

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный  
университет им. Н.И. Лобачевского»**

Физический факультет  
Кафедра физики полупроводников, электроники и нанoeлектроники

УТВЕРЖДЕНО  
решением ученого совета ННГУ  
протокол № 6 от «31» мая 2023 г.

## **Рабочая программа дисциплины (модуля)**

### **СВЧ-электроника**

Уровень высшего образования  
бакалавриат

Направление подготовки: 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Направленность (профиль): твердотельная электроника и нанoeлектроника

Форма обучения: очная

Нижегород, 2023 год

## 1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «СВЧ-электроника» относится к дисциплинам по выбору формируемой участниками образовательных отношений части основной образовательной программы по направлению 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника. Данная дисциплина преподается в шестом семестре. Для усвоения курса необходимы знания, полученные при изучении таких дисциплин, как «Физика» (общий курс), «Математическая физика», «Теоретические основы электро- и радиотехники», «Схемотехника», «Электродинамика». Всестороннее овладение данной дисциплиной является важным условием для полноценной профессиональной подготовки по направлению 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника.

Курс «СВЧ-электроника» опирается на следующие дисциплины:

- математический анализ, дифференциальные уравнения, методы математической физики, теория функций комплексной переменной;
- электродинамика;
- физика твердого тела;
- физика: электричество, колебания и волны;
- теоретические основы электро- и радиотехники;

Дисциплина «СВЧ-электроника» направлена на формирование у студентов систематизированных знаний в области распространения радиоволн, передачи радиосигналов, ознакомление студентов с элементной базой электротехники и радиоэлектроники, методами расчета электрических цепей и электронных схем, принципами построения радиотехнических устройств, принципами модуляции и детектирования модулированных сигналов.

Целями освоения дисциплины «СВЧ-электроника» являются:

- формирование базовых знаний в области СВЧ электроники, понимание практической значимости и особенностей передачи сигнала в данном диапазоне.
- Изучение основных физических принципов работы и технологии изготовления современных электронных вакуумных и твердотельных приборов СВЧ диапазона;
- Освоение методов расчета и определения важнейших параметров СВЧ электронных приборов, линий передачи СВЧ сигналов и интегральных схем.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

| Формируемые компетенции<br>(код, содержание компетенции)   | Планируемые результаты обучения по дисциплине<br>(модулю), в соответствии с индикатором<br>достижения компетенции                                       |  | Наименование оценочного средства   |
|--|---|--|--|
|  | Индикатор достижения компетенции<br>(код, содержание индикатора)  | Результаты обучения по дисциплине  |  |
| ПК-1. Способность применять фундаментальные представления о физических явлениях для достижения требуемых функциональных качеств приборов, схем и устройств | ПК-1.1. Знает физические явления и процессы, лежащие в основе работы приборов и устройств электроники и нанoeлектроники.<br><br>ПК-1.2. Умеет применять | <i>ЗНАТЬ:</i><br><i>современные тенденции развития электроники СВЧ, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности.</i> | Вопросы по темам/разделам дисциплины.<br><br>Комплект задач и заданий к лабораторном |

|                                |  |   |  |
|--------------------------------|--|---|--|
| электроники и наноэлектроники. | фундаментальные представления о физических явлениях и процессах для достижения требуемых функциональных качеств приборов и устройств электроники и наноэлектроники | <p><b>УМЕТЬ:</b><br/> учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в области сверхвысоких частот.</p> <p><b>ВЛАДЕТЬ:</b><br/> навыками использования теоретических основ и базовых разделов развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в области сверхвысоких частот.</p> | у практикуму.<br><br>Фонд тестовых заданий |
|--------------------------------|--|---|--|

### 3. Структура и содержание дисциплины «СВЧ-электроника»

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

|   |   |
|---|---|
| Общая трудоемкость                      | 3 ЗЕТ   |
| Часов по учебному плану                 | 108   |
| в том числе                             |   |
| аудиторные занятия (контактная работа): |   |
| - занятия лекционного типа              | 32  |
| - лабораторный практикум                | 16  |
| - контроль самостоятельной работы       | 2   |
| самостоятельная работа                  | 22 (работа в семестре)<br>36 (на подготовку к экзамену) |
| Промежуточная аттестация                | экзамен   |

#### 3.2 Содержание дисциплины

| Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины,<br><br>форма промежуточной аттестации по дисциплине | Всего (часы) | В том числе   |                           |                            |              |       |   |
|--|--------------|---|---------------------------|----------------------------|--------------|-------|---|
|  |              | Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы<br>из них |                           |                            |              |       | Самостоятельная работа обучающегося, часы |
|  |              | Занятия лекционного типа  | Занятия семинарского типа | Занятия лабораторного типа | Консультации | Всего |   |
| 1. Введение. Особенности конструирования приборов и  | 6            | 4   | -                         | -                          | -            | 4     | 2   |

|   |    |   |   |   |   |   |   |
|---|----|---|---|---|---|---|---|
| схем СВЧ электроники.   |    |   |   |   |   |   |   |
| 2. Волноводные передающие линии в СВЧ диапазоне.                                  | 10 | 4 | - | 4 | - | 8 | 2 |
| 3. Основные приборы вакуумной СВЧ электроники. Усилители и генераторы СВЧ.        | 6  | 4 | - | - | - | 4 | 2 |
| 4. Методы анализа СВЧ приборов и передающих линий.                                | 12 | 4 |   | 4 | - | 8 | 4 |
| 5. Основы твердотельной СВЧ электроники. Фазовращатели, фильтры, циркуляторы СВЧ. | 6  | 4 | - | - | - | 4 | 2 |
| 6. Полосковые и микрополосковые передающие линии. Создание интегральных схем.     | 6  | 4 | - | - | - | 4 | 2 |
| 7. СВЧ электроника на основе гетероструктур.                                      | 12 | 4 |   | 4 | - | 8 | 4 |
| 8. Элементы СВЧ тракта. Направленные ответвители. Антенны.                        | 12 | 4 | - | 4 | - | 8 | 4 |
| <b>Промежуточная аттестация: Экзамен</b>  |    |   |   |   |   |   |   |

#### **Содержание разделов дисциплины:**

1. Особенности конструирования приборов и схем СВЧ-электроники.  
Особенности сверхвысокочастотной электроники. Стационарные уравнения возбуждения линии передачи электронным потоком. Нестационарная теория возбуждения волновода.
2. Волноводные передающие линии в СВЧ диапазоне.
  - 2.1. Пассивные и активные элементы полупроводниковых схем. Линии с распределенными параметрами. Волновое сопротивление. Полые волноводы и резонаторы, диэлектрические волноводы.
  - 2.2. Эквивалентные схемы, добротность. Потери в передающих линиях. Сосредоточенные резисторы.
3. Основные приборы вакуумной СВЧ электроники. Усилители и генераторы СВЧ.
  - 3.1. Индуцированное и спонтанное излучение в резонансных автогенераторах. Магнетрон, амплитрон, гиратрон.
  - 3.2. Взаимодействие электронного потока с бегущей электромагнитной волной. Теория лампы бегущей и обратной волны.
4. Методы анализа СВЧ приборов и передающих линий.
  - 4.1. Построение диаграмм Вольперта-Смита. Расчет нагрузочного сопротивления с помощью диаграммы Вольперта-Смита. Метод матриц рассеяния и матриц переноса. Принцип взаимности.
5. Основы твердотельной СВЧ электроники. Фильтры, фазовращатели, циркуляторы СВЧ.
  - 5.1. Принцип действия полевого транзистора с затвором Шоттки, основные режимы работы. Коэффициент усиления. Усилители с распределенным усилением. Согласование усилителей. Каскадное соединений секций. Нелинейные искажения.
  - 5.2. Туннельный диод, вольт-амперные характеристики и частотные свойства. Лавинно-пролетный диод, механизм усиления переменного сигнала, мощность и коэффициент полезного действия.

- 5.3. Диоды Ганна, принцип действия и возможные режимы работы. Коаксиальный генератор Ганна. Волноводный генератор Ганна. Преобразование частоты с помощью активного элемента. Зеркальная частота. Смесители на полевых транзисторах с затвором Шоттки.
- 5.4. Фильтры высоких и низких частот. Полосовые фильтры. Полосно-заграждающие фильтры. Инверторы сопротивлений, ферритовые СВЧ-устройства, Y – циркуляторы.
- 5.5. Невзаимные фазовращатели, двухплечий гиратор. Преобразователи сопротивлений и видов колебаний. Устройства СВЧ на p-i-n диодах.
6. Полосковые и микрополосковые передающие линии. Создание интегральных схем.
  - 6.1. Микрополосковые линии, щелевые линии, компланарный волновод. Заземляющая плоскость. Связанные микрополосковые линии.
  - 6.2. Режимы распространения волн. Распределение волны в линии, коэффициент отражения, коэффициент стоячей волны (КСВ).
7. СВЧ электроника на основе гетероструктур.
  - 7.1. Гетероэпитаксиальные структуры, квантовые ямы, двумерный электронный газ, подвижность носителей, плотность состояний, коэффициента шума.
  - 7.2. Сверхрешетки, осцилляции Блоха, резонансное туннелирование, резонансно-туннельный диод. НЕМТ-транзисторы.
8. Элементы СВЧ тракта. Направленные ответвители. Антенны.
  - 8.1. Устройства сотовой и спутниковой связи, телевидения. КМОП-схемы. Программируемые логические схемы на основе GaAs pHEMT-транзисторов. Малошумящие транзисторы для приемных каналов и мощные усилительные модули. Приемопередающие модули АФАР.

### Лабораторный практикум

Практическая часть курса построена в виде лабораторного практикума, позволяющего привить практические навыки работы с аналоговыми и цифровыми радиотехническими устройствами. Практикум включает следующие лабораторные работы:

| №п/п | № раздела дисциплины | Наименование лабораторных работ   |
|------|----------------------|---|
| 1.   | 1,2, 3               | Основные принципы амплитудной и частотной модуляции   |
| 2    | 2,4,5,6              | Исследование входного сопротивления отрезка длинной линии   |
| 3    | 5,8                  | Определение коэффициента усиления по мощности и коэффициента шума биполярного транзистора в СВЧ-диапазоне |
| 4    | 1,8                  | Измерение основных параметров варикапа  |

### 4. Образовательные технологии

Занятия по дисциплине проводят в лекционной форме, в форме лабораторных занятий, а также в форме самостоятельной работы студентов. На лекциях студенты знакомятся с основными тенденциями развития элементной базы электроники СВЧ диапазона, параметрами быстродействия этих элементов, принципиальными физическими и технологическими ограничениями. На лабораторных занятиях студенты приобретают практические навыки проведения измерений различных проявлений физических процессов, используемых в элементах и приборах микро- и нанoeлектроники.

### 5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа студентов включает активное изучение лекционного материала вместе с соответствующими разделами учебных и учебно-методических пособий, в том числе с использованием систем компьютерной графики и электронных образовательных ресурсов. Одной из основных задач самостоятельной работы является подготовка к проведению допуска по лабораторным работам, обсуждения способов достижения конечного результата, решения поставленной в работе задачи и подготовка отчета.

Оценочные средства для контроля текущей успеваемости включают в себя текущие отчеты по лабораторным работам, обсуждение полученных результатов с преподавателем, возможное повторное измерение отдельных величин, проведение компьютерного моделирования работы исследуемого устройства.

Аттестация включает экзамен в шестом семестре, включающий в себя теоретические вопросы, по темам, указанным в пункте «Содержание разделов дисциплины».

#### Вопросы для самоконтроля:

1. Особенности конструирования приборов и схем сверхвысокочастотной электроники.
2. Распространение волн в полых волноводах. Режимы распространения волн в волноводе. Понятие критической длины волны. Типы волн.
3. Волны в прямоугольных и цилиндрических волноводах. Понятие волнового сопротивления.
4. Волноводы открытого типа. Диэлектрические волноводы.
5. Волны в коаксиальных волноводах. Возбуждение волноводов.
6. Полосковые и микрополосковые волноводы и резонаторы.
7. Методы анализа СВЧ тракта. Понятие матрицы рассеяния. Диаграмма Вольперта-Смита. Коэффициент стоячей волны.
8. Сравнительные характеристики передающих линий. Диапазон волновых сопротивлений.
9. Понятие объемного резонатора. Классификация резонаторов.
10. Волновые моды в резонаторах. Собственная и нагруженная добротность резонаторов.
11. Прямоугольный и цилиндрический резонатор закрытого типа.
12. Взаимодействие электронного потока с электромагнитным полем. Понятие наведенного тока.
13. Модуляция электронного потока по скорости. Принцип работы пролетного двухрезонаторного клистрона.
14. Элементарная теория отражательного клистрона.
15. Условия возбуждения и генерации колебаний в электронных СВЧ-приборах.
16. Периодические замедляющие системы. Пространственные гармоники.
17. Понятие синхронизма. Лампа бегущей волны. Принцип работы.
18. Взаимодействие электронов в скрещенных электрическом и магнитном полях с ВЧ-полем. Основные принципы работы магнетрона.
19. Принцип действия лампы обратной волны.
20. Волны в диэлектрических резонаторах. Колебания в сферическом резонаторе.
21. Диэлектрические резонаторы различной формы. Влияние формы и отверстия на частотный спектр.
22. Фильтры на диэлектрических резонаторах.

23. СВЧ фильтры высоких и низких частот. Полосовые фильтры, ППФ, ПЗФ.
24. Преобразователи сопротивлений и видов колебаний. Фазовращатели и аттенюаторы СВЧ.
25. Полупроводниковые СВЧ генераторы и усилители.
26. Полевой транзистор Шоттки. Двухзатворные полевые транзисторы.
27. Устройства СВЧ на р-і-n диодах.
28. Волноводный генератор Ганна. Коаксиальный генератор Ганна.
29. Элементы СВЧ тракта. Направленные ответвители. Антенны.
30. Вопросы согласования СВЧ тракта. Трансформаторы сопротивлений.
31. Гетеропереходы: зонные диаграммы, двумерный электронный канал, подвижность двумерного электронного газа.
32. Генератор на резонансно туннельном диоде.
33. Электрофизические параметры НЕМТ –транзисторов. Частотные свойства.
34. Квантовые генераторы и усилители.
35. Принцип действия полупроводникового лазера.
36. Области применения вакуумной и твердотельной СВЧ электроники

#### Методическое обеспечение:

1. Исследование амплитудно-частотных и фазо-частотных характеристик электрических LC- фильтров низких и высоких частот. Методическая разработка к лабораторной работе. / Сост. В.Н.Шабанов. – Изд-во ННГУ, Н. Новгород, 1992. – 10 с.
2. Исследование входного сопротивления отрезка длинной линии. Методическое руководство к лабораторной работе. / Сост. Е.С. Демидов, В.В. Сдобняков, В.Н.Шабанов. – Изд-во ННГУ, Н. Новгород, 2007. – 17 с.
3. Определение коэффициента усиления по мощности и коэффициента шума биполярного транзистора в СВЧ-диапазоне. Методическое руководство к лабораторной работе. / Сост. Е.С.Демидов, В.В.Шабанов, В.В.Сдобняков. – Изд-во ННГУ, Н. Новгород, 2007. – 16 с.
4. Измерение основных параметров варикапа. Методическая разработка к лабораторной работе/ – Изд-во ННГУ, Н. Новгород, 2006. – 11 с.

#### **6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы, в формировании которых участвует дисциплина, с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений) приведён выше (раздел 2). Ниже приведена таблица образовательных дескрипторов (отличительных признаков уровней освоения компетенций).

| Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций) | Шкала оценивания сформированности компетенций              |  |   |  |  |  |                  |
|--|--|--|---|--|--|--|------------------|
|  | плохо  | неудовлетворительно  | удовлетворительно                                       | хорошо   | очень хорошо                                       | отлично  | превосходно      |
|  | Не зачтено   |  | зачтено   |  |  |  |                  |
| <u>Знания</u>  | Отсутствие знаний теоретического материала.<br>Невозможнос | Уровень знаний ниже минимальных требований.<br>Имели место | Минимально допустимый уровень знаний.<br>Допущено много | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе | Уровень знаний в |

|               |  |  |  |  |   |   |   |
|---------------|--|--|--|--|---|---|---|
|               | ть оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа   | грубые ошибки.   | негрубых ошибки.   | подготовки . Допущено несколько негрубых ошибок  | подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок  | подготовки , без ошибок.  | объеме, превышающем программу подготовки.   |
| <u>Умения</u> | Отсутствие минимальных умений . Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа  | При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения.<br><br>Имели место грубые ошибки. | Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме. | Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами . | Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи . Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. | Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельным и несущественным недочетами , выполнены все задания в полном объеме. | Продemonстрированы все основные умения,. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов |
| <u>Навыки</u> | Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа | При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки.<br><br>Имели место грубые ошибки.  | Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами                                      | Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами   | Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.   | Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.   | Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач   |

## 6.2. Описание шкал оценивания.

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена. Форма проведения – индивидуальное собеседование. При выставлении экзаменационной оценки учитываются результаты сдачи студентом промежуточных отчетов по лабораторным занятиям. Контроль текущей успеваемости включают в себя текущие отчеты по лабораторным работам, обсуждение полученных результатов с преподавателем.

Экзаменационная оценка выставляется по принятой в ННГУ семибальной шкале. Экзаменационные оценки «превосходно» и «отлично» – соответствуют оценке 5 (отлично) по пятибальной шкале, оценки «очень хорошо» и «хорошо» – соответствуют оценке 4 (хорошо), оценка «удовлетворительно» – соответствует оценке 3 (удовлетворительно), оценки «неудовлетворительно» и «плохо» – соответствует оценке 2 (неудовлетворительно).

## 6.3. Критерии оценивания результатов обучения для проведения аттестации обучающихся по дисциплине.



Для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенций, используются билеты, состоящие из 2-х вопросов, составленных на основе контрольных вопросов (п. 5) и задачи. При проведении экзамена учитываются результаты выполнения лабораторных работ.

|                     |  |
|---------------------|--|
| превосходно         | Отличная подготовка. Студент полностью выполнил практические задания, отвечает полностью на вопросы билета и дополнительные вопросы (задания), выходящие за рамки изученного объема курса и изученных алгоритмов и подходов, проявляя инициативу и творческое мышление.  |
| отлично             | Отличная подготовка. Студент полностью выполнил практические задания, отвечает полностью на вопросы билета, самостоятельно решает задачу в рамках изученных алгоритмов и подходов. При ответе на дополнительные вопросы (задания) допускаются незначительные неточности.   |
| очень хорошо        | Хорошая подготовка. Студент полностью выполнил практические задания, однако имеются отдельные замечания по представлению и интерпретации полученных результатов. Студент показывает хороший уровень знания вопросов билета, самостоятельно решает задачу и отвечает на вопросы (задания) преподавателя с небольшими неточностями.                    |
| хорошо              | Хорошая подготовка. Студент полностью выполнил практический задания, однако имеются замечания по представлению и интерпретации полученных результатов. Студент показывает средний уровень знания вопросов билета, решает задачу с наводящими вопросами преподавателя и отвечает на некоторые дополнительные вопросы преподавателя (в рамках билета). |
| удовлетворительно   | Удовлетворительная подготовка. Студент выполнил не менее 2/3 практических заданий, имеются замечания по представлению и интерпретации полученных результатов. Студент показывает удовлетворительное знание вопросов билета и знание базовых понятий, может решить типовую задачу с помощью преподавателя.  |
| неудовлетворительно | Студент выполнил менее 1/3 практический заданий, показывает неудовлетворительное знание основ курса и базовых понятий. Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания.   |
| плохо               | Студент не выполнил практические задания. Подготовка совершенно недостаточна. Последующая пересдача возможна только с комиссией.   |

6.4. Типовые контрольные задания и материалы заданий практических занятий, необходимые для оценки результатов обучения.

1. Основные типы линий передач СВЧ-сигналов.
2. Спектр амплитудно-модулированного сигнала для однотоновой модуляции.
3. Коэффициент стоячей волны (КСВ) в режиме короткого замыкания и режиме холостого хода в длинной линии.
4. КСВ в режиме короткого замыкания и режиме холостого хода в длинной линии. Определение КСВ в волноводе.
5. Типы волн, распространяющихся в волноведущих системах. Определение ТМ и ТЕ типов электромагнитных волн.
6. Определение критической частоты и длины волны в волноводе.

7. Волновое сопротивление вакуумного волновода, коаксиального кабеля.
8. Понятие низшей моды волновода. Нахождение частоты основной моды прямоугольного волновода.
9. Понятие объемного резонатора. Нахождение спектра частот прямоугольного и цилиндрического объемных резонаторов.
10. Устройство двухрезонаторного пролетного клистрона.
11. Принцип модуляции потока частиц по скорости.
12. Зависимость фазовой скорости электромагнитной волны от частоты в вакуумном волноводе.
13. Понятие синхронизма в периодических замедляющих волноведущих системах.
14. Устройство полевого транзистора Шотки.
15. Распределение поля в полосковых и микрополосковых волноводах и резонаторах.

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «СВЧ электроники»**

### основная литература:

1. Шостак, А.С. Техническая электродинамика, Основы электродинамики и распространение радиоволн, Антенны и устройства СВЧ [Электронный ресурс] : учеб.пособие / А.С. Шостак, В.С. Корогодов, В.Г. Козлов. — Электрон.дан. — Москва : ТУСУР, 2012. — 137 с. —  
Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/10907>.
2. Устройства СВЧ и антенны [Электронный ресурс] : учебник / А. А. Филонов, А. Н. Фомин, Д. Д. Дмитриев [и др.] ; ред. А. А. Филонов. — Красноярск :Сиб. федер. ун-т, 2014. — 492 с.  
- ISBN 978-5-7638-3107-8 –  
Режим доступа: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=505864>
3. Куш Г.Г. Приборы и устройства оптического и СВЧ диапазонов [Электронный ресурс] : учеб.пособие / Г.Г. Куш, Ж.М. Соколова, Л.И. Шангина. — Электрон.дан. — Москва : ТУСУР, 2012. — 414 с.  
Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/4953>

### б) дополнительная литература:

1. Собенин Н.П. Практикум по курсу "Техника СВЧ": учебное пособие для вузов [Электронный ресурс] : учеб.пособие / Н.П. Собенин, М.В. Лалаян, М.А. Гусарова. — Электрон.дан. — Москва : НИЯУ МИФИ, 2010. — 128 с.  
Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/75754>
2. Груздов В.В. Контроль новых технологий в твердотельной СВЧ электронике [Электронный ресурс] / В.В. Груздов, Ю.В. Колковский, Ю.А. Концевой. — Электрон.дан. — Москва :Техносфера, 2016. — 328 с.  
Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/87740>.

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины «СВЧ электроники»**

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: специализированной мебелью, меловыми или магнитно-маркерными досками для представления учебной информации большой аудитории.

Лабораторный практикум проводится в специализированной аудитории, оснащенной измерительным оборудованием, средствами вычислительной техники, источниками питания и макетами лабораторных устройств.

Программное обеспечение, управляющее лабораторными макетами, осуществляется в среде программирования LabView.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями установленного ННГУ образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 11.03.04 "Электроника и наноэлектроника".

Автор:

доцент кафедры физики полупроводников,  
электроники и наноэлектроники, к.ф.-м.н., Хазанова С.В.

Рецензент:

заведующий кафедрой теоретической физики, д.ф.-м.н. В.А. Бурдов

Заведующий кафедрой физики полупроводников, электроники  
и наноэлектроники, д.ф.-м.н., профессор Д. А. Павлов

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии физического факультета ННГУ, протокол б/н от «20» мая 2023 г.

Председатель Учебно-методической комиссии  
физического факультета ННГУ А. А. Перов