

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Беспалов Владимир Александрович  
Должность: Ректор МИЭТ  
Дата подписания: 2019-07-17  
Уникальный программный ключ:  
ef5a4fe6ed0ffdf3f1a49d6ad1b49464dc1bf7354f736d76c8f8bea882b8d602

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники»



И.Г. Игнатова

2019

**ПРОГРАММА ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ**  
**Нанотехнологии в гетероструктурной СВЧ наноэлектронике**

## 1. Цель реализации программы

Цель программы – повышение квалификации инженеров-технологов или инженеров проектировщиков в области производства СВЧ интегральных схем на основе полупроводниковых наногетероструктур в области:

1. планирования и организации сопровождения технологического процесса производства СВЧ интегральных схем; определения базовых технологических процессов, применяемых материалов и оборудования для изготовления опытных образцов СВЧ интегральных схем;
2. разработки методик входного и межоперационного контроля при производстве наногетероструктурных СВЧ интегральных схем;
3. моделирования характеристик наногетероструктурных СВЧ интегральных схем; выбора и обоснования типа гетероструктур и активных элементов (транзисторов, диодов), необходимых для достижения заданных основных электрических и эксплуатационных параметров СВЧ интегральных схем.

## 2. Требования к результатам обучения

Формируемая профессиональная компетенция – способность разрабатывать технические задания на проектирование электронных приборов, схем и устройств СВЧ-радиоэлектроники на основе гетероструктур широкозонных полупроводников

В результате освоения данной программы слушатель должен:

### **знать**

- основные физические особенности полупроводниковых гетероструктур и преимущества использования гетероструктур при создании приборов и устройств по сравнению с объемными материалами, основные типы приборов СВЧ радиоэлектроники на основе полупроводниковых гетероструктур
- основные проблемы полупроводниковой нанoeлектроники, которые требуют использования новых материалов и физических эффектов для создания перспективных элементов СВЧ радиоэлектроники
- конструкцию оборудования и особенности технологий электронно-лучевой, проекционной и контактной литографии с нанометровым разрешением
- механизмы и особенности формирования омического контакта к полупроводникам;
- особенности технологических процессов молекулярно-пучковой и газофазной эпитаксии широкозонных полупроводниковых соединений;

- возможности взрывной фотолитографии для формирования контактов к полупроводниковым соединениям.
- основные характеристики полевых приборов гетероструктурной нанoeлектроники для СВЧ-радиоэлектроники,
- основные характеристики гетеробиполярных приборов гетероструктурной нанoeлектроники для СВЧ-радиоэлектроники.
- возможности по формированию мостовых соединений в интегральных схемах на основе сложных полупроводников для уменьшения паразитных емкостей и уменьшения токовой нагрузки.

#### **уметь**

- использовать технологии молекулярно-пучковой и газофазной эпитаксии широкозонных полупроводниковых соединений для разработки конструкций и технологических маршрутов изготовления приборов гетероструктурной нанoeлектроники для СВЧ-радиоэлектроники
- разрабатывать устойчивый технологический процесс литографии с нанометровым разрешением и характеризовать его статистическими методами,
- разрабатывать технологический маршрут формирования контактной металлизации методом взрывной фотолитографии,
- разрабатывать конструкции и технологии полевых приборов гетероструктурной нанoeлектроники для СВЧ-радиоэлектроники с соответствующим топологическим разрешением,
- разрабатывать конструкции и технологии гетеробиполярных приборов гетероструктурной нанoeлектроники для СВЧ-радиоэлектроники с соответствующим топологическим разрешением.
- измерять характеристик приборов и устройств гетероструктурной нанoeлектроники для СВЧ-радиоэлектроники

### 3. Содержание программы

#### УЧЕБНЫЙ ПЛАН

программы повышения квалификации

«Нанотехнологии в гетероструктурной СВЧ наноэлектронике»

Категория слушателей – инженеры технологи, инженеры схемотехники, научные работники в области СВЧ электроники

Срок обучения – 72 часа

Форма обучения – очная

№ п/п	Наименование модулей	Всего часов	В том числе			Образовательные технологии, в том числе ЭО и (или) ДОТ
			Аудиторная учебная нагрузка			
			Лекции	Практические и лабораторные занятия	Самостоятельная работа	
1	2	3	4	5	6	7
1	Модуль 1. Физические основы создания нового поколения приборов и устройств СВЧ наноэлектроники с использованием возможностей нанофотоники и наноплазмоники	20	20	X	X	видео трансляция лекций
2	Модуль 2. Методы нанотехнологии в производстве СВЧ монолитных интегральных схем на базе полупроводниковых гетероструктур	50	14	36	X	видео трансляция лекций, работа на симуляторе
	<b>Всего</b>	72	34	36	X	
	Итоговая аттестация		2			

## УЧЕБНО-ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

программы повышения квалификации

«Нанотехнологии в гетероструктурной СВЧ наноэлектронике»

Модуль 1. Физические основы создания нового поколения приборов и устройств СВЧ наноэлектроники с использованием возможностей нанофотоники и наноплазмоники

№ п/п	Наименование разделов	Всего часов	В том числе			Образовательные технологии, в том числе ЭО и (или) ДОТ
			Аудиторная учебная нагрузка			
			Лекции	Практические и лабораторные занятия	Самостоятельная работа	
1	2	3	4	5	6	7
1	Раздел 1. Физические основы наноэлектроники, нанофотоники и наноплазмоники	12	12			
2	Тема 1.1. Основные тенденции развития современной наноэлектроники	4	4			видео трансляция лекций
3	Тема 1.2. Полупроводниковые гетероструктуры – основа современной СВЧ электроники	4	4			видео трансляция лекций
4	Тема 1.3. Физические основы нанофотоники	4	4			видео трансляция лекций
5	Раздел 2. Интегральная микрофотоника и микроволновая радиофотоника	8	8			
6	Тема 2.1. Основные этапы развития фотоники	2	2			видео трансляция лекций
7	Тема 2.2. Волоконно-оптические линии связи	2	2			видео трансляция лекций
8	Тема 2.3. Фотонные интегральные схемы	2	2			видео трансляция лекций
9	Тема 2.4. Интегральная микроволновая радио-фотоника (ИМРФ, ИМР)	2	2			видео трансляция лекций
	<b>Всего</b>	20				

Модуль 2. Методы нанотехнологии в производстве СВЧ монолитных интегральных схем на базе полупроводниковых гетероструктур

№ п/п	Наименование разделов	Всего часов	В том числе			Образовательные технологии, в том числе ЭО и (или) ДОТ
			Аудиторная учебная нагрузка			
			Лекции	Практические и лабораторные занятия	Самостоятельная работа	
1	2	3	4	5	6	7
1	Раздел 3. Технология гетероструктурной нанoeлектроники для СВЧ-радиоэлектроники	26	6	20		
2	Тема 3.1. Молекулярно-пучковая и газофазная эпитаксия широкозонных полупроводниковых соединений.	10	2	8		видео трансляция лекций, работа на симуляторе Нанофаб-онлайн
3	Тема 3.2. Литография в нанoeлектронике	10	2	8		
4	Тема 3.3. Химические методы в нанoeлектронике	6	2	4		
5	Раздел 4. Элементная база гетероструктурной нанoeлектроники для СВЧ-радиоэлектроники.	24	8	16		
6	Тема 4.1. Специальные технологические подходы в нанoeлектронике	2	2			видео трансляция лекций
7	Тема 4.2. Полевые и биполярные транзисторы на основе полупроводниковых наногетероструктур	14	2	12		
8	Тема 4.3. Методы характеристики этапов технологического процесса.	6	2	4		
9	Тема 4.4. Пассивные элементы СВЧ МИС (резисторы, емкости, индуктивности, применение гальванических методов).	2	2			видео трансляция лекций
	<b>Всего</b>	50	14	36		

## КАЛЕНДАРНЫЙ УЧЕБНЫЙ ГРАФИК

Календарный учебный график составляется в форме расписания занятий при наборе группы и прилагается к программе повышения квалификации.

### УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ

«Нанотехнологии в гетероструктурной СВЧ наноэлектронике»

Модуль 1. Физические основы создания нового поколения приборов и устройств СВЧ наноэлектроники с использованием возможностей нанофотоники и наноплазмоники

Раздел 1. Физические основы наноэлектроники, нанофотоники и наноплазмоники (12 часов)

Тема 1.1. Основные тенденции развития современной наноэлектроники

Тема 1.2. Полупроводниковые гетероструктуры – основа современной СВЧ электроники

Тема 1.3. Физические основы нанофотоники

Раздел 2. Интегральная микрофотоника и микроволновая радиофотоника (8 часов)

Тема 2.1. Основные этапы развития фотоники

Тема 2.2. Волоконно-оптические линии связи

Тема 2.3. Фотонные интегральные схемы

Тема 2.4. Интегральная микроволновая радио-фотоника (ИМРФ, ИМР)

Модуль 2. Методы нанотехнологии в производстве СВЧ монолитных интегральных схем на базе полупроводниковых гетероструктур

Раздел 3. Технология гетероструктурной наноэлектроники для СВЧ-радиоэлектроники (26 часов)

Тема 3.1. Молекулярно-пучковая и газофазная эпитаксия широкозонных полупроводниковых соединений.

Тема 3.2. Литография в наноэлектронике

Тема 3.3. Химические методы в наноэлектронике

Раздел 4. Элементная база гетероструктурной наноэлектроники для СВЧ-радиоэлектроники (24 часа)

Тема 4.1. Специальные технологические подходы в наноэлектронике

Тема 4.2. Полевые и биполярные транзисторы на основе полупроводниковых наногетероструктур

Тема 4.3. Методы характеристики этапов технологического процесса.

Тема 4.4. Пассивные элементы СВЧ МИС (резисторы, емкости, индуктивности, применение гальванических методов).

### ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Практические занятия не предусмотрены

### ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

№ темы	Наименование лабораторной работы	Кол-во часов
3.1	Кластерное оборудование нанотехнологий	4
3.1	Рост гетероструктуры на основе твёрдых растворов AlGaN	4
3.2	Наноимпринт литография -технология формирования	4
3.2	Наноимпринт литография – методы характеристики объектов с помощью АСМ	4
3.3	Плазмохимические процессы (нанесение и травление диэлектрика) в технологии СВЧ наноэлектронике	4
4.2	Исследование параметров НЕМТ транзисторов	4
4.2	Исследование параметров НВТ транзисторов	4
4.2	Формирование затвора для мощного полевого СВЧ транзистора	4
4.3	Исследование параметров резонансно-туннельных диодов	4

#### 4. Материально-технические условия реализации программы

Наименование специализированных аудиторий кабинетов, лабораторий	Вид занятия	Наименование оборудования, программного обеспечения
Лаборатория элементной базы наноэлектроники	Лабораторные работы	Установка плазмохимического травления Corial 200L Установка нанесения диэлектрика Corial D-250 Установка установка вакуумного напыления Lab-18 фирмы “Kurt J. Lesker” Высокотемпературная печь RTP-1200-100 фирмы “Unitemp” Установка экспонирования MJB-4 фирмы “Suss Microtec” Установка плазмохимической обработки PX-250 фирмы “March” Установка наноимпринт литографии FC150 фирмы “ Suss Microtec” Установка нанесения и сушки Delta 6 RC,Delta 6 HP фирмы Karl Suss Установка совмещения и экспонирования

		МJB4 фирмы Karl Suss Зондовая установка для проведения межоперационного контроля PM5 фирмы Karl Suss
НОЦ «Зондовая микроскопия и нанотехнология»	Лабораторные работы	Модульная нанотехнологическая платформа НАНОФАБ-100 НТК-5 Учебный симулятор Нанофаб-онлайн
Лаборатория физики твердого тела	Лабораторные работы	Измеритель добротности VM 560 Мультиметр Agilent 34405A установка измерения эффекта Холла Escoria HMS-5000 блоки питания Agilent 3834A осциллограф TDS 2012B Tektronix

## **5. Учебно-методическое обеспечение программы**

Модульное построение образовательной программы предполагает на основе требований предприятий-заказчиков, проводить корректировку как программы в целом, так и содержательной части самих профессиональных модулей, что позволяет успешно решать задачи качественной профессиональной подготовки.

Для подготовки слушателей к работе на эпитаксиальном оборудовании используются многофункциональные симуляторы модулей МЛЭ и ФИП на платформе Нанофаб-онлайн. Симуляторы содержат интерактивное описание оборудования, эмуляцию процессов подготовки оборудования к работе, а также интерфейс управления программой управления модулем (МЛЭ или ФИП), полностью идентичные интерфейсам управляющих программ оборудования.

Учебно-методическое обеспечение ДОП представлено тремя компонентами:

- 1) описания лабораторных работ, лекционные презентации;
- 2) инструкции по эксплуатации технологического и измерительного оборудования, технологическая документация по проведению отдельных процессов, инструкция по использованию симулятора Нанофаб-онлайн;
- 3) контрольно-измерительные материалы: сборники контрольных заданий, методики контроля, тестовые задания, анкеты и др.

## 6. Оценка качества освоения программы


Оценка качества освоения программы проводится аттестационной комиссией. Слушатель считается аттестованным (овладел профессиональной компетенцией), если

1. Все лабораторные работы выполнены правильно или с некритичными ошибками, которые были устранены под руководством преподавателя. По установленной форме составлены отчеты о выполнении каждой лабораторной работы.
2. При защите лабораторных работ даны ответы на контрольные вопросы, в объеме, достаточном для решения производственных задач. Возможны затруднения с ответами на дополнительные вопросы преподавателя.
3. Даны **правильные** ответы более чем на 50% проверочных заданий
4. Подготовлен качественный реферат по рассматриваемым в ДОП разделам нанoeлектроники.

## 7. Составители программы


Зав. кафедрой КФН

чл.-корр. РАН, профессор, д. ф.-м. н.

 Горбацевич А. А.

Доцент кафедры КФН

доцент, к. ф.-м. н.

 Журавлев М. Н.

**СОГЛАСОВАНО**

Директор ДРОП

\_\_\_\_\_ Соколова Н.Ю.

## 6. Оценка качества освоения программы

Оценка качества освоения программы проводится аттестационной комиссией. Слушатель считается аттестованным (овладел профессиональной компетенцией), если

1. Все лабораторные работы выполнены правильно или с некритичными ошибками, которые были устранены под руководством преподавателя. По установленной форме составлены отчеты о выполнении каждой лабораторной работы.
2. При защите лабораторных работ даны ответы на контрольные вопросы, в объеме, достаточном для решения производственных задач. Возможны затруднения с ответами на дополнительные вопросы преподавателя.
3. Даны **правильные** ответы более чем на 50% проверочных заданий
4. Подготовлен качественный реферат по рассматриваемым в ДОП разделам наноэлектроники.

## 7. Составители программы

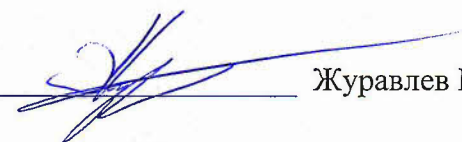
Зав. кафедрой КФН

чл.-корр. РАН, профессор, д. ф.-м. н.

  
Горбачевич А. А.

Доцент кафедры КФН

доцент, к. ф.-м. н.

  
Журавлев М. Н.

**СОГЛАСОВАНО**

Директор ДРОП

  
Соколова Н.Ю.