

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»



УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор

 А.В. Толстиков

29 марта 2022 г.

ПУЧКОВО-ПЛАЗМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Рабочая программа

для обучающихся по научной специальности 2.2.2. Электронная компонентная база
микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств
форма обучения (очная)

Удовиченко Сергей Юрьевич. Пучково-плазменные нанотехнологии. Рабочая программа для обучающихся по научной специальности 2.2.2 Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств, формы обучения (очная). Тюмень, 2022.

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями ФГТ (приказ Минобрнауки России № 951 от 20 октября 2021 года).

Рабочая программа дисциплины Пучково-плазменные нанотехнологии опубликована на сайте ТюмГУ: [электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.utmn.ru/sveden/education/#>.

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Цель дисциплины – углубленное изучение способов обработки материалов потоками электронов, ионов, плазмы и нейтральных атомов для создания материалов электронных компонент и устройств микро- и нанoeлектроники.

Задачи дисциплины:

- изучение современного оборудования, использующего пучково-плазменные технологии для производства материалов электронных компонент и устройств микро- и нанoeлектроники,
- освоение нанотехнологий: магнетронного осаждения тонкопленочных материалов электроники, ионного легирования и травления, плазмохимического травления.
- ознакомление с применением этих технологий для создания материалов электронных компонент и устройств микро- и нанoeлектроники.

2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения данной дисциплины

ПК-2: умение выбрать и применять современное технологическое и аналитическое оборудование, необходимое для создания и исследования материалов и электронных компонент микро- и нанoeлектроники;

ПК-3: владение методами создания и исследования материалов и электронных компонент микро- и нанoeлектроники.

3. Структура и объем дисциплины

Таблица 1

Вид учебной работы		Всего часов	Часов в семестре
			4 семестр
Общая трудоемкость	зач. ед.	3	3
	час	108	108
Из них:			
Часы аудиторной работы (всего):		22	22
Лекции		12	12
Практические занятия		10	10
Лабораторные / практические занятия по подгруппам		0	0
Часы внеаудиторной работы, включая самостоятельную работу обучающегося		50	50
Вид промежуточной аттестации (зачет, диф. зачет, кандидатский экзамен)		36	Дифференцированный зачет 36

4. Система оценивания

Форма промежуточной аттестации – дифференцированный зачет.

Необходимым условием допуска к зачёту является сдача контрольной работы. Аспиранты сдают зачёт в устной форме по вопросам из пункта 7.1. Вопросы на зачёте задаёт принимающий его преподаватель. Зачет проходит в устной форме, аспиранту дается 45 минут на подготовку к вопросу.

Критерии оценки результатов дифференциального зачета:

Оценка «отлично» ставится при соблюдении следующих условий:

- грамотное и правильное использование в ответах терминологии;
- безошибочное владение категориальным аппаратом науки;
- умение обозначить основные проблемы сформулированных в билетах вопросов;

- безошибочное знание фактического материала;
- историографические знания в рамках вопросов билета;
- умение связать ответ на вопрос с темой диссертационного исследования;
- логичность, связность ответа.

Оценка «хорошо» ставится при соблюдении следующих условий:

- грамотное использование в ответах терминологии;
- проблемное изложение сформулированных в билетах вопросов;
- отдельные ошибки при изложении фактического материала;
- умение связать ответ на вопрос с темой диссертационного исследования;
- логичность, связность ответа.

Оценка «удовлетворительно» ставится за:

- недостаточное использование в ответах терминологии;
- недостаточное владение категориальным аппаратом науки;
- умение обозначить только одну из проблем, сформулированных в билетах вопросов;

- ошибки при изложении фактического материала;
- нарушение логичности и связности ответа.

Оценка «неудовлетворительно» ставится за:

- отсутствие в ответах необходимой терминологии;
- описательное изложение сформулированных в билетах вопросов, неумение обозначить и изложить проблемы;
- грубые ошибки при изложении фактического материала;
- неумение связать ответ на вопрос с темой диссертационного исследования;
- нарушение логичности, связности ответа.

Контрольная работа оценивается по следующей шкале:

2 («неудовлетворительно») - задание не выполнено; при выполнении задания допущены существенные ошибки; отсутствие общей идеи, системы, частичное выполнение задания.

3 («удовлетворительно») - выполнение задания с несущественными 1-2 ошибками.

4 («хорошо») - выполнение без ошибок в соответствии с заданием.

5 («отлично») - выполнение без ошибок, творческий подход, содержание шире задания.

5. Содержание дисциплины

5.1. Тематический план дисциплины

Таблица 2

№ п/п	Наименование тем и/или разделов	Объем дисциплины, час.				
		Всего	Виды аудиторной работы (академические часы)			Иные виды контактной работы
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные/практические занятия по подгруппам	
1	2	3	4	5	6	7
	Часов в 4 семестре	58	12	10	0	36
	Пучково-плазменные нанотехнологии	58	12	10	0	36
1	Современное оборудование для	4	2	2	0	0

	пучково-плазменных технологий					
2	Технология магнетронного осаждения тонкопленочных материалов электроники.	4	2	2	0	0
3	Плазмохимическое травление.	2	2	0	0	0
4	Технология ионного легирования.	4	2	2	0	0
5	Ионное травление	4	2	2	0	
6	Создание наноматериалов и устройств электроники.	4	2	2	0	0
7	Дифференцированный зачет	36	0	0	0	36
	Итого часов	58	12	10	0	36

5.2. Содержание дисциплины по темам

Планы лекционных занятий

Тема 1. Современное оборудование для пучково-плазменных технологий производства материалов и устройств наоэлектроники. Производственная чистота технологического процесса. Системный подход к процессам микро- и нанотехнологий. Кластерное нанотехнологическое оборудование. Аналитическое оборудование.

Тема 2. Технология магнетронного осаждения тонкопленочных материалов наоэлектроники. Способы равномерного нанесения пленки. Реактивное магнетронное распыление. Моделирование процесса реактивного нанесения покрытий. Способы управления процессом реактивного магнетронного распыления. Импульсное магнетронное распыление.

Тема 3. Плазмохимическое травление. Механизм плазмохимического травления материалов. Основные системы и узлы модуля ПХТ. Оптимизация технологических режимов. Проблемы создания элементов топологии интегральных схем.

Тема 4. Технология ионного легирования. Особенности и возможности технологии ионной имплантации. Основные системы и узлы модуля имплантации ФИП. Ионное легирование полупроводников. Проблемы технологии ионной имплантации при создании электронных приборов и ИС.

Тема 5. Ионное травление. Физическое травление материалов ионным пучком. Ионный пучок – нанофреза диаметром 15 нм. Устройство модуля нанообработки фокусированными ионными пучками. Жидкометаллический источник ионов и принци его работы. Технологические операции с применением фокусированных ионных пучков с энергией до 30 КэВ, в том числе операции нанолитографии, резки и визуализации нанозащитных и наноструктур, очистки поверхности полупроводниковых пластин и пр.

Тема 6. Создание наноматериалов и устройств электроники. Проблемы оптоэлектроники при создании излучающих материалов. Разработка и исследование материала, обладающего высокой электролюминесценцией. Информационные технологии и аппаратные средства. Разработка и исследование мемристорного наноматериала.

Создание мемристорных микросхем для искусственных когнитивных систем и для ассоциативных компьютеров.

Планы практических занятий

Тема 1. Технология магнетронного осаждения материалов для наноэлектроники.

1. Устройство модуля магнетронного распыления.
2. Нанесение пленки мериторного слоя оксида металла в режиме реактивного магнетронного распыления.
3. Нанесение проводящих дорожек на оксидный слой для изготовления мемристора.

Тема 2. Плазменные технологии в модуле плазмохимического травления.

1. Утонение образа на большой площади. Выбор реактивного газа и скорость травления поверхности материала.
2. Эффективная очистка поверхности материалов и снятие естественного окисла перед последующими технологическими операциями.
3. Формирование топологических рисунков через маскирующие слои; осаждение аморфных пленок материалов.

Образцы средств для проведения текущего контроля

Оценочное средство: контрольная работа.

Проводится по теоретическому материалу. Для подготовки необходимо проработать лекцию и прочитать рекомендуемую литературу по теме.

Темы контрольной работы.

1. Технология магнетронного осаждения тонкопленочных материалов электроники.
2. Реактивное магнетронное распыление. Способы управления процессом реактивного магнетронного распыления. Импульсное магнетронное распыление.
3. Плазмохимическое травление. Механизм плазмохимического травления материалов.
4. Технология ионного легирования. Особенности и возможности технологии ионной имплантации. Основные системы и узлы модуля имплантации ФИП. Проблемы технологии ионной имплантации при создании электронных приборов и ИС.
5. Устройство модуля нанообработки фокусированными ионными пучками. Технология ионного травления поверхности материалов.
6. Разработка и исследование мемристорного наноматериала. Создание мемристорных микросхем для искусственных когнитивных систем и для ассоциативных компьютеров.

6. Учебно-методическое обеспечение и планирование самостоятельной работы обучающихся

Таблица 3

№ темы	Темы	Формы СРС, включая требования к подготовке к занятиям
1.	Современное оборудование для пучково-плазменных технологий производства интегральных схем.	Чтение обязательной и дополнительной литературы. Проработка лекций.
2.	Технология магнетронного осаждения тонкопленочных материалов электроники.	Чтение обязательной и дополнительной литературы. Проработка лекций.

3.	Плазмохимическое травление.	Чтение обязательной и дополнительной литературы. Проработка лекций.
4.	Технология ионного легирования.	Чтение обязательной и дополнительной литературы. Проработка лекций.
5.	Ионное травление.	Чтение обязательной и дополнительной литературы. Проработка лекций.
6.	Создание наноматериалов и устройств электроники.	Чтение обязательной и дополнительной литературы. Проработка лекций.

Чтение обязательной и дополнительной литературы, предусмотренной рабочей программой дисциплины. Контроль – на практических занятиях в устной форме при обсуждении теоретических вопросов.

Проработка лекций предполагает присутствие обучаемого на лекционных занятиях и конспектирование материала. Контроль – на практических занятиях в устной форме при обсуждении теоретических вопросов.

7. Промежуточная аттестация по дисциплине

7.1 Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Форма проведения промежуточной аттестации – дифференцированный зачет. Зачёт проводится устно в форме собеседования по прилагаемому ниже примерному перечню вопросов.

Примерный перечень вопросов к зачёту

1. Способы равномерного нанесения пленки.
2. Реактивное магнетронное распыление.
3. Способы управления процессом реактивного магнетронного распыления.
4. Импульсное магнетронное распыление.
5. Механизм плазмохимического травления материалов.
6. Основные системы и узлы модуля ПХТ.
7. Особенности и возможности технологии ионной имплантации.
8. Основные системы и узлы модуля имплантации ФИП.
9. Ионное легирование полупроводников.
10. Проблемы технологии ионной имплантации при создании электронных приборов и ИС.
11. Исследование материала, обладающего высокой электролюминесценцией.
12. Информационные технологии и аппаратные средства.
13. Разработка и исследование мемристорного наноматериала.
14. Создание мемристоров и мемристорных массивов для нейроморфных систем.

7.2 Критерии оценивания

Критерии оценки результатов дифференциального зачета:

Оценка «отлично» ставится при соблюдении следующих условий:

- грамотное и правильное использование в ответах терминологии;
- безошибочное владение категориальным аппаратом науки;
- умение обозначить основные проблемы сформулированных в билетах вопросов;
- безошибочное знание фактического материала;
- историографические знания в рамках вопросов билета;
- умение связать ответ на вопрос с темой диссертационного исследования;
- логичность, связность ответа.

Оценка «хорошо» ставится при соблюдении следующих условий:

- грамотное использование в ответах терминологии;
- проблемное изложение сформулированных в билетах вопросов;
- отдельные ошибки при изложении фактического материала;
- умение связать ответ на вопрос с темой диссертационного исследования;
- логичность, связность ответа.

Оценка «удовлетворительно» ставится за:

- недостаточное использование в ответах терминологии;
- недостаточное владение категориальным аппаратом науки;
- умение обозначить только одну из проблем, сформулированных в билетах вопросов;

- ошибки при изложении фактического материала;

- нарушение логичности и связности ответа.

Оценка «неудовлетворительно» ставится за:

- отсутствие в ответах необходимой терминологии;
- описательное изложение сформулированных в билетах вопросов, неумение обозначить и изложить проблемы;

- грубые ошибки при изложении фактического материала;

- неумение связать ответ на вопрос с темой диссертационного исследования;

- нарушение логичности, связности ответа.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)**8.1 Основная литература:**

1. Технологии конструкционных наноструктурных материалов и покрытий / под ред. Г.В. Малахова, П. А. Витязь, К.А. Солнцев. - Минск : Белорусская наука, 2011. - 284 с. - ISBN 978-985-08-1292-6 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://www.iprbookshop.ru/12322.html> (28.03.2022)

8.2 Дополнительная литература:

1. Удовиченко С.Ю. Пучково-плазменные технологии для создания материалов и устройств микро- и нанoeлектроники: учебное пособие // Изд-во ТюмГУ, 2016. - 228 с.; ISBN 978-5-400-01349-2; Электрон. версия печ. публикации. - Режим доступа : https://library.utmn.ru/dl/PPS/Udovichenko_530_UP_2016pdf (28.03.2022)

2. Неволин, В.К. Зондовые нанотехнологии в электронике : монография / В.К. Неволин. - Изд. 2-е, испр. - М. : Техносфера, 2014. - 174 с. : ил., схем., табл. - (Мир электроники). - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-94836-382-0; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://www.iprbookshop.ru/26894.html> (28.03.2022)

3. Витязь, П.А. Основы нанотехнологий и наноматериалов : учебное пособие / П.А. Витязь, Н.А. Свидуневич. - Минск : Вышэйшая школа, 2010. - 304 с. - ISBN 978-985-06-1783-5 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://www.iprbookshop.ru/20108.html> (28.03.2022)

8.3 Интернет-ресурсы:

1. Удовиченко С.Ю. Пучково-плазменные технологии для модификации конструкционных материалов и создания наноматериалов. Учебное пособие. – С.Пб.: ГУАП, 2009, 100 с. <https://ru.b-ok.com/book/3245992/f32e8d> (28.03.2022)
2. Берлин Е.В., Двинин С.А., Сейдман Л.А. Вакуумная технология и оборудование для нанесения и травления тонких пленок. – М.: «Техносфера», 2007, 176 с. <https://studizba.com/files/show/djvu/1939-7-berlin-e--vakuumnaya-tehnologiya-i.html> (28.03.2022)
3. Достанко А.П. Технологические процессы и системы в микроэлектронике: плазменные, электронно-ионно-лучевые, ультрозвуковые / А.П. Достанко,

- В.Г.Залесский, А.М. Русецкий и др. – Минск.: Бестпринт, 2009. - 199 с. [Электронный ресурс]. - URL: http://www.bsuir.by/m/12_101523_1_75921.pdf (28.03.2022)
4. Ефремов А.М. Вакуумно-плазменные процессы и технологии. Учеб. пособие / А.М.Ефремов, В.И. Светцов, В.В. Рыбкин. – Иваново: Ивановский гос. химико-технологический университет, 2006. – 260 с. [Электронный ресурс]. - URL: http://main.isuct.ru/files/publ/PUBL_ALL/124.pdf (28.03.2022)

8.4. Современные базы данных и информационные справочные системы:

Международные реферативные базы данных и системы цитирования Web of Science, Scopus, Astrophysics, PubMed, Mathematics, Chemical Abstracts, Springer, Agris, GeoRef, MathSciNet, BioOne, Compendex, CiteSeerX и т.п.

9. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине:

- Применение мультимедийного оборудования для проведения докладов-презентаций.
- Работа с Интернетом.
- Работа с информационным порталом ИБЦ ТюмГУ.

В случае дистанционной формы обучения рекомендуется использовать Microsoft Teams.

10. Технические средства и материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Лекционная аудитория с мультимедийным оборудованием.

Специальные лаборатория пучково-плазменных технологий, лаборатория электронной и зондовой микроскопии НОЦ "Нанотехнологии".

Список оборудования для проведения практических занятий:

1. Модуль магнетронного распыления НТК «НаноФаб-100».
2. Модуль ионной имплантации НТК «НаноФаб-100».
3. Модуль ионного травления НТК «НаноФаб-100».
4. Модуль плазмохимического травления НТК «НаноФаб-100».

11. Средства адаптации преподавания дисциплины (модуля) к потребностям лиц с ограниченными возможностями

В случае необходимости, обучающимся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья (по заявлению обучающегося) могут предлагаться одни из следующих вариантов восприятия информации с учетом их индивидуальных психофизических особенностей, в том числе с применением электронного обучения и дистанционных технологий:

- для лиц с нарушениями зрения: в печатной форме увеличенным шрифтом; в форме электронного документа; в форме аудиофайла (перевод учебных материалов в аудиоформат); индивидуальные задания и консультации.

- для лиц с нарушениями слуха: в печатной форме; в форме электронного документа; индивидуальные задания и консультации.

- для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата: в печатной форме; в форме электронного документа; в форме аудиофайла; индивидуальные задания и консультации.

12. Методические рекомендации обучающимся по выполнению самостоятельной работы

Самостоятельная работа включает проработку лекций, выполнение контрольной работы, подготовка к дифференцированному зачету в форме устного собеседования.

Самостоятельная работа обеспечивает подготовку аспиранта к текущим аудиторным занятиям и контрольным мероприятиям. Результаты этой подготовки проявляются в активности аспиранта на занятиях и в качестве выполненных контрольных работ.

При проработке лекций рекомендуется обратиться к конспектам лекционного материала (кратко, схематично, последовательно зафиксированным основным положениям, выводам, формулировкам, обобщениям), проверить использованные в лекции термины и понятия с помощью словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь.

Следует обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе.

Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации, на практическом занятии.

Методические рекомендации по подготовке к практическим занятиям

Практические занятия представляют особую форму сочетания теории и практики. Их назначение – углубление проработки теоретического материала предмета путем регулярной и планомерной самостоятельной работы аспирантов на протяжении всего курса. Процесс подготовки к практическим занятиям включает изучение нормативных документов, обязательной и дополнительной литературы по рассматриваемому вопросу.

Непосредственное проведение практического занятия предполагает, например:

- индивидуальные выступления аспирантов с сообщениями по какому-либо вопросу изучаемой темы;
 - фронтальное обсуждение рассматриваемой проблемы, обобщения и выводы;
 - решение задач и упражнений;
 - решение ситуационных производственных (профессиональных) задач;
 - проектирование и моделирование разных видов и компонентов профессиональной деятельности.
- выполнение контрольных работ.

При подготовке к практическим занятиям аспирантам рекомендуется: внимательно ознакомиться с тематикой практического занятия; прочесть конспект лекции по теме, изучить рекомендованную литературу; составить краткий план ответа на каждый вопрос практического занятия; проверить свои знания, отвечая на вопросы для самопроверки; если встретятся незнакомые термины, обязательно обратиться к словарю и зафиксировать их в тетради.

Все письменные задания выполнять в рабочей тетради.

Практические занятия развивают у аспирантов навыки самостоятельной работы по решению конкретных задач.

При подготовке к дифференцированному зачету в форме устного собеседования рекомендуется актуализация и анализ содержания материала лекционных и практических занятий; чтение обязательной и дополнительной литературы; самостоятельный поиск информации по отдельным вопросам с использованием различных видов источников.