**Федеральное государственное бюджетное образовательное**

**учреждение высшего образования**

**Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова**

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА ФИЗИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

УТВЕРЖДАЮ

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_/ /

«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_20 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

Наименование дисциплины:

**Элементная и приборная база физической электроники**

Уровень высшего образования:

**Специалитет**

Специальность:

**03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика**

Направленность (профиль)/специализацияобразовательной программы:

Физическая электроника

Форма обучения:

Очная

Москва 20\_\_\_

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по специальности03.05.02 «Фундаментальная и прикладная физика», утвержденным приказом МГУ от 21.12.2018 г. № 1780.

Год (годы) приема на обучение\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**Авторы–составители:**

1. Канд. физ-мат. наук Иешкин Алексей Евгеньевич, кафедра физической электроникифизического факультета МГУ
2. Канд. физ-мат. наук Миннебаев Кашиф Файзелхакович, кафедра физической электроники физического факультета МГУ
3. Канд. физ-мат. наук Татаринцев Андрей Андреевич, кафедра физической электроникифизического факультета МГУ

Заведующий кафедрой

Доктор физико-математических наук, профессор Черныш Владимир Савельевич, заведующий кафедрой физической электроники

**Аннотация к рабочей программе дисциплины**

В курсе рассматриваются элементная и приборная база проведения экспериментов в области физической электроники.

В первой части курса рассматриваются основные элементы полупроводниковой электроники, а также вопросы их практического применения в составе разных типовых схем. Основной упор делается на обработку и измерение сигналов с датчиков в процессе эксперимента. С этой целью в данном курсе рассматриваются хорошо зарекомендовавшие себя усилительные схемы, как на основе операционных усилителей, так и схемы транзисторных усилителей. Рассмотрены основные методы детектирование сигналов с фотоэлектрических датчиков, термодатчиков и других. Значительную часть курса занимают вопросы цифровой электроники, начиная от базовых элементов логических микросхем, логических вентилей и мультиплексоров до практического использования микроконтроллерной техники, а также преобразования аналогового сигнала в цифровой и наоборот. Важной частью спецкурса является рассмотрения практических советов по помехозащищенности измерительных изделий, а также по разработке печатных плат позволяющих принимать и обрабатывать сигналы с минимальными шумами

Во второй части курса рассматриваются важнейшие сведения о физике и технике высокого вакуума. Излагаются необходимые сведения по физике разреженных газов, кинетической теории газов и явления переноса. Рассматривается взаимодействие газов с твердыми телами, процессы сорбции и десорбции на поверхности твердого тела, конденсация и испарение. Рассматриваются фундаментальные аспекты процесса откачки вакуумной системы, течения газов. В рамках данного курса будут рассмотрены методы и принципы построения вакуумных систем различного типа. Будут рассмотрены элементы вакуумных систем : вакуумные насосы, измерители полного и парциального давления и описаны принципы их функционирования.

Третья часть курса посвящена рассмотрению физических основ и принципов построения приборов физической электроники на примере основных систем ускорителей ионов. Обсуждаются различные виды ионов, диапазоны их энергий, используемые для решения научных и технологических задач, и особенности взаимодействия с веществом. Приводятся основные методы генерации ионов различных видов, принципы их ускорения, а так же транспортировки и диагностики ионных пучков.

**1. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

Вариативная часть, обязательная дисциплина

**2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия**

Не установлены

**3. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Код и наименование компетенции** | **Код и наименование индикатора (индикаторов) достижения компетенции** | **Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с индикаторами достижения компетенций** |
|  |  | Знать устройство элементной и приборной базы для проведения экспериментов в области физической электроники;  Уметь поставить и провести эксперименты по физической электроники;  Владеть методами постановки и проведения экспериментов в области физической электроники. |

**4.** Объем дисциплины (модуля) составляет3 з.е., в том числе:68академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, 40 академических часов, отведенных на самостоятельную работу обучающихся.

**5.**Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Наименование икраткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),**  **Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)** | **Всего**  **(ак.ч.)** | **В том числе** | | | | | | **Форма текущего контроля успеваемости, наименование** |
| **Контактная работа  (работа во взаимодействии с преподавателем)**  ***Виды контактной работы, академические часы[[1]](#footnote-1)*** | | | | | **Самостоятельная работа обучающегося,**  **академические часы** |
| **Занятия лекционного типа (лекции)** | **Занятия семинарского типа** | | | **Всего** |
| **Семинары** | **Лабораторные занятия\*** | **Практические занятия\*** |
| **Введение. Базовые элементы.** | **2** | **2** |  |  |  | **2** | **0** | Опрос  Контрольная работа |
| **Дискретные элементы полупроводниковых структур** | **16** | **10** |  |  |  | **10** | **6** | Опрос  Контрольная работа |
| **Операционные усилители и компараторы** | **10** | **6** |  |  |  | **6** | **4** | Опрос  Контрольная работа |
| **Цифровая полу-проводниковая электроника** | **16** | **10** |  |  |  | **10** | **6** | Опрос  Контрольная работа |
| **Общие принципы разработки электронных устройств** | **4** | **4** |  |  |  | **4** | **0** | Опрос  Контрольная работа |
| **Микроконтроллеры и ПЛИС** | **4** | **2** |  |  |  | **2** | **2** |  |
| **Введение.Физика вакуума. Свободные газы.** | **2** | **2** |  |  |  |  | **0** |  |
| **Связанные газы. Сорбционные явления** | **6** | **4** |  |  |  |  | **2** |  |
| **Методы получения вакуума** | **8** | **4** |  |  |  |  | **4** |  |
| **Вакуумные измерения.** | **4** | **2** |  |  |  |  | **2** |  |
| **Вакуумные системы.** | **6** | **4** |  |  |  |  | **2** |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **Основные сведения об ускорителях ионных пучков** | **4** | **2** |  |  |  |  | **2** |  |
| **Источники ионов** | **6** | **4** |  |  |  |  | **2** |  |
| **Ускорение и транспортировка ионных пучков** | **6** | **4** |  |  |  |  | **2** |  |
| **Сепарация ионных пучков по массе и энергии** | **6** | **4** |  |  |  |  | **2** |  |
| **Диагностика ионных пучков** | **6** | **4** |  |  |  |  | **2** |  |
| **Промежуточная аттестация – экзамен/зачет** | **2** | | | | | | **2[[2]](#footnote-2)** |  |
| **Итого** | **108** | **68** | | | | | **40** |  |

\*Лабораторные занятия, практические занятия относятся к практической подготовке обучающихся.

**6. Фонд оценочных средств для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)**

6.1. Типовые задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения:

1. Закон Ома. Правила Кирхгофа. Линейные и нелинейные пассивные элементы. Дифференциальное сопротивление. Элементная база полупроводниковой электроники.

2. Дифференцирующий и интегрирующий усилители на ОУ.

3. Термисторы: зависимость сопротивления от температуры, основные параметры, статиче-ская ВАХ. Варисторы: конструкция, эмпирическая ВАХ, применение.

4. Биполярные (БИП) транзисторы. Принцип работы. Основные характеристики. Система дифференциальных h-параметров. Основные схемы включения: с общим эмиттером, базой и с общим коллектором.

5. Диоды. P-n переход: вольтамперная характеристика (ВАХ), контактная разность потен-циалов, размеры области объемного заряда, ток насыщения, прямое падение напряжения. Пробойные явления в p-n переходе: лавинный, тепловой и туннельный пробой.

6. Инвертирующий и не инвертирующий усилители на ОУ.

7. Стабилитроны и стабисторы: стабилизация напряжения и сдвиг уровня постоянной со-ставляющей. Диоды с отрицательным дифференциальным сопротивлением: S-диод, тун-нельный диод, обращенный диод. Варикапы.

8. Сумматор и аттенюатор на ОУ.

9. Полевые транзисторы с p-n переходом. Принцип работы. Выходные характеристики. Механизм самоограничения тока. Передаточные характеристики. Пороговое напряжение (напряжение отсечки). Схемы включения: с общим стоком, истоком и затвором.

10. Дифференциальный усилитель на ОУ.

11. Полевые транзисторы на основе структур металл-диэлектрик-полупроводник (МДП). Транзисторы со встроенным и индуцированным каналом. Принцип работы. Выходные ха-рактеристики. Механизм самоограничения тока. Передаточные характеристики. Пороговое напряжение.

12. Усилитель на биполярном транзисторе. Принцип работы

13. IGBT транзисторы. Принципы работы, структура и применение.

14. Тиристоры. Принцип работы. Зонные диаграммы. Эквивалентная схема. Динисторы и тринисторы. Схемы включения

15. Диодно-транзисторная логика (ДТП), транзисторно-транзисторная логика (ТТЛ), эмит-терно-связанная логика (ЭСЛ), ТТЛ с диодами Шоттки (ТТЛШ).

16. Интегральная инжекционная логика (И2Л), n-МОП и p-МОП логика, комплиментарные МОП-структуры (КМОП-логика).

17. Элементы "И", "ИЛИ", "НЕ". Прямая и инверсная логика. Таблицы истинности. Элемен-ты "Исключающее ИЛИ" и цифровой компаратор. Многовходовые и составные вентили, логические расширители.

18. Помехозащищенные вентили с триггером Шмитта на входе. Схемы с тремя состояниями и открытыми выходами, монтажное "ИЛИ". Другие применения вентилей: мультивибраторы, одновибраторы, схемы задержки фронта импульса, усилители. Нагрузочная способность вентилей.

19. Мультиплексирование и коммутация цифровых сигналов. Преобразование параллельного кода в последовательный. Реализация произвольной функции логических аргументов. Каскадирование цифровых сигналов. Дешифраторы (преобразователи кодов).

20. Полусумматор. Полный сумматор. АЛУ.

21. Триггеры. НЗ-триггеры (асинхронный и синхронный). 0-триггеры. ^-триггеры. Синхрон-ные триггеры, работающие по уровню и по фронту. Одноступенчатые и двухступенчатые (М5) синхронные триггеры. Счетные Т и ТТ-триггеры.

22. Счетчики. Двоичный счетчик на счетных триггерах. Счетчики с фазоимпульсным пред-ставлением информации (делители частоты). Асинхронные и синхронные счетчики.

23. Сдвиговые регистры. Преобразование последовательного кода в параллельный и наобо-рот. Делители частоты с произвольным коэффициентом.

24. Запоминающие устройства (ЗУ). Регистры. Общая структура ЗУ. Архитектура микросхем памяти. Типы ЗУ: оперативные (ОЗУ) (динамические и статические), постоянные (ПЗУ), постоянные репрограммируемые (РППЗУ).

25. Цифро-аналоговые (ЦАП) и аналого-цифровые (АЦП) преобразователи. Преобразование цифрового сигнала в аналоговый: весовые резисторы R…nR и матрица постоянного импе-данса R-2R, токовые ключи. Два способа преобразования аналогового сигнала в цифровой: поразрядное уравновешивание и измерение времени разряда емкости стабильным током. Ре-гистр последовательных приближений.

26. Микропроцессоры, микроконтроллеры и DSP. Архитектура. Классификация. Примене-ние для цифровой обработки сигналов и автоматизации эксперимента.

27. Преобразователи напряжений. Импульсные преобразователи напряжения AC/DC, DC/DC. Изолированные преобразователи напряжения.

28. Согласование сопротивлений. Для оптимальной передачи мощности, напряжения или тока.

29. Общие принципы и советы по разработке печатных плат. Шумо- и помехозащещенность. Борьба с шумами. Программы для проектирования и разработки печатных плат.

30. Практическое применение МКП и ФЭУ.

31. Понятие о вакууме и давлении. Газовые законы.

32. Частота соударений газа с поверхностью. Распределение Максвелла.

33. Средняя длина свободного пути. Понятие о степенях вакуума.

34. Сорбционные явления в вакууме. Энергия взаимодействия. Силы Ван-Дер-Ваальса.

35. Время адсорбции. Конденсация и испарение. Адсорбция газов и паров.

36. Растворимость газов в твердых телах.

37. Степени покрытия поверхности.

38. Процессы переноса. Вязкость газов. Перенос теплоты в вакууме. Диффузия в газах.

39. Режимы течения газов. Течение газов через отверстия и в трубопроводах.

40. Механические методы получения вакуума.Общая характеристика вакуумных насосов.

41. Механические вакуумные насосы. Обьемная откачка.

42. Молекулярная откачка.

43. Пароструйная откачка.

44. Физико химические методы получения вакуума.

45. Хемосорбционная откачка.

46. Магниторазрядные насосы.

47. Криогенные насосы.

48. Классификация методов и приборов для измерения давлений.

49. Тепловые преобразователи.

50. Электронные ионизационные преобразователи.

51. Магнитные пребразователи.

52. Измерение парциального давления. Масс-спектрометры.

53. Оценка остаточных газов. Изотопный и фракционный анализ.

54. Типовые вакуумные системы.

55. Методы течеискания.

56. Механизмы взаимодействия ионов с твердым телом. Упругие и неупругие потери энергии.

57. Процессы, происходящие при столкновении иона с веществом. Отражение и имплантация ионов. Эмиссия вторичных частиц: кинетическая и потенциальная ионно-электронная эмиссия, распыление, эмиссия вторичных ионов, ионно-фотонная эмиссия. Дефектообразование и аморфизация. Формирование поверхностного рельефа.

58. Области применения ускорителей ионов. Виды ускоряемых ионов: атомарные, молекулярные, многозарядные, кластерные. Особенности взаимодействия многозарядных и кластерных ионов с веществом.

Параметры ионных пучков: тип ионов, кратность заряда, энергия и разброс энергий, ток и плотность тока, время жизни и стоимость.

59. Основные процессы в плазменных ионных источниках. Релевантные параметры плазмы и их характерные диапазоны из значений: плотность плазмы, процент ионизации, функции распределения по энергиям, дебаевская длина, частоты столкновений, плазменная частота, влияние магнитного поля.

60. Механизмы ионизации: ионизация электронным ударом, поверхностная ионизация, полевая, фотоионизация.

61. Закономерности извлечения ионов: поверхность извлечения, закон Чайлда-Ленгмюра, угол Пирса. Профиль плотности ионного тока в пучке. Первеанс, эмиттанс и яркость.

62. Виды катодов.

63. Плазменные источники ионов: источник с электронной бомбардировкой, дуоплазматрон, магнетрон, СВЧ-источник.

64. Методы получения твердотельных ионов.

65. Ионные источники специального назначения: получение молекулярных ионов, отрицательных ионов, широкоапертурные источники, источники с высокой яркостью.

66. Получение многозарядных ионов: EBIS, LIS, ECR.

67. Получение газовых и твердотельных кластерных ионов.

68. Ускорители с высоковольтным выпрямителем. Механизмы пробоя в газе и на поверхности металлов и диэлектриков.

69. Каскадный генератор. Электростатический ускоритель, тандемный ускоритель.

70. Циклотрон. Синхротрон.

71. Электростатическое расплывание пучков заряженных частиц. Теорема Гельмгольца-Лагранжа.

72. Элементы ионной оптики: апертурная линза, иммерсионная электростатическая линза, линза Эйнзеля.

73. Соленоидальная магнитная линза, линза Глазера.

74. Матричный подход к описанию оптических элементов. Дублетная и триплетная квадрупольная магнитная и электростатическая линзы.

75. Дисперсионные свойства стационарных электрических и магнитных полей. Сепарация частиц в электрическом поле: плоский конденсатор, анализатор Юза-Рожанского, сферический анализатор.

76. Сепарация в магнитном поле. Фокусирующие свойства секторного магнита.

77. Квадрупольный масс-анализатор. Времяпролетный масс-анализатор, рефлектрон.

78. Измерение тока пучка: цилиндр Фарадея, метод периодического прерывания пучка, ионизационный метода, пояс Роговского, калориметрический метод.

79. Измерение профиля пучка: проволочный профилометр, ионизационный метод, люминесцентные экраны. Измерения в фазовом пространстве.

Типовые задачи к промежуточной аттестации и контрольной работе:

1. Нарисуйте схему умножителя напряжения Кокрофта-Уолтона для повышения входного напряжения в 4 раза.

2. Нарисуйте схему усилителя на биполярном n-p-n транзисторе по схеме с общим эмиттером. Рассчитайте выбор рабочей точки усилителя на биполярном транзисторе с коэффициентом усиления β=150 для обеспечения диапазона входного сигнала в диапазоне от -1/3Vвх до +2/3Vвх. Коллекторный ток при этом должен равняться 10 мА. Напряжение питания 9 В. В ответе должны быть значения двух сопротивлений.

3. Нарисуйте схему инвертирующего усилителя на операционном усилителе. Изобразить выходной сигнал, если на его вход приходит следующий сигнал:

Коэффициент усиления схемы принять равным 10.

1. Нарисуйте схему стабилизированного усилителя на кремниевом биполярном транзисторе. Рассчитайте выбор рабочей точки этого усилителя на транзисторе с коэффициентом усиления β=150 для обеспечения диапазона входного сигнала в диапазоне от -1/2Vвх до +1/2Vвх. Коллекторный ток при этом должен равняться 2 мА. Напряжение питания 12 В. В ответе должны быть значения трех сопротивлений.
2. Нарисуйте схему логарифмирующего операционного усилителя. Укажите, как зависит сигнал на выходе от напряжения на входе.
3. Сравнить коэффициенты теплопроводности в высоком и низком вакууме для газов Ar, Не и Н2
4. Зависят ли показания теплового и ионизационного манометров от рода газа и чем определяется верхний и нижний пределы измерений?
5. Сосуд обьемом V=1м3 заполнен атмосферным газом при ро= 10-2 торр, T= 293К. Сосуд помещается в неограниченный вакуум р=0. В момент времени t=0 в сосуде открывается отверстие площадью S= 10см2. Через сколько времени в сосуде будет давление р1= 10-4 торр?
6. Во сколько раз изменится время адсорбции молекул воды на поверхности нержавеющей стали при изменении температуры от 300 до 77 К, если теплота адсорбции равна 80 МДж/кмоль?

10. Определить разрешение времяпролетной методики измерения масс.

11. Оценить емкость сферы генератора Ван-де-Граафа относительно Земли, ее заряд и время, необходимое для накопления этого заряда. Ширина ленты 0,5 м, скорость движения 0,5 м/с.

6.2. Шкала и критерии оценивания

**7. Ресурсное обеспечение**

Перечень основной и дополнительной учебной литературы:

1. Зи С. Физика полупроводниковых приборов (в 2-х кн.). М.: Мир. 1984.

2. Жеребцов И.П. Основы электроники. Л.: Энергоатомиздат. 1990.

3. Викулин И.М., Стафеев В.И. Физика полупроводниковых приборов. М.: Советское радио. 1980.

4. Пасынков В.В., Чиркин П.К., Шинков А.Д. Полупроводниковые приборы. М.: Высшая школа. 1981.

5. Хорозиц П., Хилл У. Искусство схемотехники (в 3-х кн.). М.: Мир. 1993.

6. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника. М.: Мир.1982.

7. Шило В.Л. Линейные интегральные схемы в радиоэлектронной аппаратуре. М.: Советское радио. 1979.

8. Аналоговые и цифровые интегральные микросхемы. Под ред. С.В.Якубовского. М.: Радио и связь. 1985.

9. Алексенко А.Г., Коломвет Е.А., Стародуб Г.И. Применение прецезионных аналоговых ИС. М.: Радио и связь. 1981.

10. Электронное конструирование: методы борьбы с помехами. Дж. Барнс. Перевод В.А. Исаакяна, под редакцией Б.Н. Файзулаева. М.: Мир. 1990.

11. Е.Т.Кучеренко. Справочник по физическим основам вакуумной техники. – Киев. Вища школа, 1981.-264с.   
12. Л.Н.Розанов. Вакуумная техника. –М.Высшая школа, 2007.-390с  
13. А.Н.Попов. Вакуумная техника. Москва : ИНФРА-М ; Минск : Новое знание, 2012. – 165с.

14. Браун Я. (Ред.).Физика и технология источников ионов.Пер. с анг.1998. 496 с.

15. W. Bernhard. Handbookofionsources. CRC Press. 544 p.

Дополнительная литература

1. Кудряшов Б.П., Назаров Ю.В., Тарабрин Б.В., Ушибышев В.А. Аналоговые интегральные схемы (справочник). М.: Радио и связь. 1981.

2. Интегральные микросхемы (справочник). Под ред. Б.В.Тарабрина. М.: Энергоатомиздат. 1985.

3. Справочник инженера-схемотехника. Р. Корис, Х. Шмидт-Вальтер. Перевод Ю.А. Забо-лотной под редакцией Е.Л. Синцова. М: Техносфера, 2008.

4. Я.Грошковский. Техника высокого вакуума. Пер. с поль.-М.: Мир,1975.- 622с.

5. Д.Хофман, Б.Сингх, Дж.Томас. Справочник по вакуумной технике и технологиям. Пер. с англ.-М.:Техносфера,2011.-735с.

6. Е.П.Шешин. Вакуумные технологии. Долгопрудный.: Интеллект, 2009.-501с.

7. Вакуумная техника. Справочник. Под ред. К.Е.Демихова.-М.:Машиностроение, 2009.-589с

8. S. Humphries, Jr.. PrinciplesofChargedParticleAcceleration. Wiley-Interscience, 1986, 590 p

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:

**8. Язык преподавания:** русский

1. *Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий лекционного и(или) семинарского типа.* [↑](#footnote-ref-1)
2. *Часы на проведение промежуточной аттестации выделяются из часов самостоятельной работы обучающегося* [↑](#footnote-ref-2)