрики. Поляризация и ее виды. Диэлектр. потери.  | Лекция<br>Лаб. работа     | 1<br>2      | [1]: § 6.1<br>[2]: [3]                          |                        | 2         | Решение задач   |
| 8  | Пробой диэлектриков. Пассивные диэлектрики. Конденсаторные и изоляц. материалы.              | Лекция                    | 1           | [1]: § 6.4,<br>7.1-7.8<br>[2]: [4]              |                        | 2         | Решение задач   |
| 9  | Активные диэлектрики. Основные методы исследования диэлектриков и определения их параметров. | Лекция<br>Семинар         | 1<br>4      | [1]: § 8.1-8.7<br>[2]:<br>[3]: [4]              |                        | 2         | Решение задач<br>Тест<br>Отчет                        |
| 10   | Магнитные материалы и их классификация.  | Лекция                    | 1           | [1]: § 9.1-9.2<br>[2]: [3]                      |                        | 2         | Решение задач   |
| 11   | Физическая природа ферромагнетизма. Ферриты. Материалы для записи информации                 | Лекция<br>Семинар         | 1<br>2      | [1]: § 9.3-9.4,<br>§ 10.1-10.5<br>[2]: [3]; [4] |                        | 2         | Решение задач<br>Тест                                 |
| 12   | Нанотехнологии и наноматериалы для электроники   | Лекция<br>Лаборат. работа | 0,5<br>2    | [2], [3]  |                        | 2         | Решение задач<br>отчет к лаб. работе<br>Тест          |
| 13   | Органические материалы. Материалы спинтроники  | Лекция                    | 0,5         | [3]   |                        | 2         |   |
|  | <b>ИТОГО</b>   |                           | <b>4/10</b> |   |                        | <b>14</b> | <b>зачет</b>  |

## **5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

При изучении дисциплины «Электрорадиоматериалы» предусмотрены следующие виды самостоятельной работы:

Самостоятельная работа с литературой. Темы для самостоятельного изучения приведены в рабочей программе по каждому модулю с указанием параграфов основной и дополнительной литературы, в достаточном количестве содержащейся в библиотеке. Контроль данной работы проходит в начале каждого лекционного занятия в течение 10-15 минут по тестовым заданиям.

Самостоятельная подготовка по материалам лекций к прохождению промежуточного и рубежного контроля. Вопросы по данным видам контроля приведены в соответствующей главе и выдаются студентам заблаговременно. Контроль данной работы проходит в начале каждого лекционного занятия в течении 10-15 минут по тестовым заданиям.

Самостоятельная работа по подготовке к лабораторной работе, включающая в себя изучение теоретического материала, планирование эксперимента, подготовку экспериментального журнала. Необходимый методический материал приведен в Методических указаниях к лабораторной работе, выдаваемых студенту преподавателем заранее. Перечень методических указаний приведен в пункте дополнительной литературы. Контроль данной работы проходит в начале каждого лабораторного занятия в течении 10-15 минут в виде допуска по результатам рабочей дискуссии микро группы студентов, совместно выполняющих данный физический эксперимент.

Самостоятельная работа по математической обработке и анализу полученных результатов, подготовке отчета и ответа на контрольные вопросы. Контроль данной работы проходит на лабораторном занятии в виде защиты отчета и ответа на контрольные вопросы.

На семинарских (практических) занятиях будут решаться типовые задачи по изучаемым темам. Самостоятельная работа студентов предполагает решение задач домашнего задания. При этом студенты должны быть готовы к показу задачи в аудитории при разборе и анализе домашних задач.

## **6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине**

### **6.1. Контрольно-оценочные материалы, формы и критерии контроля знаний**

Текущая, промежуточная и итоговая аттестация проводится по модульно-рейтинговой системе согласно *Положению о модульно-рейтинговой системе обучения и оценки успеваемости студентов*

**Текущий контроль** - это контроль над всеми видами аудиторной и внеаудиторной работы студентов по данному дисциплинарному модулю, результаты которой оцениваются до рубежного контроля.

Текущий контроль по теоретическому материалу части модуля (лекционному и материалу самостоятельного изучения) проводится в форме тестов

вого опроса или в виде письменного блиц - опроса по 6 вопросам, требующим краткого ответа. Это основные определения, физические понятия, законы и теоремы, вопросы на понимание физической сути изучаемых явлений. Каждый вопрос оценивается как часть от максимального балла, назначенного на данный текущий контроль. В зависимости от объема модуля проводится 1-2 текущих контроля. Список вопросов к каждому текущему контролю выдается студентам заранее.

Текущий контроль по лабораторным занятиям проводится в виде отметки о выполнении работы (2 балла) и защиты отчета по лабораторным работам (2 балла). Проводится текущий контроль по семинарским занятиям.

**Рубежный контроль** – проверка полноты знаний и умений по материалу модуля в целом.

Рубежный контроль проводится в форме тестового опроса или в виде письменного блиц-опроса по 10 вопросам, требующим краткого ответа. Каждый вопрос оценивается как часть от максимального балла, назначенного на рубежный контроль. Вопросы охватывают материал целого модуля и также включают темы лекционных занятий и самостоятельной работы.

По результатам суммарного текущего контроля по всем видам учебной деятельности и рубежного контроля выставляется промежуточный контроль.

**Итоговый контроль** – форма контроля, проводимая по завершении изучения дисциплины в семестре.

Итоговый контроль на третьем семестре проводится в форме зачета по теоретическому материалу.

Итоговый контроль на четвертом семестре проводится в форме экзамена по теоретическому материалу.

## **6.2. Критерии оценки итогового контроля.**

Студент получает зачет согласно бально-рейтинговой системе. Итоговый контроль оценивается максимально в 20 баллов, если студент отвечает правильно на 10 из 10 предложенных вопросов.

При приеме экзамена используются следующие критерии.

**(30 баллов):** Ответ на вопрос должен показать глубокие, прочные знания студента. Ответ должен быть логичным и доказательным. Студенту необходимо знать основные понятия, термины, развернутые определения, использовать современные данные науки. Студент должен устанавливать причинно-следственные связи, применять знания в новой ситуации. Студент должен продемонстрировать умение делать аргументированные выводы.

**(20 баллов):** Ответ студента должен показать глубокие, прочные знания. Ответ должен быть логичным и доказательным. Студенту необходимо знать основные понятия, термины, развернутые определения, использовать данные современной науки. Студенту необходимо устанавливать причинно-следственные связи, излагать материал с учетом принципов объективности и научности. В ответе допускаются отдельные несущественные неточности.

**(10 баллов):** Ответ на вопросы должен показать знания поставленных вопросов. Необходимо знать основные понятия, термины, развернутые опреде-

ления, фактический материал, использовать данные современной науки. В ответе могут допускаться существенные ошибки и неточности.

**(0 баллов):** Ответ на поставленные вопросы показывает незнание его содержания, основных понятий, терминов. Студент не умеет устанавливать причинно-следственные связи, излагать материал с учетом принципов научности и объективности, анализировать указанные источники. Ответ студента не соответствует вопросу, а так же при отсутствии ответа и при отказе от ответа.

Преподаватель может поощрить студентов за участие в научных конференциях, конкурсах, олимпиадах, за активную работу на аудиторных занятиях, за публикации статей, за работу со школьниками, выполнение заданий повышенной сложности в виде поощрительных баллов (до 10 баллов за семестр).

Перевод оценки из 100-балльной в четырехбалльную производится следующим образом:

- отлично - от 80 до 110 баллов (включая 10 поощрительных баллов);
- хорошо - от 60 до 79 баллов;
- удовлетворительно - от 45 до 59 баллов;
- неудовлетворительно - менее 45 баллов.

### **6.3. Вопросы к текущему и рубежному контролю по теоретическому материалу**

**Проводники.** Физическая природа электропроводности металлов. Температурная зависимость удельного сопротивления металлов. Сверхпроводимость и ее применение в науке и технике. Влияние структурных дефектов на удельное сопротивление металлов. Электропроводность металлов в тонких слоях. Контактная разность потенциалов, термо-ЭДС и термопары. Металлы высокой проводимости. Материалы высокотемпературной сверхпроводимости. Металлы с повышенным удельным сопротивлением.

**Полупроводники.** Собственные и примесные полупроводники, их энергетические диаграммы. Температурная зависимость проводимости полупроводников. Рекомбинация неравновесных носителей заряда в полупроводниках. Эффект Холла в полупроводниках. Электропроводность полупроводников в сильном электрическом поле. Методы очистки и выращивания полупроводниковых кристаллов. Основные свойства германия и кремния, особенности технологии и область применения. Полупроводниковые химические соединения.

**Диэлектрики.** Поляризация, виды поляризации диэлектриков. Электропроводность диэлектриков. Диэлектрические потери. Пробой диэлектриков. Пассивные диэлектрики. Конденсаторные и изоляционные материалы. Активные диэлектрики. Основные методы исследования диэлектриков и определения их параметров.

**Магнитные материалы.** Классификация веществ по отношению к магнитному полю. Физическая природа ферромагнетизма. Намагничивание ферромагнетика. Потери энергии в ферромагнетиках. Магнитотвердые и магни-

томягкие материалы. Ферриты. Материалы для магнитной записи информации.

### ***Органические материалы. Материалы для спинтроники.***

#### **6.4. Типовые задачи, предлагаемы на семинарских (практических) занятиях и контрольных**

1. Рассчитать положение уровня Ферми и суммарную кинетическую энергию свободных электронов в  $1 \text{ см}^3$  серебра при температуре вблизи абсолютного нуля, полагая, что число свободных электронов равно количеству атомов серебра.

2. К графитовому стержню длиной 0,2 м приложено напряжение 6 В. Определить плотность тока в стержне в первый момент после подачи напряжения, если удельное сопротивление графита равно  $4 \cdot 10^{-4} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ . Как и почему меняется плотность тока в стержне со временем?

3. Определить вероятность заполнения электронами энергетического уровня, расположенного на 10 кТ выше уровня Ферми. Как изменится вероятность заполнения этого уровня электронами, если температуру увеличить в два раза?

4. Определить число атомов галлия и мышьяка в единице объема кристалла арсенида галлия GaAs, если известно, что плотность материала при 300 К равна  $5,32 \text{ Мг/м}^3$ .

5. Концентрация электронов проводимости в полупроводнике равна  $10^{18} \text{ м}^{-3}$ . Определить концентрацию дырок в этом полупроводнике, если известно, что собственная концентрация носителей заряда при этой же температуре равна  $10^{16} \text{ м}^{-3}$ .

#### **7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

##### **7.1 Основная литература:**

1. Пасынков В.В. Материалы электронной техники. - СПб.: "Лань", 2014
2. Петров К.С. Радиоматериалы, радиокомпоненты и электроника: Учебное пособие. - СПб: Питер, 2003 (210 экз.)

##### **7.2. Дополнительная литература:**

3. Материалы электронной техники. Задачи и вопросы / Под ред. В.А. Терехова. - СПб.: «Лань», 2007.
4. Ястребов А.С. , Волокобинский М.Ю. , Сотенко А.С. Материаловедение, электрорадиоматериалы и радиокомпоненты. Academia. М. 2011.
5. Пасынков В.В., Сорокин В.С. Материалы электронной техники. // М. Высшая школа. 1986 (118 экз.)
6. Богородицкий Н.П., Пасынков В.В., Тареев Б.М. Электротехнические материалы и элементы электронной техники и электроники. // Л. Энергоатомиздат.1985 (420 экз.)
7. Методическое пособие к лабораторным работам по курсу «Электрорадиоматериалы», Новосибирск 2004 (102 экз.).

## **8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины**

Курсы и конспекты лекций по материалам электронной техники доступны по следующим адресам:

[http://mateltech.narod.ru/course/course\\_cont.htm](http://mateltech.narod.ru/course/course_cont.htm) (курс лекций МИСИС)

<http://window.edu.ru/resource/953/73953> (конспект лекций)

<http://lms.kgeu.ru/course/view.php?id=251> (курс лекций)

## **9. Методические указания по освоению дисциплины**

Основные темы дисциплины «Электрорадиоматериалы» приведены в таблице 3 рабочего плана, где можно ознакомиться с расшифровкой каждой темы и основными понятиями, которые необходимо освоить по каждому модулю. В этих же таблицах подробно прописана тематика самостоятельной работы с указанием литературных источников. По каждой теме самостоятельной работы в рабочей программе указаны соответствующие параграфы основной и дополнительной литературы, которая есть в достаточном количестве в библиотеке. Рекомендуется активно пользоваться электронными ресурсами библиотеки читального зала физико-технического института.

Самостоятельную работу нужно выполнять систематически для последовательного понимания материала и готовности к промежуточным и рубежным контролям. На кафедре физической электроники и нанофизики висит график работы преподавателя со студентами. При возникновении вопросов необходимо обращаться к лектору в указанное время за консультацией.

Обязательное условие успешного освоения лекционного материала – внимательно слушать объяснения преподавателя, вести краткий конспект, задавать вопросы лектору, если возникает непонимание материала. Очень полезно обратиться к литературе, которую рекомендовал преподаватель по каждой лекции, и уяснить непонятные моменты. Если по какой-либо причине лекционное занятие было пропущено, материал необходимо проработать по рекомендуемой литературе, в противном случае следующая тема будет непонятна.

Лабораторные занятия требуют предварительной подготовки. Получив тему работы необходимо: проработать теоретический материал по данной работе по учебной литературе; спланировать выполнение лабораторной работы: четко уяснить порядок ее выполнения, подготовить таблицы для записи полученных результатов, продумать возможности снижения систематических и случайных ошибок. Перед выполнением работы необходимо сдать допуск преподавателю. После снятия результатов и их обработки с учетом теории погрешности, нужно проанализировать полученные результаты, сформулировать вывод и подготовить ответы на контрольные вопросы, которые приведены в конце работы. Ниже перечислены темы основных лабораторных работ:

1. Определение удельной электропроводности металлов и проверка закона Видемана-Франца.

2. Четырехзондовый метод измерения удельного сопротивления полупроводников.
3. Электрофизические свойства диэлектрических пленок.
4. Изучение температурной зависимости электрического сопротивления полупроводника. Определение энергии активации.

## 10. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Кафедра физической электроники и нанофизики:

1. Располагает развитой лабораторной базой, включающей разнообразную вакуумную технику, сверхвысоковакуумный сканирующий туннельный микроскоп на линии с оже-спектрометром высокого разрешения и квадрупольным масс-спектрометром в составе единой вакуумной системы и др.
2. Имеет мультимедийную аудиторию для проведения лекционных и практических занятий с необходимым комплектом мультимедийных материалов.

Лабораторные занятия проводятся в специализированных лабораториях физико-технического института (кк. 311, 314 и 316 ФТИ БашГУ). В табл. 4 приведены сведения об основном оборудовании, которое используется при выполнении лабораторных работ по указанным модулям.

**Табл. 4**

### Сведения об обеспеченности образовательного процесса специализированным и лабораторным оборудованием

| № п/п | Наименов. модулей   | Перечень основного оборудования, используемого для проведения лабораторных занятий      |
|-------|---------------------|---|
| 1     | Проводники          | Стенд для определения электропроводности и теплопроводности металлов                    |
| 2     | Полупроводники      | ИУС-3 прибор для определения удельного сопротивления полупроводников 4-зондовым методом |
| 3     | Диэлектрики         | Стенд для определения тангенса угла диэлектрических потерь                              |
| 4     | Магнитные материалы | Измерение петли гистерезиса (моделирование на компьютере)                               |

## 11. Контрольные материалы для аттестации студентов

- Базовые задачи

### (а) Диэлектрические материалы

1. Керамический конденсатор с  $\epsilon=8$  был заряжен до напряжения 1500 В, после чего источник напряжения отключили. Через 15 мин напряжение на конденсаторе оказалось равным 300 В. Определить удельное объемное сопротивление диэлектрика конденсатора.
2. Определить поверхностное сопротивление диэлектрика плоского конденсатора толщиной 5 мм, если при постоянном напряжении на нем 1200 В, ток через диэлектрик равен 5 нА. Площадь электродов конденсатора 100 мм<sup>2</sup>, а удельное объемное сопротивление  $2 \times 10^{11}$  Ом·м.

3. Диэлектриком плоского конденсатора является гетинакс размером  $100 \times 100 \text{ мм}^2$  и толщиной 1 мм. Определить потери мощности в диэлектрике при постоянном напряжении 1000 В, если удельное объемное сопротивление  $10^{10} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ .
4. Между плоскими электродами помещен двухслойный диэлектрик с  $\epsilon_1=2$  и толщиной 0.5 см и с  $\epsilon_2=6$  и толщиной 1 см. Определить величину напряженности электрического поля в каждом слое при переменном напряжении 10 кВ.
5. Определить значение переменного напряжения на конденсаторе, если при частоте сигнала 2 кГц, рассеиваемая мощность равна 6 мВт. Площадь обкладок  $10 \times 10 \text{ см}^2$ , толщина диэлектрика 5 мм, диэлектрическая проницаемость 4, тангенс угла потерь  $\text{tg}\delta = 0.001$ . Поверхностной утечкой пренебречь.
6. Двухслойный диэлектрик включен под переменное напряжение. Напряжение на первом слое составляет 4 кВ, а на втором слое – 8 кВ. Толщина слоев 2 мм и 6 мм соответственно. Определить диэлектрическую проницаемость второго слоя, если диэлектрическая проницаемость первого слоя равна 7.
7. Какое следует взять соотношение частей по объему компонентов пластмассы, связующим которой является фторлон-4 с  $\epsilon_2 = 2.1$ , а наполнителем тиконд Т-80 с  $\epsilon_1 = 80$ , если диэлектрическая проницаемость этой пластмассы была бы равна 20?
8. Определить плотность вспененного полистирола (пенополистирола), имеющего диэлектрическую проницаемость  $\epsilon_{\text{всп}}=1.5$ . Какую долю объема этого материала занимает воздух? Вспениванию подвергался полистирол с параметрами  $\epsilon = 2.6$ ,  $\rho = 1050 \text{ кг/м}^3$ .
9. Определить сопротивление изоляции кабеля длиной 2 км, если радиус жилы кабеля 1 мм, внутренний радиус металлической оболочки 5 мм, а удельное объемное сопротивление изоляции  $10^9 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ .
10. Определить содержание водяных паров в помещении длиной 4 м, шириной 3 м и высотой 3 м, если относительная влажность воздуха 60%. Плотность насыщенных паров  $\rho_{\text{нас}}=17.3 \text{ г/м}^3$ .
11. Определить толщину пластины полистирола размером  $10 \times 10 \text{ см}^2$  такой, чтобы за время 1 сек и при разности давлений водяных паров 10 кПа через нее прошло  $m=6.2 \times 10^{-10} \text{ кг}$  воды. Влагопроницаемость полистирола  $P=6.2 \times 10^{-15} \text{ сек}$ .
12. Найти температуру воды в фарфоровом сосуде прямоугольной формы высотой 10 см, шириной 10 см, толщиной стенок – 1 см, если мощность теплового потока через стенку сосуда составляет 64 Вт. Температура окружающей среды – 20 °С. Теплопроводность фарфора  $1.6 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ .
13. Определить изменение линейных размеров изделия из силикатного стекла длиной 20 м, если температура изделия 820 °С. Температурный коэффициент линейного расширения силикатного стекла  $9.2 \times 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ .
14. Определить температуру изделия из силикатного стекла, если относительное изменение его линейных размеров равно  $9.2 \times 10^{-3}$ . Температурный коэффициент линейного расширения силикатного стекла  $9.2 \times 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ .
15. При напряжении 2 кВ плоский конденсатор, изготовленный из высокочастотного диэлектрика, имеет заряд  $3.5 \times 10^{-8} \text{ Кл}$ . При этом же напряжении и при повышении температуры на 100 К заряд возрастает на 1%. Определить диэлектрическую проницаемость материала и температурный коэффициент диэлектрической проницаемости, если толщина диэлектрика между пластинами конденсатора  $h=2 \text{ мм}$ , а площадь обкладок  $S=5 \text{ см}^2$ . Изменением линейных размеров пренебречь.
16. Определить температуру изделия из силикатного стекла длиной 20 м, если изменение его линейных размеров составляет 0.15 м. Температурный коэффициент линейного расширения силикатного стекла  $9.2 \times 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ .
17. Определить относительную влажность воздуха в помещении длиной 4 м, шириной 3 м

и высотой – 3 м, если содержание водяных паров в нем 374 г. Плотность насыщенных паров  $m_{\text{НАС}}=17.3 \text{ г/м}^3$ .

18. Определить диэлектрическую проницаемость пластмассы, связующим которой является фторлон-4 с  $\epsilon_2=2.1$  и объемным содержанием 0.62, а наполнителем - тиконд Т-80 с  $\epsilon_1=80$  и объемным содержанием 0.38.

19. Двухслойный диэлектрик включен под переменное напряжение. Напряжение на первом слое составляет 4 кВ, а на втором слое – 8 кВ. Толщина слоев 2 мм и 6 мм соответственно. Определить диэлектрическую проницаемость первого слоя, если диэлектрическая проницаемость второго слоя равна 10.5.

20. Диэлектриком плоского конденсатора является гетинакс размером  $100 \times 100 \text{ мм}^2$  и толщиной 1 мм. Определить его удельное объемное сопротивление, если потери мощности в диэлектрике при постоянном напряжении 1000 В равны 1 мВт.

21. Определить максимальную частоту тепловых колебаний атомов в кристаллах алюминия, для которого температура Дебая  $\theta_D=428 \text{ К}$ . Какую длину волны будет иметь фотон с эквивалентной энергией?

22. Вычислить длину свободного пробега электронов в меди при  $T=300 \text{ К}$ , если ее удельное сопротивление при этой температуре равно  $0.017 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$ , а концентрация свободных электронов  $8.45 \times 10^{28} \text{ м}^{-3}$ . При расчете использовать выводы квантовой теории.

23. Определить время, в течение которого электрон пройдет расстояние 1 км по медному проводу, если удельное сопротивление меди  $0.017 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$ , концентрация свободных электронов  $8.45 \times 10^{28} \text{ м}^{-3}$ , а разность потенциалов на концах проводника  $U=220 \text{ В}$ .

24. К медной проволоке длиной 6 м и диаметром 0.56 мм приложено напряжение 0.1 В. Сколько электронов пройдет через поперечное сечение проводника за 10 с, если удельное сопротивление меди равно  $0.017 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$ ?

25. Определите на сколько увеличатся потери мощности при замене медного провода длиной 50 м и сечением  $16 \text{ мм}^2$  на алюминиевый. Удельное сопротивление меди  $0.017 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$ , удельное сопротивление алюминия -  $0.028 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$ . Величина тока - 50 А.

26. Определите мощность, потребляемую нагревательным элементом из нихромовой проволоки при напряжении сети 220 В, если длина проволоки 3 м, диаметр 0.15 мм. Рабочая температура  $900 \text{ }^\circ\text{С}$ . Удельное сопротивление нихрома  $1.2 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$ ,  $T_{\text{Кр}}(20 \text{ }^\circ\text{С})=2 \times 10^{-4} \text{ К}^{-1}$ .

27. Вычислить удельную теплопроводность меди при комнатной температуре, если ее удельное сопротивление равно  $0.017 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$ .

28. Определить изменение теплопроводности Al при изменении температуры от  $20 \text{ }^\circ\text{С}$  до  $80 \text{ }^\circ\text{С}$ . Удельное сопротивление алюминия –  $0.028 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$ ,  $T_{\text{Кр}}(20 \text{ }^\circ\text{С})=4.2 \times 10^{-3} \text{ К}^{-1}$ .

29. Температура сверхпроводящего перехода  $T_c$  для олова в отсутствие магнитного поля равна 3.7 К, а критическая напряженность магнитного поля  $H_c$  при температуре абсолютного нуля составляет  $2.4 \times 10^4 \text{ А/м}$ . Рассчитать максимально допустимое значение тока  $I_c$  при температуре  $T=2 \text{ К}$  для провода диаметром  $d=1 \text{ мм}$ , изготовленного из сверхпроводящего олова.

30. Один спай термопары помещен в печь с температурой  $200 \text{ }^\circ\text{С}$ , другой находится при температуре  $20 \text{ }^\circ\text{С}$ . Вольтметр показывает при этом термо-ЭДС 1.8 мВ. Чему равна термо-ЭДС, если второй (холодный) спай термопары поместить в сосуд: а) с тающим льдом; б) с кипящей водой? Относительную удельную термо-ЭДС во всем температурном диапазоне  $0-200 \text{ }^\circ\text{С}$  считать постоянной.

### *(б) Проводники (металлы)*

1. Определить максимальную частоту тепловых колебаний атомов в кристаллах алюминия, для которого температура Дебая  $\theta_D=428 \text{ К}$ . Какую длину волны будет иметь фотон с эквивалентной энергией?

2. Вычислить длину свободного пробега электронов в меди при  $T = 300 \text{ K}$ , если ее удельное сопротивление при этой температуре равно  $0.017 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$ , а концентрация свободных электронов  $8.45 \times 10^{28} \text{ м}^{-3}$ . При расчете использовать выводы квантовой теории.

3. Определить время, в течение которого электрон пройдет расстояние  $1 \text{ км}$  по медному проводу, если удельное сопротивление меди  $0.017 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$ , концентрация свободных электронов  $8.45 \times 10^{28} \text{ м}^{-3}$ , а разность потенциалов на концах проводника  $U = 220 \text{ В}$ .

4. К медной проволоке длиной  $6 \text{ м}$  и диаметром  $0.56 \text{ мм}$  приложено напряжение  $0.1 \text{ В}$ . Сколько электронов пройдет через поперечное сечение проводника за  $10 \text{ с}$ , если удельное сопротивление меди равно  $0.017 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$ ?

5. Определите на сколько увеличатся потери мощности при замене медного провода длиной  $50 \text{ м}$  и сечением  $16 \text{ мм}^2$  на алюминиевый. Удельное сопротивление меди  $0.017 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$ , удельное сопротивление алюминия –  $0.028 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$ . Величина тока –  $50 \text{ А}$ .

6. Определите мощность, потребляемую нагревательным элементом из нихромовой проволоки при напряжении сети  $220 \text{ В}$ , если длина проволоки  $3 \text{ м}$ , диаметр  $0.15 \text{ мм}$ . Рабочая температура  $900 \text{ }^\circ\text{C}$ . Удельное сопротивление нихрома  $1.2 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$ ,  $T_{\text{кр}} (20 \text{ }^\circ\text{C}) = 2 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ .

7. Определить концентрацию свободных электронов в меди. Плотность меди  $8.9 \text{ Мг/м}^3$ , атомная масса –  $64 \text{ а.е.м.}$

8. Вычислить удельную теплопроводность меди при комнатной температуре, если ее удельное сопротивление равно  $0.017 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$ .

9. Определить изменение теплопроводности алюминия при изменении температуры от  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ . Удельное сопротивление алюминия –  $0.028 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$ ,  $T_{\text{кр}} (20 \text{ }^\circ\text{C}) = 4.2 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ .

10. Определить возможность образования оксидной изоляции в виде сплошного слоя на железе, если плотность железа –  $7.9 \text{ Мг/м}^3$ , а оксида –  $5.3 \text{ Мг/м}^3$ . Атомная масса железа  $56 \text{ а.е.м.}$ , кислорода  $16 \text{ а.е.м.}$

11. Удельное сопротивление  $\text{Cu}$  проводника, содержащего  $0.5 \text{ ат.}\%$   $\text{In}$ , равно  $0.0234 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$ . Определить концентрацию атомов индия в медном сплаве с удельным сопротивлением  $0.0298 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$ , полагая, что все остаточное сопротивление обусловлено рассеянием на примесных атомах индия. Концентрацию атомов меди принять равной  $8.5 \times 10^{28} \text{ м}^{-3}$ .

12. Температура сверхпроводящего перехода  $T_c$  для олова в отсутствие магнитного поля равна  $3.7 \text{ K}$ , а критическая напряженность магнитного поля  $H_c$  при температуре абсолютного нуля составляет  $2.4 \times 10^4 \text{ А/м}$ . Рассчитать максимально допустимое значение тока  $I_c$  при температуре  $T = 2 \text{ K}$  для провода диаметром  $d = 1 \text{ мм}$ , изготовленного из сверхпроводящего олова.

13. Один спай термопары помещен в печь с температурой  $200 \text{ }^\circ\text{C}$ , другой находится при температуре  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Вольтметр показывает при этом термо-ЭДС  $1.8 \text{ мВ}$ . Чему равна термо-ЭДС, если второй (холодный) спай термопары поместить в сосуд: а) с тающим льдом; б) с кипящей водой? Относительную удельную термо-ЭДС во всем температурном диапазоне  $0 - 200 \text{ }^\circ\text{C}$  считать постоянной.

14. При измерении температуры в печи с помощью термопары  $\text{Pt}(90\% \text{ Pt}-10\% \text{ Rh})$  вольтметр показал  $7.82 \text{ мВ}$ . Температура холодного спая термопары была стабилизирована на уровне  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ . Пользуясь градуировочной таблицей для данной термопары, определить температуру в печи.

| $T, \text{ }^\circ\text{C}$ |    | 20   | 100  | 200  | 300  | 400  | 500  | 600  | 700  | 800  | 900  | 1000 |
|-----------------------------|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Термо-ЭДС, мВ               | ,0 | 0,11 | 0,65 | 1,44 | 2,33 | 3,25 | 4,23 | 5,24 | 6,27 | 7,34 | 8,47 | 9,61 |

15. Сопротивление вольфрамовой нити электрической лампочки при  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  равно  $35 \text{ Ом}$ . Определить температуру нити лампочки, если известно, что при ее включении в сеть напряжением  $220 \text{ В}$  в установившемся режиме по нити проходит ток  $0.6 \text{ А}$ . Температурный коэффициент сопротивления вольфрама при  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  можно принять равным  $5 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ .

### (в) Магнитные материалы

1. Магнитная индукция в медном проводе при воздействии на него однородного магнит-

- ного поля напряженностью  $1000 \text{ А/м}$  равна  $1.26 \text{ мТл}$ . Определить диамагнитную восприимчивость меди и намагниченность.
2. Магнитный момент атома никеля равен  $0.6$  магнетона Бора. Определить магнитную индукцию насыщения металлического никеля, если его плотность  $8960 \text{ кг/м}^3$ .
  3. Магнитная восприимчивость висмута равна  $-1.886 \cdot 10^{-4}$ . Определить магнитную индукцию в висмуте при напряженности поля  $H = 10^4 \text{ А/м}$ .
  4. В однородное магнитное поле индукцией  $B_0$  перпендикулярно магнитному потоку помещена плоскопараллельная пластина из однородного изотропного ферромагнетика с магнитной проницаемостью  $\mu$ . Определить магнитную индукцию  $B_1$  и напряженность магнитного поля  $H_1$  внутри ферромагнетика.
  5. В сердечнике трансформатора на частоте  $50 \text{ Гц}$  потери на гистерезис при индукции магнитного поля  $0.1$  и  $0.5 \text{ Тл}$  составляют  $0.15$  и  $1.97 \text{ Вт/кг}$  соответственно. Определить потери на гистерезис на частоте  $400 \text{ Гц}$  при индукции магнитного поля  $0.8 \text{ Тл}$ .
  6. В сердечнике трансформатора суммарные удельные магнитные потери при частоте  $2 \text{ кГц}$  равны  $4 \text{ Вт/кг}$ . Предполагая равенство магнитных потерь на гистерезис и на вихревые токи, определить удельные магнитные потери в сердечнике на вихревые токи на частоте  $200 \text{ Гц}$ , если максимальная магнитная индукция в нем та же, что и на частоте  $2 \text{ кГц}$ .
  7. На частоте  $50 \text{ Гц}$  удельные потери на вихревые токи в сердечнике из электротехнической стали при индукции магнитного поля  $B = 1.2 \text{ Тл}$  составляют  $6.5 \text{ Вт/кг}$ . Определить частоту поля, при которой полные потери на вихревые токи в сердечнике равны  $36.1 \text{ Вт}$  при магнитной индукции  $0.5 \text{ Тл}$  и массе сердечника  $m = 0.5 \text{ кг}$ .
  8. В сердечнике трансформатора суммарные удельные магнитные потери на гистерезис и на вихревые токи при частотах  $1$  и  $2 \text{ кГц}$  составляют соответственно  $2$  и  $6 \text{ Вт/кг}$  (при неизменной максимальной индукции в сердечнике). Рассчитать магнитные потери на гистерезис в сердечнике при частоте  $4 \text{ кГц}$ .
  9. Кольцевой ферритовый сердечник размерами  $R \times r \times h = 16 \times 8 \times 8 \text{ мм}$ , изготовленный из феррита марки  $20000 \text{ НМ}$ , на частоте  $0.01 \text{ МГц}$  имеет  $\text{tg} \delta_M = 0.5$  и эквивалентное сопротивление потерь  $201 \text{ Ом}$ . На сердечник намотана обмотка из  $20$  витков. Найти магнитную проницаемость сердечника.
  10. Кольцевой сердечник размерами  $16 \times 8 \times 8 \text{ мм}$  и магнитной проницаемостью  $\mu = 1000$  имеет обмотку, содержащую  $100$  витков. Измерениями установлено, что на частоте  $0.1 \text{ МГц}$  при токе  $100 \text{ мА}$  в катушке выделяется активная мощность  $0.313 \text{ Вт}$ , а в отсутствие магнитного сердечника при том же токе в обмотке выделяется лишь  $0.1 \text{ Вт}$ . Определить тангенс угла магнитных потерь сердечника.
  11. Определить силу тока, которую необходимо пропустить через обмотку, содержащую  $100$  витков, для размагничивания кольцевого ферромагнитного сердечника, если его коэрцитивная сила равна  $100 \text{ А/м}$ . Средний диаметр кольца  $20 \text{ мм}$ .
  12. Определить магнитную проницаемость сердечника катушки, изготовленного из высоконикелевого пермаллоя, если ее индуктивность равна  $1.6 \text{ Гн}$ . Катушка представляет собой кольцевой магнитный сердечник размерами  $R \times r \times h = 30 \times 20 \times 10 \text{ мм}$  с обмоткой, состоящей из  $200$  витков.
  13. Катушка с ферритовым тороидальным сердечником диаметром  $10 \text{ мм}$  имеет индуктивность  $0.12 \text{ Гн}$  и содержит  $1000$  витков. Определить магнитную индукцию в сердечнике, если ток в катушке равен  $65.4 \text{ мА}$ .
  14. Найти индуктивность соленоида, имеющего  $200$  витков, намотанных на диэлектрическое основание, длиной  $l = 50 \text{ мм}$ . Площадь поперечного сечения основания  $S = 50 \text{ мм}^2$ . Далее, в соленоид введен цилиндрический ферритовый сердечник с магнитной проницаемостью  $\mu = 400$ . Определить радиус основания соленоида, чтобы при сохранении его длины индуктивность катушки осталась той же.
  15. Определить, сколько витков необходимо намотать на магнитный сердечник длиной  $100 \text{ мм}$  и диаметром  $8 \text{ мм}$ , чтобы получить индуктивность катушки  $L = 20 \text{ мГн}$ . Магнитную проницаемость сердечника считать равной  $500$ .

*(г) Полупроводниковые материалы*

1. Определить положение энергетического уровня в энергиях  $kT$  от энергии Ферми, вероятность заполнения которого электронами равна  $6.74 \times 10^{-3}$ .
2. Вычислить ширину запрещенной зоны кремния, если собственная концентрация носителей заряда в кремнии при  $T = 300$  К равна  $7 \times 10^{15} \text{ м}^{-3}$ , а эффективные массы плотности состояний  $m_c = 1.05 m_0$ ,  $m_v = 0.56 m_0$  ( $m_0$  – масса электрона).
3. Концентрация дырок в полупроводнике равна  $10^{14} \text{ м}^{-3}$ . Определить концентрацию электронов в этом полупроводнике, если известно, что собственная концентрация носителей заряда при этой же температуре равна  $10^{16} \text{ м}^{-3}$ .
4. Найти полную концентрацию ионизированных примесей  $N_I$  в полупроводнике  $n$ -типа, если концентрация компенсирующих акцепторов  $N_A$ , а концентрация основных носителей заряда  $n$ .
5. Вычислить ширину запрещенной зоны GaAs, если собственная концентрация носителей заряда в арсениде галлия при температуре 300 К равна  $1.72 \times 10^{12} \text{ м}^{-3}$ , а эффективные массы плотности состояний  $m_c = 0.067 m_0$ ,  $m_v = 0.48 m_0$  ( $m_0$  – масса свободного электрона).
6. Определить концентрацию носителей заряда полупроводника  $n$ -типа, если его удельное сопротивление равно  $1.25 \times 10^{-3} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ , а подвижность носителей  $\mu_n = 0.5 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ .
7. Вычислить отношение полного тока через полупроводник к току, обусловленному дырочной составляющей: а) в собственном германии; б) в германии  $n$ -типа с удельным сопротивлением  $0.1 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ . Принять собственную концентрацию носителей заряда при комнатной температуре  $n_i = 2.1 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$ , подвижность электронов  $\mu_n = 0.39 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ , подвижность дырок  $\mu_p = 0.19 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ .
8. К стержню из GaAs длиной 50 мм приложено напряжение 50 В. Определить подвижность электронов, если время прохождения электроном всего образца равно 55.5 мкс.
9. Эпитаксиальный слой арсенида галлия, легированный серой, имеет при комнатной температуре удельное сопротивление  $5 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ . Определить подвижность электронов, если концентрация доноров в слое  $1.56 \times 10^{21} \text{ м}^{-3}$ .
10. Через пластину кремния с удельным сопротивлением  $0.01 \text{ Ом}\cdot\text{м}$  проходит электрический ток плотностью  $10 \text{ мА}/\text{мм}^2$ . Найти подвижности электронов и дырок, если их средние скорости дрейфа равны  $14 \text{ м}/\text{с}$  и  $5 \text{ м}/\text{с}$  соответственно.
11. По истечении времени  $t_1 = 10^{-4} \text{ с}$  после прекращения генерации электронно-дырочных пар, равномерной по объему полупроводника, избыточная концентрация носителей заряда оказалась равной  $n$ . Определить время, по истечении которого избыт. концентрация носителей заряда станет равной  $0.1n$ . Время жизни неравновесных носит. заряда равно  $0.39 \text{ мс}$ .
12. Вычислить коэффициент диффузии дырок в германии  $n$ -типа, если диффузионная длина дырок равна  $0.693 \text{ мм}$ , а время жизни неосновных носителей заряда  $\tau_p = 10^{-4} \text{ с}$ .
13. Вычислите энергию фотонов для излучения с  $\lambda = 600 \text{ нм}$ . Укажите, какие полупроводники прозрачны для этого излучения, а какие поглощают его.
14. Прямоугольный образец полупров.  $n$ -типа с удельной проводимостью  $4762 \text{ См}/\text{м}$  и размерами  $a = 500 \text{ мм}$ ,  $b = 5 \text{ мм}$  и  $h = 1 \text{ мм}$  помещен в магнитное поле с индукцией  $B = 0.5 \text{ Тл}$ . Вектор магнитной индукции перпендикулярен плоскости образца. Под действием напряжения  $U = 0.42 \text{ В}$ , приложенного вдоль образца, по нему протекает некоторый ток. Измерения показывают ЭДС Холла  $U_H = 6.25 \text{ мВ}$ . Найти величину тока, подвижность и концентрацию носителей заряда для этого полупроводника, полагая, что электропроводность обусловлена носителями только одного знака.
15. Определить удельное сопротивление и концентрацию электронов в Si  $n$ -типа, если подвижность электронов равна  $0.117 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$ , а коэффициент Холла  $R_H = 2.1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{Кл}$ .

## Рейтинг – план дисциплины

## «Электрорадиоматериалы»

(название дисциплины согласно рабочему учебному плану)

направление 03.03.03 Радиофизика, направленность (профиль) «Цифровые технологии обработки информации»

Курс 4, семестр 2, 2019/2020 учебный год.

Количество часов по учебному плану 72, в т.ч. контактная работа 34, самостоятельная работа (включая подготовку к экзамену) 36, ФКР - 2.

Преподаватели:

лекции и практические занятия: Бахтизин Рауф Загидович, д.ф.-м.н., профессор.Кафедра: физической электроники и нанофизики

| Виды учебной деятельности студентов  | Балл за конкретное задание | Число заданий за семестр | Баллы       |              |
|--|----------------------------|--------------------------|-------------|--------------|
|  |                            |                          | Минимальный | Максимальный |
| <b>Модуль 1 « Проводники и полупроводники»</b>   |                            |                          |             |              |
| <b>Текущий контроль</b>  |                            |                          |             |              |
| Тест 1   | 4                          | 5                        | 0           | 20           |
| <b>Рубежный контроль</b>   |                            |                          |             |              |
| 1. Контрольная работа №1 (задачи)  | 5                          | 3                        | 0           | 15           |
| ВСЕГО ПО МОДУЛЮ 1  |                            |                          | <b>0</b>    | <b>35</b>    |
| <b>Модуль 2 « Диэлектрики и органические материалы; магнитные материалы и материалы спинтроники»</b> |                            |                          |             |              |
| <b>Текущий контроль</b>  |                            |                          |             |              |
| 3. Контрольная работа №2 (задачи)  | 5                          | 4                        | 0           | 20           |
| <b>Рубежный контроль</b>   |                            |                          |             |              |
| 1. Тест 2  | 3                          | 5                        | 0           | 15           |
| ВСЕГО ПО МОДУЛЮ 2  |                            |                          | <b>0</b>    | <b>35</b>    |
| <b>Поощрительные баллы</b>   |                            |                          |             |              |
| Участие в конференциях (ВКНСФ) (баллы)   |                            |                          | 0           | <b>10</b>    |
| <b>Итого поощрительных баллов</b>  |                            |                          | <b>0</b>    | <b>10</b>    |
| <b>Посещаемость (баллы вычитаются из общей суммы набранных баллов)</b>                               |                            |                          |             |              |
| 1. Посещение лекционных занятий  |                            |                          | <b>0</b>    | <b>-6</b>    |
| 2. Посещение практических занятий  |                            |                          | <b>0</b>    | <b>-10</b>   |
| <b>Итоговый контроль</b>   |                            |                          |             |              |
| <b>Экзамен</b>   | 9 (вопрос билета)          | 2 вопроса                | Макс. 18 б. | <b>30</b>    |
|  | 3 (доп. вопрос)            | 2                        | Макс. 6 б.  |              |
|  | 6 (задача)                 | 1                        | Макс. 6 б.  |              |

Утверждено на заседании кафедры физической электроники и нанофизики

Протокол № 1 от «30» августа 2019 г.

Зав. кафедрой

/Бахтизин Р.З. /

Преподаватели

/ Бахтизин Р.З. /