

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

УТВЕРЖДЕНО

решением Ученого совета ННГУ

протокол № 7 от 28.06.2023 г.

Рабочая программа дисциплины

Физико-химические основы технологий радиофотоники

Уровень высшего образования

Магистратура

Направление подготовки / специальность

11.04.04 - Электроника и наноэлектроника

Направленность образовательной программы

Новые полупроводниковые технологии

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2023 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.03 Физико-химические основы технологий радиофотоники относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-1: Способность разрабатывать эффективные алгоритмы решения сформулированных задач, строить физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования	<p>ПК-1.1: Знает методы построения физических и математических моделей приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники</p> <p>ПК-1.2: Умеет использовать стандартные программные средства для компьютерного моделирования приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения</p> <p>ПК-1.3: Имеет навыки разработки алгоритмов решения задач и использования стандартных программных средств их компьютерного моделирования</p>	<p>ПК-1.1: Знать: методы построения физических и математических моделей приборов, схем, устройств и установок радиофотоники.</p> <p>ПК-1.2: Уметь: использовать стандартные программные средства для компьютерного моделирования приборов, схем, устройств и установок радиофотоники различного функционального назначения.</p> <p>ПК-1.3: Владеть: навыками разработки приборов элементной базы радиофотоники</p>	Задания	Экзамен: Контрольные вопросы
ПК-7: Способность выполнять расчет и проектирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием с использованием	<p>ПК-7.1: Знает алгоритмы проектирования электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием</p> <p>ПК-7.2: Умеет использовать средства автоматизации проектирования</p>	<p>ПК-7.1: Знать: алгоритмы проектирования электронных приборов, схем и устройств радиофотоники различного функционального назначения в соответствии с техническим заданием.</p> <p>ПК-7.2: Уметь: использовать</p>	Задания	Экзамен: Контрольные вопросы

средств автоматизации проектирования	ПК-7.3: Имеет навыки выполнения расчета и проектирования электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения	средства автоматизации проектирования. ПК-7.3: Владеть: Навыками выполнения расчета и проектирования приборов радиофотоники.		
--------------------------------------	---	---	--	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	3
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	30
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	0
- КСР	2
самостоятельная работа	40
Промежуточная аттестация	36 Экзамен

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
1. Чистые помещения	12	3		3	9
2. Методы входного контроля технологических пластин	3	2		2	1
3. Очистка поверхностей технологических пластин	5	2		2	3
4. Осаждение тонких плёнок	5	2		2	3
5. Современные методы фотолитографии	10	3		3	7

6. Плазмохимические методы формирования топологических рисунков	6	2		2	4
7. Высокотемпературная обработка технологических пластин	3	2		2	1
8. Гальванические методы формирования электродов	3	2		2	1
9. Поверхностный монтаж электронных и оптических компонентов	3	2		2	1
10. Разделение пластин на микрочипы	3	2		2	1
11. Механическая обработка оптических соединений	4	2		2	2
12. Методы выходного контроля микрочипов	5	2		2	3
13. Корпусирование микрочипов	4	2		2	2
14. Автоматизация производства микрочипов	4	2		2	2
Аттестация	36				
КСР	2			2	
Итого	108	30	0	32	40

Содержание разделов и тем дисциплины

В рамках курса «Физико-химические основы технологий радиофотоники» представлены материалы, отражающие современное состояние нанoeлектроники и фотоники, а также перспективы развития этих отраслей. К задачам изучения дисциплины относится получение знаний по основным направлениям развития радиофотоники, умений применять данные знания для создания новых твердотельных, в том числе низкоразмерных сред при производстве радиофотонных устройств нового поколения, овладение методами экспериментального исследования, сведениями о современных технологиях изготовления устройств радиофотоники.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Самостоятельная работа студентов включает активное изучение лекционного материала, основной и вспомогательной учебной литературы, а также соответствующих разделов учебных и учебно-методических пособий, перечень которых приведен в п.7 настоящей рабочей программы дисциплины.

В случае отклонения студента от графика учебного процесса по какой-либо причине, в рамках самостоятельной работы может выделяться время на изучение той части лекционного материала, по которому имеет место отставание обучающегося от графика.

Для проведения самостоятельной работы обучающимся предоставляются свободные аудитории, доступ к компьютерной технике и, в случае необходимости, доступ к исследовательскому оборудованию, перечень которого приведен в п.8 настоящей рабочей программы дисциплины.

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

1. Произвести расчёт концентрации аэрозолей в чистом помещении с заданными параметрами.
2. Произвести расчёт расхода деионизованной воды и химических реактивов при групповой очистке технологических пластин в рамках технологического процесса.
3. Произвести на основе экспериментальных данных расчёт времени осаждения тонкой плёнки заданного состава с использованием электронно-лучевого осаждения.
4. Произвести на основе экспериментальных данных расчёт скорости травления тонкой плёнки заданного состава с использованием плазмо-химического травления.
5. Произвести расчёт длительности высокотемпературной обработки для осуществления термодиффузии химического элемента на заданную глубину под поверхность технологической подложки.
6. Произвести расчёт параметров электролитической реакции гальванического осаждения для получения слоя металла заданной толщины в пробельных окнах фоторезистивной маски на поверхности технологической пластины.
7. Провести расчёт последовательности этапов шлифовки и полировки микрочипа из заданного материала с целью минимизации дефектного слоя на полируемой поверхности и длительности технологического процесса.
8. Осуществить микросварку контактных площадок фотонной интегральной микросхемы.
9. Осуществить поверхностный монтаж согласующей нагрузки на компланарную линию.
10. Осуществить измерения оптических потерь в фотонной интегральной схеме.
11. Осуществить планирование технологического маршрута изготовления фотонной интегральной схемы заданной конфигурации.

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-7:

1. Произвести измерения количества аэрозольных частиц в чистом помещении в соответствии с ГОСТ Р ИСО 14644-1-2017.
2. Произвести входной контроль технологической пластины в соответствии с технологическим маршрутом.
3. Произвести оптимизацию дозы экспонирования фоторезиста для повышения пространственного разрешения фотолитографического процесса с учётом заданных условий эксперимента.

4. Произвести расчёт неоднородности тонкой плёнки по толщине при электронно-лучевом методе испарения в зависимости от расстояния между источником испаряемого материала и технологической подложкой.
5. Произвести расчёт глубины радиационных дефектов на поверхности технологической пластины, в зависимости от величины реактивной составляющей плазмо-химического травления.
6. Произвести расчёт расхода газа на процесс высокотемпературной обработки технологической пластины.
7. Произвести расчёт расхода металла на один процесс гальванического осаждения при заданных условиях эксперимента.
8. Произвести разделение технологической пластины на микрочипы.
9. Произвести шлифовку и полировку микрочипа до заданного качества оптической поверхности.
10. Произвести выходной контроль микрочипа в соответствии с технологическим маршрутом.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	предполагает удовлетворительный уровень знаний, умений и владений (навыков), изложенных в программе курса
не зачтено	предполагает неудовлетворительный уровень знаний, умений и владений (навыков), изложенных в программе курса

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несуществе	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.

	ответа			ошибок	нных ошибок		
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1

1. Характеристики чистых помещений различных классов чистоты и методики их расчёта при проектировании
2. Конструкция и принцип работы групповых методов очистки технологических пластин
3. Конструкция установки электронно-лучевого испарения металлов и диэлектриков, способы контроля вакуума в рабочем объёме
4. Конструкция установки магнетронного распыления металлов и диэлектриков, способы контроля толщины тонких плёнок
5. Конструкция установки термического испарения металлов, способы достижения высокого и сверхвысокого вакуума
6. Основные функциональные схемы плазмохимических установок для формирования топологических рисунков
7. Описание физико-химических процессов гальванического осаждения металлов и конструкция гальванической установки
8. Автоматизация производства микрочипов, структура автоматизированных систем

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-7

1. Назначение чистых помещений и их основные конструкционные особенности, принцип работы локальных чистых зон
2. Особенности эксплуатации чистых помещений различных классов чистоты, принцип работы систем шлюзования
3. Аттестация класса чистоты помещения и его периодический технический контроль, принцип работы счётчиков частиц
4. Организация входного контроля, методы входного контроля технологических пластин, применяемых в микроэлектронике
5. Методы удаления загрязнений на поверхности технологических пластин, применяемых в микроэлектронике
6. Технология очистки технологических пластин, выполненных из кремния и ниобата лития
7. Технология очистки технологических пластин, выполненных из арсенида галлия и фосфида индия

8. Методы осаждения тонких плёнок, а также особенности их применения.
9. Способы формирования литографических рисунков, используемые в микроэлектронике, а также особенности их применения.
10. Технология формирования фотолитографических рисунков.
11. Номенклатура фоторезистов, используемых в микроэлектронике, а также особенности их применения.
12. Методы повышения пространственного разрешения фотолитографии.
13. Требования к техническим условиям формирования фотолитографических рисунков.
14. Физические основы плазмохимических методов формирования топологических рисунков
15. Номенклатура газов, применяемых в плазмохимических методах формирования топологических рисунков, а также особенности их применения
16. Применение высокотемпературной обработки в микроэлектронике и радиофотонике, конструкция трубчатой печи
17. Применение гальванического осаждения металлов в радиофотонике, технология формирования копланарных линий
18. Номенклатура металлов осаждаемых с использованием гальванических методов и соответствующие им электролиты
19. Поверхностный монтаж компонентов на технологические пластины, применяемые в микроэлектронике
20. Технология разделения пластин на микрочипы
21. Технология механической обработки оптических соединений
22. Организация выходного контроля, методы выходного контроля микрочипов.
23. Корпусирование микрочипов, технологии пиктейлирования и микросварки

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой

Оценка	Критерии оценивания
отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Сивухин Дмитрий Васильевич. Общий курс физики : Учебное пособие для вузов: В 5 томах Том 3: Электричество. - 6-е изд. - Москва : Издательская фирма "Физико-математическая литература" (ФИЗМАТЛИТ), 2015. - 656 с. - ВО - Бакалавриат. - ISBN 978-5-9221-1643-5., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=621748&idb=0>.
2. Нанотехнологии в электронике. Выпуск 2 / Чаплыгин Ю.А. - Москва : Техносфера, 2013., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=645430&idb=0>.
3. Телекоммуникационные системы и сети. Т. 2. Радиосвязь, радиовещание, телевидение / Катунин Г.П., Мамчев Г.В., Попантонопуло В.Н., Шувалов В.П. - Москва : Горячая линия - Телеком, 2014., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=646267&idb=0>.
4. Шелованова Галина Николаевна. Современные проблемы микро - и нанoeлектроники : Учебное пособие. - Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2017. - 128 с. - ВО - Бакалавриат. - ISBN 978-5-7638-3775-9., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=627938&idb=0>.
5. Лучинин Виктор Викторович. Нанотехнология: физика, процессы, диагностика, приборы : Монография. - Москва : Издательская фирма "Физико-математическая литература" (ФИЗМАТЛИТ), 2006. - 552 с. - ВО - Магистратура. - ISBN 5-9221-0719-4., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=609797&idb=0>.
6. Носов Юрий Романович. Оптоэлектроника. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Радио и связь, 1989.

- 359, [1] с. : ил. - ISBN 5-256-00246-5 : 1.70., 3 экз.

7. Гуртов Валерий Алексеевич. Твёрдотельная электроника : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров, магистров 010700 "Физика" и специальности 010701 "Физика". - 3-е доп. изд. - М. : Техносфера, 2008. - 512 с. - (Мир электроники ; 7 - 37). - Библиогр.: с. 504 - 508. - ISBN 978-5-94836-187-1 : 583.00., 102 экз.

8. Барыбин Анатолий Андреевич. Электроника и микроэлектроника. Физико-технологические основы : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлениям 550700 и 654100 "Электроника и микроэлектроника" подготовки бакалавров, магистров и дипломированных специалистов. - М. : Физматлит, 2006. - 424 с. - ISBN 5-9221-0679-1 : 264.00., 9 экз.

9. Ермаков О. Н. Прикладная оптоэлектроника. - М. : Техносфера, 2004. - 416 с. - (Мир электроники ; 7 - 05). - Библиогр. список: с. 412. - Предмет. указ.: с. 413 - 414. - ISBN 5-94836-023-7 : 225.00., 2 экз.

Дополнительная литература:

1. Чистые помещения / под ред. И. Хаякавы ; пер. с яп. В. Ю. Акифьева [и др.] ; под ред. В. Г. Ржанова, В. И. Ушакова. - М. : Мир, 1990. - 454 с. : ил. - ISBN 5-03-000363-0 (в пер.) : 4.20., 1 экз.

2. Моро Уэйн. МикролитогRAFия : Принципы, методы, материалы : в 2 ч. Ч. 1 / пер. с англ. под ред. Р. Х. Тимерова ; предисл. К. А. Валиева. - М. : Мир, 1990. - 606 с. : ил. - ISBN 5-03-001372-5 : 4.50., 1 экз.

3. Моро Уэйн. МикролитогRAFия : Принципы, методы, материалы : в 2 ч. Ч. 2 / пер. с англ. под ред. Р. Х. Тимерова ; предисл. К. А. Валиева ; пер. ч.: Д. Ю. Зарослова [и др.]. - М. : Мир, 1990. - 625 с. : ил. - ISBN 5-03-001372-5 : 5.00., 1 экз.

4. Аваев Николай Александрович. Основы микроэлектроники : учеб. пособие для радиотехн. специальностей вузов. - М. : Радио и связь, 1991. - 287, [1] с. : ил. - ISBN 5-256-00692-4 (в пер.) : 2.00., 52 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

1. <http://www.lib.unn.ru/> - сайт Фундаментальной библиотеки ННГУ.

2. <http://www.unn.ru/books/> - фонд образовательных электронных ресурсов ННГУ.

3. <https://biblio-online.ru/> - сайт электронной библиотеки «Юрайт», содержащий в открытом доступе книги по отдельным разделам дисциплины.

4. <https://e.lanbook.com> – сайт электронно-библиотечной системы «ЛАНЬ», содержащий в открытом доступе книги по отдельным разделам дисциплины.

5. <http://www.sciencedirect.com> – сайт международного издательства «Elsevier», публикующего статьи и монографии по актуальным направлениям физики конденсированного состояния и физического материаловедения, совпадающим с тематикой отдельных разделов преподаваемой дисциплины.

6. <http://elibrary.ru/defaultx.asp> - российская научная электронная библиотека «Elibrary», публикующая статьи, тематика которых совпадает с тематикой отдельных разделов преподаваемой дисциплины.

7. <http://znanium.com> – сайт электронно-библиотечной системы «Znanium.com», содержащий книги по отдельным разделам дисциплины.

8. <http://eqworld.ipmnet.ru/> - сайт электронной библиотеки EqWord, содержащий книги по отдельным разделам дисциплины

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами.

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 ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 11.04.04 - Электроника и нанoeлектроника.

Автор(ы): Дорохин Михаил Владимирович, доктор физико-математических наук, доцент
Бобров Александр Игоревич, кандидат физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Чувильдеев Владимир Николаевич, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 20.05.2023, протокол № б/н.