

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»



УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета радиотехники
и электроники
 / В.А. Небольсин /
31 августа 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины
«Функциональная электроника»

Направление подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года / 4 года и 11 мес.

Форма обучения очная / заочная

Год начала подготовки 2020

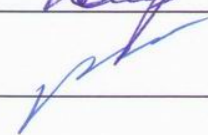
Автор программы

 Т.В. Свистова

И.о. заведующего кафедрой
полупроводниковой электроники
и нанoeлектроники

 А.В. Строгонов

Руководитель ОПОП

 А.В. Арсентьев

Воронеж 2021

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины: изучение физических основ функциональной электроники; основных физических процессов, лежащих в основе действия приборов функциональной электроники; конструкции, параметров, характеристики и области применения приборов и устройств функциональной электроники.

1.2. Задачи освоения дисциплины:

- изучение физических основ работы приборов функциональной электроники, методов анализа физических процессов в приборах и расчета их параметров и характеристик;
- выявление связей между принципами работы, параметрами приборов и свойствами материалов, технологическими процессами.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина Б1.В.18 «Функциональная электроника» относится к дисциплинам части блока Б1 учебного плана, формируемой участниками образовательных отношений.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Функциональная электроника» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-6: готовность к применению современных технологических процессов и технологического оборудования на этапах разработки и производства микроэлектронных приборов и устройств твердотельной электроники;

ПК-7: способность идентифицировать новые области исследований, новые проблемы в сфере физики, проектирования, технологии изготовления и применения микроэлектронных приборов и устройств.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-6	знать конструкции, параметры, характеристики и области применения приборов и устройств функциональной электроники;
	уметь применять полученные знания при теоретическом анализе, компьютерном моделировании и экспериментальном исследовании физических процессов, лежащих в основе принципов работы приборов и устройств функциональной электроники;
	владеть информацией об областях применения и перспективах развития приборов и устройств функциональной электроники.
ПК-7	знать физические основы функциональной электроники: динамические неоднородности; континуальные среды; генераторы динамических неоднородностей; устройство управления динамическими неоднородностями; детектирование динамических неоднородностей; основные физические процессы, лежа-

	щие в основе действия приборов функциональной электроники;
	уметь использовать аппарат электродинамики сплошных сред для анализа работы приборов функциональной электроники; использовать аппарат квантовой механики и электродинамики сплошных сред для расчета характеристик приборов функциональной электроники;
	владеть методами экспериментальных исследований параметров и характеристик приборов и устройств функциональной электроники.

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины «Функциональная электроника» составляет 5 зачетных единиц.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

Очная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		7
Аудиторные занятия (всего)	66	66
В том числе:		
Лекции	34	34
Практические занятия (ПЗ)	16	16
Лабораторные работы (ЛР)	16	16
Самостоятельная работа	78	78
Курсовая работа	+	+
Часы на контроль	36	36
Вид промежуточной аттестации – экзамен	+	+
Общая трудоемкость	час	180
	зач. ед.	5

Заочная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		8
Аудиторные занятия (всего)	16	16
В том числе:		
Лекции	6	6
Практические занятия (ПЗ)	4	4
Лабораторные работы (ЛР)	6	6
Самостоятельная работа	155	155
Курсовая работа	+	+
Часы на контроль	9	9
Вид промежуточной аттестации – экзамен	+	+
Общая трудоемкость	час	180
	зач. ед.	5

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего час
1	Функциональная электроника. Основные понятия	Предмет дисциплины и ее задачи. Основные понятия функциональной электроники. Основные направления функциональной микроэлектроники. Модель прибора функциональной электроники. <i>Самостоятельно.</i> Обзор физических явлений и процессов функциональной микроэлектроники.	2	-	-	10	12
2	Функциональная акустоэлектроника	Физические основы функциональной акустоэлектроники: принципы взаимного преобразования акустических и электрических сигналов, волны Рэлея, Лява, Стоунли, Лэмба, Гуляева-Блюштейна. Методы возбуждения и приема акустических волн. Управление распространением акустических волн. Приборы на поверхностных акустических волнах (ПАВ). Конструирование многофункциональных устройств на ПАВ. <i>Самостоятельно.</i> Приборы функциональной акустоэлектроники: линии задержки, генераторы на ПАВ, конвольверы, устройства памяти, Фурье-процессоры, пьезоэлектрические преобразователи..	6	4	-	12	22
3	Функциональная полупроводниковая электроника	Физические основы работы приборов с зарядовой связью (ПЗС). Электрическая объемная неустойчивость в многодолинных полупроводниках. Образование доменов сильного поля; условия их существования и продвижения. Перенос носителей заряда в аморфных полупроводниках, шнурование тока. Квантовые размерные эффекты в полупроводниках. <i>Самостоятельно.</i> Приборы функциональной полупроводниковой электроники: аналоговые процессоры на ПЗС-структурах, цифровые процессоры на ПЗС-структурах, запоминающие устройства на ПЗС-структурах, БИСПИН-приборы, приборы на волнах пространственного заряда, приборы на основе эффекта Ганна.	6	4	-	12	22
4	Функциональная оптоэлектроника	Физические основы оптоэлектроники. Фотоэлектрические явления и излучательная рекомбинация в полупроводниках. Основные типы некогерентных источников оптического излучения. Электролюминесцентные конденсаторы, светоизлучающие диоды. Базовые конструкции СИД. Фотоприемники с внутренним фотоэффектом и их сравнительные характеристики: фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы, фототиристоры. <i>Самостоятельно.</i> ВОЛС и их преимущества, используемые типы волокон, методы изготовления оптических световодов. Модуляторы, дефлекторы и преобразователи электрических сигналов.	8	4	16	12	40
5	Функциональная магнитоэлектроника	Физические основы магнитоэлектроники. Магнитоупорядоченные вещества и их магнитные характеристики. Обменное взаимодействие и магнитная анизотропия. Цилиндрические магнитные домены. Доменные границы. Генерация, деление, перемещение и детектирование цилиндрических магнитных доменов. Магнитоэлектронные запоминающие устройства и носители информации. Процессоры сигналов на цилиндрических магнитных доменах (ЦМД). Процессоры сигналов на магнитостатических волнах. <i>Самостоятельно.</i> Запоминающие устройства на (ЦМД). Запоминающие устройства на магнитных вихрях. Магнитные полупроводники и устройства на их основе.	6	4	-	10	20
6	Функциональная криоэлектроника	Физические основы криоэлектроники. Основные направления криоэлектроники. Особенности физических процессов в полупроводниках при низких температурах. <i>Самостоятельно.</i> Приборы криоэлектроники. Приборы на эффекте Джозефсона. Логические элементы на сверхпроводниках.	4	-	-	12	16
7	Функциональная молекулярная электроника и биоэлектроника	Физические основы функциональной молекулярной электроники. Электронные процессы в сложных органических молекулах. <i>Самостоятельно.</i> Молекулярные устройства. Автоволновая электроника. Биоэлектроника	2	-	-	10	12
Всего			34	16	16	78	144
Контроль							36
Итого							180

заочная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего час
1	Функциональная электроника. Основные понятия	Предмет дисциплины и ее задачи. Основные понятия функциональной электроники. Основные направления функциональной микроэлектроники. Модель прибора функциональной электроники. Обзор физических явлений и процессов функциональной микроэлектроники.	-	-	-	22	22
2	Функциональная акустоэлектроника	Физические основы функциональной акустоэлектроники: принципы взаимного преобразования акустических и электрических сигналов, волны Рэлея, Лява, Стоунли, Лэмба, Гуляева-Блюштейна. Методы возбуждения и приема акустических волн. Управление распространением акустических волн. Приборы на поверхностных акустических волнах (ПАВ). Конструирование многофункциональных устройств на ПАВ. Приборы функциональной акустоэлектроники: линии задержки, генераторы на ПАВ, конвольверы, устройства памяти, Фурье-процессоры, пьезоэлектрические преобразователи..	2	4	-	22	28
3	Функциональная полупроводниковая электроника	Физические основы работы приборов с зарядовой связью (ПЗС). Электрическая объемная неустойчивость в многодолинных полупроводниках. Образование доменов сильного поля; условия их существования и продвижения. Перенос носителей заряда в аморфных полупроводниках, шнурование тока. Квантовые размерные эффекты в полупроводниках. Приборы функциональной полупроводниковой электроники: аналоговые процессоры на ПЗС-структурах, цифровые процессоры на ПЗС-структурах, запоминающие устройства на ПЗС-структурах, БИСПИН-приборы, приборы на волнах пространственного заряда, приборы на основе эффекта Ганна.	2	-	-	22	24
4	Функциональная оптоэлектроника	Физические основы оптоэлектроники. Фотоэлектрические явления и излучательная рекомбинация в полупроводниках. Основные типы некогерентных источников оптического излучения. Электролюминесцентные конденсаторы, светоизлучающие диоды. Базовые конструкции СИД. Фотоприемники с внутренним фотоэффектом и их сравнительные характеристики: фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы, фототиристоры. ВОЛС и их преимущества, используемые типы волокон, методы изготовления оптических световодов. Модуляторы, дефлекторы и преобразователи электрических сигналов.	2	-	6	22	30
5	Функциональная магнитоэлектроника	Физические основы магнитоэлектроники. Магнитоупорядоченные вещества и их магнитные характеристики. Обменное взаимодействие и магнитная анизотропия. Цилиндрические магнитные домены. Доменные границы. Генерация, деление, перемещение и детектирование цилиндрических магнитных доменов. Магнитоэлектронные запоминающие устройства и носители информации. Процессоры сигналов на цилиндрических магнитных доменах (ЦМД). Процессоры сигналов на магнитостатических волнах. Запоминающие устройства на (ЦМД). Запоминающие устройства на магнитных вихрях. Магнитные полупроводники и устройства на их основе.	-	-	-	22	22
6	Функциональная криоэлектроника	Физические основы криоэлектроники. Основные направления криоэлектроники. Особенности физических процессов в полупроводниках при низких температурах. <i>Самостоятельно.</i> Приборы криоэлектроники. Приборы на эффекте Джозефсона. Логические элементы на сверхпроводниках.	-	-	-	22	22
7	Функциональная молекулярная электроника и биоэлектроника	Физические основы функциональной молекулярной электроники. Электронные процессы в сложных органических молекулах. Молекулярные устройства. Автоволновая электроника. Биоэлектроника	-	-	-	23	23
Всего			6	4	6	155	171
Контроль							9
Итого							180

5.2 Перечень лабораторных работ

1. Исследование спектрального состава излучения полупроводниковых светодиодов
2. Измерение параметров и характеристик фотоприемников (фоторезистор, фототиристор)

3. Исследование спектральных характеристик $p-i-n$ -фотодиодов (LabVIEW)
4. Измерение характеристик диодных оптопар.

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины «Функциональная электроника» предусматривает выполнение курсовой работы в 7 семестре для очной формы обучения, в 8 семестре для заочной формы обучения.

Примерная тематика курсовой работы: «Расчет акустоэлектронных устройств».

Курсовая работа по дисциплине «Функциональная электроники» предусматривает расчет конкретного устройства функциональной акустоэлектроники, поэтому в курсовую работу входит разработка топологии прибора, выбор его законченной конструкции и расчет основных параметров.

Каждый студент получает индивидуальное задание на курсовую работу. В задании приводится наименование темы и исходные данные для проектирования топологии и структуры прибора функциональной акустоэлектроники.

Задачи, решаемые при выполнении курсовой работы:

- научиться самостоятельно работать с технической и научной литературой;
- проработать вопросы теории и конструирования устройств функциональной электроники;
- обоснованно подходить к выбору технических решений при расчете прибора;
- критически оценивать результаты, полученные при расчете топологии прибора, его параметров и характеристик;
- уметь четко и грамотно излагать свои мысли и наглядно представлять результаты расчетов.

Курсовая работа включает в себя графическую часть и расчетно-пояснительную записку.

Учебным планом по дисциплине «Функциональная электроника» не предусмотрено выполнение контрольной работы.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;
«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПК-6	знать конструкции, параметры, характеристики и области применения приборов и устройств функциональной электроники;	Тест Контрольные задания для защиты лабораторных работ	Выполнение теста на 40 – 100 % Ответ на 3 - 5 заданий варианта из 5	В тесте менее 40 % правильных ответов Решено менее 3 заданий из 5
	уметь применять полученные знания при теоретическом анализе, компьютерном моделировании и экспериментальном исследовании физических процессов, лежащих в основе принципов работы приборов и устройств функциональной электроники;	Тест Контрольные задания для защиты лабораторных работ	Выполнение теста на 40 – 100 % Ответ на 3-5 заданий варианта из 5	В тесте менее 40 % правильных ответов Решено менее 3 заданий из 5
	владеть информацией об областях применения и перспективах развития приборов и устройств функциональной электроники.	Тест Контрольные задания для защиты лабораторных работ	Выполнение теста на 40 – 100 % Ответ на 3 - 5 заданий варианта из 5	В тесте менее 40 % правильных ответов Решено менее 3 заданий из 5
ПК-7	знать физические основы функциональной электроники: динамические неоднородности; континуальные среды; генераторы динамических неоднородностей; устройство управления динамическими неоднородностями; детектирование динамических неоднородностей; основные физические процессы, лежащие в основе действия приборов функциональной электроники;	Тест Контрольные задания для защиты лабораторных работ	Выполнение теста на 40 – 100 % Ответ на 3 - 5 заданий варианта из 5	В тесте менее 40 % правильных ответов Решено менее 3 заданий из 5
	уметь использовать аппарат электродинамики сплошных сред для анализа работы приборов функциональной электроники; использовать аппарат квантовой механики и электродинамики сплошных сред для расчета характеристик приборов функциональной электроники;	Соблюдение правил техники безопасности при выполнении лабораторных работ; учет погрешности измерений. Обработка результатов измерений, анализ полученных данных	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть методами экспериментальных исследований параметров и характеристик приборов и устройств функциональной электроники.	Соблюдение правил техники безопасности при выполнении лабораторных работ; учет погрешности измерений. Обработка результатов измерений, анализ полученных данных	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 7 семестре для очной формы обучения, в 8 семестре для заочной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;
«хорошо»;

«удовлетворительно»;
«неудовлетворительно»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл	Неудовл
ПК-6	знать конструкции, параметры, характеристики и области применения приборов и устройств функциональной электроники;	Тест	Выполнение теста на 90 – 100 %	Выполнение теста на 80 – 90 %	Выполнение теста на 70 – 80 %	В тесте менее 70 % правильных ответов
	уметь применять полученные знания при теоретическом анализе, компьютерном моделировании и экспериментальном исследовании физических процессов, лежащих в основе принципов работы приборов и устройств функциональной электроники;	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть информацией об области применения и перспективах развития приборов и устройств функциональной электроники.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-7	знать физические основы функциональной электроники: динамические неоднородности; континуальные среды; генераторы динамических неоднородностей; устройство управления динамическими неоднородностями; детектирование динамических неоднородностей; основные физические процессы, лежащие в основе действия приборов функциональной электроники;	Тест	Выполнение теста на 90 – 100 %	Выполнение теста на 80 – 90 %	Выполнение теста на 70 – 80 %	В тесте менее 70 % правильных ответов
	уметь использовать аппарат электродинамики сплошных сред для анализа работы приборов функциональной электроники; использовать аппарат квантовой механики и электродинамики сплошных сред для расчета характеристик приборов функциональной электроники;	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть методами экспериментальных исследований параметров и характеристик приборов и устройств функциональной электроники.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1. Функциональная электроника - это

1) область электроники, связанная с исследованиями поведения заряженных частиц в твердом теле под воздействием электрических, магнитных, электромагнитных, тепловых полей, а также с созданием приборов и устройств в микроминиатюрном исполнении с использованием групповой технологии изготовления;

2) область интегральной электроники, в которой изучается возникновение и взаимодействие динамических неоднородностей в континуальных средах в совокупности с физическими полями, а также создаются приборы и устройства на основе динамических неоднородностей для целей обработки, генерации и хранения информации;

3) область электроники, которая решает задачи, связанные с изучением свойств полупроводников, диэлектриков, магнитных материалов, влиянием на эти свойства примесей и особенностей структуры, изучением свойств поверхностей и границ раздела между слоями различных материалов; созданием в кристалле областей с разными типами проводимости; созданием гетеропереходов и многослойных структур; созданием функциональных устройств микронных и субмикронных размеров, а также способами измерения их параметров.

2. Динамическая неоднородность это –

1) локальный объем на поверхности или внутри среды с отличными от ее окружения свойствами, которая не имеет внутри себя статических неоднородностей и генерируется в результате определенных физико-химических процессов;

2) обедненный подвижными носителями заряда слой на границе раздела двух полупроводников с разным типом проводимости;

3) двойной электрический слой, образующийся за счет нескомпенсированного объемного заряда.

3. Динамическими неоднородностями в оптоэлектронике являются

1) сгустки фотонов;

2) цилиндрические магнитные домены;

3) фононы.

4. Динамическими неоднородностями в акустоэлектронике являются

1) зарядовые пакеты (сгустки) электронов или дырок;

2) цилиндрические магнитные домены;

3) фононы.

5. Динамическими неоднородностями в электронике переноса заряда являются

1) зарядовые пакеты (сгустки) электронов или дырок

2) сгустки фотонов;

3) явления, проявляющиеся при низких криогенных температурах.

6. Динамическими неоднородностями в магнитоэлектронике являются

1) явления, проявляющиеся при низких криогенных температурах;

2) цилиндрические магнитные домены;

3) зарядовые пакеты (сгустки) электронов или дырок;

7. Оптрон – это прибор

1) в котором при обработке информации происходит преобразование электрических сигналов в оптические и обратно;

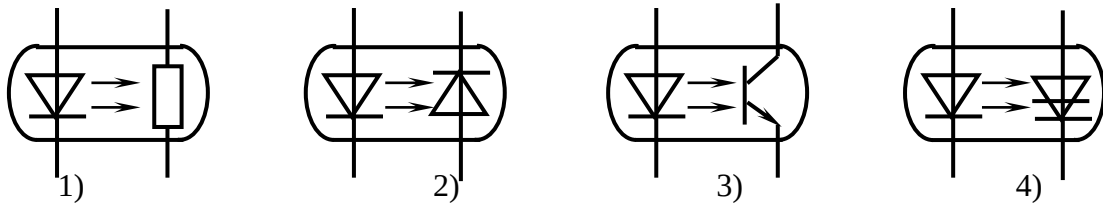
2) в котором при обработке информации происходит преобразование оптических сигналов в электрические и обратно;

3) в котором основным физическим процессом является перераспределение отдельных порций заряда под действием внешних управляющих сигналов.

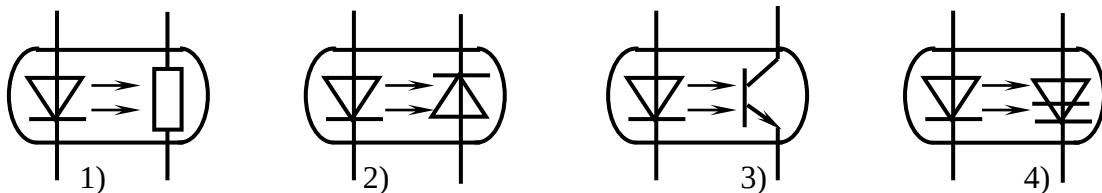
8. Основное назначение оптронов состоит в:

- 1) повышение входного сопротивления;
- 2) усилении сигналов;
- 3) гальванической развязке цепей;
- 4) понижении выходного сопротивления.

9. Условное графическое обозначение резисторного оптрона:



10. Условное графическое обозначение тиристорного оптрона:



7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Нормально вектору напряженности однородного электрического поля $E_0 = 100$ В/м расположена пластина изотропного диэлектрика с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 2$. Определить:

а) напряженность поля E и электрическое смещение (электрическую индукцию) D внутри пластины;

б) поляризованность диэлектрика P и поверхность связанных зарядов σ .

2. Вычислить поляризованность монокристалла каменной соли, считая, что смещение ионов под действием электрического поля от положения равновесия составляет 1 % расстояния между ближайшими соседними ионами. Элементарная ячейка кристалла имеет форму куба, расстояние между соседними ионами $a = 0,28$ нм.

3. При тех же условиях, что и в предыдущей задаче, определить напряженность электрического поля, действующего на монокристалл каменной соли, если её диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 5,65$. Вычислить коэффициент упругой связи ионов $K_{упр}$ в кристалле, полагая, что напряженность внутреннего поля равна напряженности внешнего поля.

4. Определить соотношение концентрации электронов в долинах диода Ганна, если известна эффективная масса электронов в боковой долине, равная $m_{эфф2} = 1,2m_0$, и в центральной долине - $m_{эфф1} = 0,07m_0$, интервал между минимумами энергии в долинах равен $\Delta E = 0,36$ эВ, при температуре $T = 300$ К.

5. Определить максимальную выходную мощность, обеспечиваемую генератором на диоде Ганна на основе GaAs, если он включен в камеру с активной проводимостью нагрузки $0,01$ Ом⁻¹ и работает в пролетном режиме на рабочей частоте 10 ГГц. Длина образца диода 8 мкм, рабочее напряжение 8,4 В. При изменении напряжения на диоде от 4 В до 8,4 В величина тока падала с 400 мА до 350 мА.

6. В генераторном режиме работы диода Ганна, домен возникает при постоянном напряжении большем порогового напряжения $U_0 > U_{пор}$. Найти частоту генерации в пролет-

ном режиме, если известны величины: пороговое напряжение 0,21 В; скорость носителей в пороговом режиме $6 \cdot 10^3$ м/с, скорость насыщения $5 \cdot 10^3$ м/с.

7. Определить постоянную времени релаксации объёмного заряда и определить существование домена в диоде Ганна на основе GaAs n-типа при $L = 1$ мкм, скорости домена $v_d = 10^7$ см/с и исходной концентрации $n_0 = 2 \cdot 10^{15}$ см⁻³, $\varepsilon = 12,5$; дрейфовая подвижность $\mu_d = 0,1$ м²/В·с.

8. В диоде Ганна скорость домена в пролетном режиме $2 \cdot 10^6$ м/с, время пролета в образце $5 \cdot 10^{-10}$ с, площадь сечения образца прибора $23 \cdot 10^{-4}$ см², общее число электронов $2 \cdot 10^{15}$ см⁻³, подвижность электронов в слабом поле составляет $\mu_1 = 6000$ см²/В·с. Найти сопротивление потерь образца в слабом поле.

9. Диамагнитная восприимчивость меди $\chi_{Cu} = -9,5 \cdot 10^{-6}$. Определить намагниченность и магнитную индукцию в медном проводе при воздействии на него однородного магнитного поля напряженностью $H = 100$ А/м. Укажите, как ориентированы векторы намагниченности и магнитной индукции друг относительно друга.

10. Магнитная восприимчивость никеля при температурах 400 и 800 °С равна соответственно $1,25 \cdot 10^{-3}$ и $1,14 \cdot 10^{-4}$. Определить температуру Кюри и магнитную восприимчивость никеля при температуре $T = 600$ °С.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Напишите структурную формулу литиевой феррошпинели. Определите магнитные моменты ферритообразующих катионов. Рассчитайте магнитный момент литиевой феррошпинели на формульную единицу.

2. Напишите формулу замещенного феррита никеля, если замещение выполнено с целью уменьшения константы анизотропии.

3. Рассчитайте магнитный момент феррограната $Y_{0,25}Gd_{0,75}Fe_5O_{12}$

4. Кремниевый лавинный фотодиод имеет коэффициент умножения $M = 20$ на длине волны 0,82 мкм при этом квантовый выход 50 % и темновой ток 1 нА. Определить число падающих фотонов γ_p на этой длине волны в секунду, обеспечивающее выходной ток прибора (после умножения), больший уровня темнового тока.

5. Что такое домен, доменная стенка? Сравните размеры элементарной ячейки, кристаллита, домена, доменной стенки.

6. Почему несовершенства реального кристалла снижают магнитную проницаемость ферромагнетиков?

7. Чем объяснить высокие значения проницаемости аморфных сплавов?

8. Чем объяснить быстрый спад проницаемости в спектрах металлических ферромагнетиков?

9. Как повысить частотный диапазон применимости металлических ферромагнетиков? Предложите материаловедческие и конструкторские решения.

10. Как повысить начальную проницаемость оксидных ферромагнетиков? Почему она ниже, чем у ферромагнитных сплавов?

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

Не предусмотрено учебным планом

7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

1. Основные направления функциональной микроэлектроники.
2. Физические явления и процессы функциональной микроэлектроники
3. Динамические неоднородности функциональной микроэлектроники.
4. Континуальные среды функциональной микроэлектроники.
5. Генераторы динамических неоднородностей функциональной микроэлектроники.
6. Устройство управления динамическими неоднородностями функциональной микроэлектроники.
7. Детектирование динамических неоднородностей функциональной микроэлектроники.
8. Принципы взаимного преобразования акустических и электрических сигналов.
9. Пьезоэлектрические преобразователи.
10. Приборы на поверхностных акустических и магнитостатических волнах (ПАВ и МСВ).
11. Конструирование многофункциональных устройств на ПАВ, МСВ.
12. Приборы функциональной акустоэлектроники.
13. Линии задержки
14. Генераторы на ПАВ.
15. Конвольверы.
16. Устройства памяти.
17. Фурье-процессоры.
18. Аналоговые процессоры на ПЗС-структурах.
19. Цифровые процессоры на ПЗС-структурах.
20. Запоминающие устройства на ПЗС-структурах.
21. БИСПИН-приборы.
22. Приборы на волнах пространственного заряда.
23. Приборы на основе эффекта Ганна.
24. Некогерентные излучатели. Принцип действия, особенности конструкции, параметры и характеристики.
25. Фотодиод. Принцип действия, особенности конструкции, параметры и характеристики.
26. Фототранзистор. Принцип действия, особенности конструкции, параметры и характеристики.
27. Фоторезисторы. Принцип действия, особенности конструкции, параметры и характеристики.
28. Оптоэлектронные пары. Принцип действия, особенности конструкции, параметры и характеристики.
29. Светодиод. Принцип действия, особенности конструкции, параметры и характеристики.
30. Лавинный фотодиод. Принцип действия, особенности конструкции, параметры и характеристики.
31. Волоконно-оптические линии связи
32. Передатчики ВОЛС
33. Оптоволоконные кабели. Конструкция
34. Характеристики оптоволоконных кабелей.
35. Классификация оптических волокон.
36. Приемники ВОЛС. Соединители
37. Оптопары
38. Основные параметры оптопар
39. Оптопары. Эквивалентная схема
40. Конструкция оптопар.
41. Магнитоэлектронные запоминающие устройства и носители информации.
42. Процессоры сигналов на цилиндрических магнитных доменах (ЦМД).

43. Процессоры сигналов на магнитостатических волнах.
44. Запоминающие устройства на (ЦМД).
45. Запоминающие устройства на магнитных вихрях.
46. Магнитные полупроводники и устройства на их основе.
47. Особенности физических процессов в полупроводниках при низких температурах.
48. Приборы на эффекте Джозефсона.
49. Логические элементы на сверхпроводниках.
50. Электронные процессы в сложных органических молекулах.
51. Молекулярные устройства.
52. Автоволновая электроника.

7.2.6 Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Экзамен проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 10 баллов (5 баллов верное решение и 5 баллов за верный ответ). Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 16 до 20 баллов.
2. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 11 до 15 баллов.
3. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 6 до 10 баллов
4. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 6 баллов.

При получении оценок «Отлично», «Хорошо» и «Удовлетворительно» требуемые в рабочей программе знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на промежуточном этапе считаются достигнутыми.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1	Функциональная электроника. Основные понятия	ПК-6, ПК-7	Тест, опрос, требования к курсовой работе
2	Функциональная акустоэлектроника	ПК-6, ПК-7	Тест, опрос, требования к курсовой работе
3	Функциональная диэлектрическая электроника	ПК-6, ПК-7	Тест, опрос, требования к курсовой работе
4	Функциональная полупроводниковая электроника	ПК-6, ПК-7	Тест, опрос, требования к курсовой работе
5	Функциональная магнитоэлектроника	ПК-6, ПК-7	Тест, опрос, требования к курсовой работе
6	Функциональная оптоэлектроника	ПК-6, ПК-7	Тест, опрос, требования к курсовой работе

7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста преподавателем и выставляется оценка согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач преподавателем и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач преподавателем и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Защита курсовой работы осуществляется согласно требованиям, предъявляемым к работе, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 20 мин.

8 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Основная литература

1. **Свистова Т.В.** Функциональная электроника [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Т.В. Свистова. – Электрон. текстовые, граф. дан. (3,2 Мб). – Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2014.

2. **Смирнов Ю.А.** Основы нано- и функциональной электроники [Электронный ресурс] / Ю.А. Смирнов, С.В. Соколов, Е.В. Титов. - 2-е изд., испр. - СПб.: Лань, 2021. - 320 с. - Книга из коллекции Лань - Инженерно-технические науки. - ISBN 978-5-8114-1378-2. URL: <https://e.lanbook.com/book/168521>

3. **Щука А.А.** Электроника : учеб. пособие / А.А. Щука ; под ред. А.С.Сигова. - СПб.: БХВ-Петербург, 2005. - 800 с. - ISBN 5-94157-461-4

4. **Игнатов А.Н.** Оптоэлектроника и нанофотоника: учеб. пособие / А.Н. Игнатов. - СПб.; М.; Краснодар : Лань, 2011. - 544 с. - (Учебники для вузов. Специальная литература). – ISBN 978-5-8114-1136-8

5. **Игнатов А.Н.** Оптоэлектроника и нанофотоника [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.Н. Игнатов. - М. :Лань, 2011. - 538 с. - ISBN 978-5-8114-1136-8 : 799.92. URL: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=690

6. **Киселев Г.Л.** Квантовая и оптическая электроника: учеб. пособие / Г.Л. Киселев. - 2-е изд., испр. и доп. - СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2011. - 320 с. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-1114-6

7. **Киселев Г.Л.** Квантовая и оптическая электроника [Электронный ресурс] / Г.Л. Киселев. - 4-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2020. - 316 с. - Книга из коллекции Лань - Инженерно-технические науки. - ISBN 978-5-8114-1114-6. URL: <https://e.lanbook.com/book/130188>

Дополнительная литература

8. **Смирнов Ю.А.** Основы нано- и функциональной электроники: учеб. пособие / Ю.А. Смирнов, С.В. Соколов, Е.В. Титов. - 2-е изд., испр. - СПб.: Лань, 2013. - 320 с. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-1378-2

9. **Свистова Т.В.** Квантовая и оптическая электроника: учеб. пособие / Т.В. Свистова. – Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2009. – 252 с.

10. **Кравченко А.Ф.** Физические основы функциональной электроники: учеб. пособие / А.Ф. Кравченко; отв.ред. И.Г. Неизвестный. - Новосибирск: Изд-во Новосиб.ун-та, 2000. - 444 с. - ISBN 5-7615-0489-8

11. **Зайцев Э.Ф.** Физические основы функциональной электроники и радиоспектроскопии. Новые направления радиофизики: учеб. пособие / Э.Ф. Зайцев, В.С. Усов. – Л.: ЛПИ, 1988. - 68 с.

12. **Функциональная оптоэлектроника** [Электронный ресурс]: методические указания для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Функциональная электроника» для студентов направления 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» (профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника») очной формы обучения / ФГБОУ ВО «Воронеж. гос. техн. ун-т», Каф. полупроводниковой электроники и наноэлектроники; сост.: Т.В. Свистова. - Электрон. текстовые, граф. дан. (726 Кб). - Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2020. (№ 117-2020)

13. **Расчет акустоэлектронных устройств** [Электронный ресурс]: методические указания к выполнению курсовых работ по дисциплине «Функциональная электроника» для студентов направления 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» (профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника») очной формы обучения / ФГБОУ ВО «Воронеж. гос. техн. ун-т», Каф. полупроводниковой электроники и наноэлектроники; сост.: Т.В. Свистова. - Электрон. текстовые, граф. дан. (1,16 Мб). - Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2020. (№ 59-2020)

14. **Методические указания к выполнению контрольной работы по дисциплине «Функциональная электроника» для студентов направления 210100.62 «Электроника и наноэлектроника», профиля «Микроэлектроника и твердотельная электроника» заочной формы обучения** [Электронный ресурс] / Каф. полупроводниковой электроники и наноэлектроники; Сост. Т.В. Свистова. - Электрон. текстовые, граф. дан. (347 Кб). - Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2014. (№ 214-2014)

15. ГОСТ 2.105-2019. ЕСКД. Общие требования к текстовым документам. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2019. – 35 с.

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем

Программное обеспечение компьютеров для самостоятельной и аудиторной работы:

- Операционные системы семейства MSWindows;
- Пакет офисных программ LibreOffice;
- Программа просмотра файлов WinDjview;
- Программа просмотра файлов формата pdf Adobe Acrobat Reader;

- Интернет-браузеры Mozilla Firefox, Google Chrome;
- Математический пакет MathCad Express, Smath Studio;
- Среда разработки Python;
- Система управления курсами Moodle;

Используемые электронные библиотечные системы:

- Модуль книгообеспеченности АИБС «МАРК SQL»: <http://bibl.cchgeu.ru/provision/struct/>;
- Университетская библиотека онлайн: <http://biblioclub.ru/>;
- ЭБС Издательства «ЛАНЬ», в том числе к коллекциям «Инженерно-технические науки», «Физика»: <http://e.lanbook.com/>;
- ЭБС IPRbooks: <http://www.iprbookshop.ru/>;
- научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: <http://elibrary.ru/>.

Информационные справочные системы:

- портал федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования: <http://fgosvo.ru/>;
- единое окно доступа к образовательным ресурсам: <http://window.edu.ru/>;
- открытый образовательный ресурс НИЯУ МИФИ: <http://online.mephi.ru/>;
- открытое образование: <https://openedu.ru/>;
- физический информационный портал: <http://phys-portal.ru/index.html>
- Профессиональные справочные системы «Техэксперт»: <https://cntd.ru>
- Электронная информационная образовательная среда ВГТУ: <https://old.education.cchgeu.ru>

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

1. Лекционная аудитория 311/4, укомплектованная специализированной мебелью и оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций: мультимедиа-проектором, стационарным экраном, наборами демонстрационного оборудования (учебный корпус № 4, расположенный по адресу: Московский пр., 179):

комплект учебной мебели: рабочее место преподавателя (стол, стул);
 рабочие места обучающихся (столы, стулья) на 22 человека.
 проектор BenQ MP515 DLP;
 экран ScreenMedia настенный.
 огнетушитель.

2. Лаборатория физики полупроводниковых приборов, ауд. 208/4, укомплектованная специализированной мебелью и оснащенная оборудованием для проведения лабораторных занятий (учебный корпус № 4, расположенный по адресу: Московский пр., 179):

комплект учебной мебели: рабочее место преподавателя (стол, стул);
 рабочие места обучающихся (столы, стулья) на 22 человека;
 генератор Г4-18А (3 штуки);
 измеритель иммитанса Е7-20;
 осциллограф С1-104 (2 штуки);
 лабораторный источник питания НУ5003 (2 штуки);
 осциллограф С9-4А (2 штуки);
 электрометр У1-7;
 частотомер ЧЗ-34;
 вольтметр В7-20 (2 штуки);
 осциллограф С1-73;

вольтметр селективный GMS;
осциллограф МСР ОСУ-10А;
генератор сигналов FG-515;
генератор ГЗ-104 (2 штуки);
вольтметр В7-16;
вольтметр цифровой В2-20;
обучающее устройство (2 штуки);
огнетушитель.

3. Дисплейный класс для самостоятельной работы студентов, укомплектованный специализированной мебелью и оснащенный персональными компьютерами с лицензионным программным обеспечением с возможностью подключения к сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду университета, ауд. 209/4 (учебный корпус № 4, расположенный по адресу: Московский пр., 179):

комплект учебной мебели: рабочее место преподавателя (стол, стул);
рабочие места обучающихся (столы, стулья) на 20 человек.
компьютер-сборка каф.9;
компьютер в составе: (H61/IntelCorei3/Кв/М/20" LCD);
компьютер-сборка каф.7;
компьютер-сборка каф.3;
компьютер в составе: (H61/IntelCorei3/Кв/М/23" LCD);
компьютер-сборка каф.5;
компьютер-сборка каф.4;
компьютер-сборка каф.8;
компьютер-сборка каф.2;
компьютер-сборка каф.6;
компьютер-сборка каф.10;
комп. в сост: Сист.блок RAMEC GALE,монитор 17" LCD;
компьютер-сборка каф.1;
экран Projecta ProScreen настенный рулонный;
проектор BenQ MP515 DLP;
огнетушитель.

10 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Функциональная электроника» читаются лекции, проводятся практические и лабораторные занятия, выполняется курсовая работа.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета характеристик устройств функциональной электроники. Занятия проводятся путем решения стандартных и прикладных задач в аудитории.

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Большое значение по закреплению и совершенствованию знаний имеет самостоятельная работа студентов. Информацию обо всех видах самостоятельной работы студенты получают на занятиях.

Методика выполнения курсовой работы изложена в учебно-методическом пособии. Выполнять этапы курсовой работы студенты должны своевременно и в установленные сроки.

Контроль усвоения материала дисциплины осуществляется тестированием и защитой курсовой работы. Освоение дисциплины оценивается на экзамене.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практические занятия	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, решение задач по алгоритму.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции, при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных, для подготовки к ним необходимо: разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Курсовая работа	При выполнении курсовой работы студенты должны научиться правильно и творчески использовать знания, полученные ими на лекциях и лабораторных занятиях. Задачи, решаемые при выполнении курсовой работы: - осуществить поиск необходимой информации по теме работы; - систематизировать найденную информацию; - осуществить обзор литературных источников по заданной теме; - выработать умения решать прикладные задачи
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП
1	Актуализирован раздел 8.2: при осуществлении образовательного процесса по дисциплине используется образовательный портал ВГТУ – https://old.education.cchgeu.ru	31.08.2021	
2			
3			
4			