

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»

УТВЕРЖДЕНО

решением ученого совета ННГУ

протокол от "30"ноября 2022 г. №13

Рабочая программа дисциплины
«Лазерно- и ионно-лучевые методы в нанотехнологии»

Уровень высшего образования

Подготовка научных и научно-педагогических кадров

Научные специальности

1.1.2. Дифференциальные уравнения и математическая физика, 1.1.4. Теория вероятностей и математическая статистика, 1.1.5. Математическая логика, алгебра, теория чисел и дискретная математика, 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела, 1.2.1. Искусственный интеллект и машинное обучение, 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, 1.3.11. Физика полупроводников, 1.3.19. Лазерная физика, 1.3.4. Радиофизика, 1.3.7. Акустика, 1.3.8. Физика конденсированного состояния, 1.4.1. Неорганическая химия, 1.4.2. Аналитическая химия, 1.4.3. Органическая химия, 1.4.4. Физическая химия, 1.4.7. Высокомолекулярные соединения, 1.4.8. Химия элементоорганических соединений, 1.5.11. Микробиология, 1.5.15. Экология, 1.5.2. Биофизика, 1.5.21. Физиология и биохимия растений, 1.5.5. Физиология человека и животных, 2.2.2. Электронная компонентная база микро и нанoeлектроники, квантовых устройств, 3.2.7. Аллергология и иммунология, 5.1.1. Теоретико-исторические правовые науки, 5.1.2. Публично-правовые (государственно-правовые) науки, 5.1.3. Частно-правовые (цивилистические) науки, 5.1.4. Уголовно-правовые науки, 5.1.5. Международно-правовые науки, 5.12.1. Междисциплинарные исследования когнитивных процессов, 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика, 5.2.4. Финансы, 5.2.6. Менеджмент, 5.3.7. Возрастная психология, 5.4.2. Экономическая социология, 5.4.4. Социальная структура, социальные институты и процессы, 5.4.6. Социология культуры, 5.4.7. Социология управления, 5.5.2. Политические институты, процессы, технологии, 5.5.4. Международные отношения, глобальные и региональные исследования, 5.6.1. Отечественная история, 5.6.2. Всеобщая история, 5.6.7. История международных отношений и внешней политики, 5.7.1. Онтология и теория познания, 5.8.2. Теория и методика обучения и воспитания, 5.8.7. Методология и технология профессионального образования, 5.9.2. Литературы народов мира, 5.9.5. Русский язык. Языки народов России, 5.9.6. Языки народов зарубежных стран (с указанием конкретного языка или группы языков), 5.9.9. Медиакommunikации и журналистика

Нижний Новгород
2023 год

1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Лазерно- и ионно-лучевые методы в нанотехнологии» является факультативной дисциплиной по выбору и изучается на 2 году обучения в 4 семестре.

Целями освоения дисциплины являются:

а) Формирование у обучающихся представлений о новых тенденциях использования лазерных и ионных пучков в технологии полупроводниковых структур. В рассматриваемых в курсе методах для достижения новых возможностей в создании и модифицировании наноразмерных областей используются чрезвычайно высокие плотности пучковой энергии, падающей на объекты; б) Изучение основных эффектов, происходящих в твердых телах при воздействии на них мощного лазерного излучения и ионных пучков (в первую очередь, фокусированных ионных пучков); в) Получение представлений о современной технике, позволяющей получать ионные и лазерные пучки; изучение возможностей указанных методов для создания перспективных полупроводниковых.

3. Структура и содержание дисциплины.

Объем дисциплины (модуля) составляет всего - 36 часа, из которых 36 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа – 36 часов.

Таблица 2

Структура дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
	Очное					
Тема 1. Введение	2	2			2	
Тема 2. Принципы построения аппаратуры для ионной бомбардировки. Процессы, происходящие при воздействии ионного пучка на твердое тело	10	4			4	6
Тема 3. Ионное распыление. Физические механизмы. Зависимости коэффициента распыления от параметров. Ионно-ионная эмиссия и ее применение.	12	6			6	4
Тема 4. Принцип работы систем с фокусированным ионным пучком. Применения.	12	6			6	4

Тема 5. Мощные лазеры для нанотехнологий. Механизмы взаимодействия лазерного излучения с веществом.	12	6			6	8
Тема 6. Классификация и применения лазерных технологических процессов.	12	6			6	8
Тема 7. Лазерная плазма. Характеристики лазерной плазмы.	11	6			6	5
ВСЕГО	72	36			36	35
В т.ч.текущий контроль	2					
Промежуточная аттестация - зачет						

Таблица 3

Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Форма проведения занятия	Форма текущего контроля*
1	Введение	Цель и задачи курса. Основная и дополнительная литература. Основные области применения лазерных и ионных пучков в полупроводниковой технологии	Лекция	
2	Принципы построения аппаратуры для ионной бомбардировки. Процессы, происходящие при воздействии ионного пучка на твердое тело	Принципы построения аппаратуры для ионной бомбардировки. Процессы, происходящие при воздействии ионного пучка на твердое тело: распыление, дефектообразование и другие эффекты.	Лекции	Консультации
3	Ионное распыление. Физические механизмы. Зависимости коэффициента распыления от параметров. Ионно-ионная эмиссия и ее применение.	Физические механизмы (теория Зигмунда и теория Томсона). Угловое и энергетическое распределение распыленных частиц. Зависимости коэффициента распыления от энергии, массы ионов, угла падения. Расчет толщины распыленного слоя. Ионно-ионная эмиссия и ее применение. Модели ионно-ионной эмиссии. Влияние состояния поверхности на коэффициент ионно-ионной эмиссии. Метод вторичной ионной масс-спектрометрии: аппаратура, принцип работы аппарата с разрешением по времени, принципы калибровки, вклады в уширение профиля. Возможности метода.	Лекции	Консультации

4	Принцип работы систем с фокусированным ионным пучком. Применения.	Электронно-ионный микроскоп. Применение ФИП для формирования наноструктур. Химические приемы в методе ФИП.	Лекции	Консультации
5	Мощные лазеры для нанотехнологий. Механизмы взаимодействия лазерного излучения с веществом.	Неодимовый импульсный лазер, эксимерный лазер. Процессы передачи энергии лазерного излучения металлам. Механизмы поглощения лазерного излучения полупроводниками. Процессы нагрева материалов при воздействии лазерного излучения.	Лекции	Консультации
6	Классификация и применения лазерных технологических процессов.	Критические плотности энергии лазерного излучения для различных материалов. Классификация и применения лазерных технологических процессов: отжиг, легирование, геттерирование, образование силицидов, окисление, травление, скрайбирование, подгонка.	Лекции	Консультации
7	Лазерная плазма. Характеристики лазерной плазмы.	Осаждение тонких пленок с использованием лазерной абляции.	Лекции	Консультации

4. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся

Во время самостоятельной работы аспиранты приобретают практические навыки проведения анализа и систематизации информации, связанной с исследованием нанoeлектронных приборов, строить физико-математические модели наноразмерных элементов. Самостоятельная работа аспирантов обеспечивается учебно-методическими пособиями, учебной и научной литературой.

5. Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине

5.1. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине.

При выполнении всех работ учитываются следующие **основные критерии**:

- уровень теоретических знаний (подразумевается не только формальное воспроизведение информации, но и понимание предмета, которое подтверждается правильными ответами на дополнительные, уточняющие вопросы, заданные членами комиссии);
- умение использовать теоретические знания при анализе конкретных проблем, ситуаций;
- качество изложения материала, то есть обоснованность, четкость, логичность ответа, а также его полнота (то есть содержательность, не исключающая сжатости);
- способность устанавливать внутри- и межпредметные связи,
- оригинальность мышления, знакомство с дополнительной литературой и другие факторы.

Описание шкалы оценивания на промежуточной аттестации в форме зачета

Оценка	Уровень подготовленности, характеризуемый оценкой
<i>Зачтено</i>	владение программным материалом, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, умение самостоятельно обозначить проблемные ситуации в организации научных исследований, способность критически анализировать и сравнивать существующие подходы и методы к оценке результативности научной деятельности, свободное владение источниками, умение четко и ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях.
<i>Не зачтено</i>	непонимание смысла ключевых проблем, недостаточное владение науковедческой терминологией, неумение самостоятельно обозначить проблемные ситуации, неспособность анализировать и сравнивать существующие концепции, подходы и методы, неумение ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях.

5.2. Примеры типовых контрольных заданий или иных материалов, используемых для оценивания результатов обучения по дисциплине

Вопрос 9.

При имплантации однозарядного молекулярного иона SiF^+ с энергией 100 кэВ в полупроводник (Ge) какова энергия атома кремния после диссоциации молекулы?

Варианты ответа:

- (1) 20 кэВ;
- (2) ≈ 60 кэВ;
- (3) 85 кэВ.

Шкала оценки:

5 баллов – ответ (2);

0 баллов – ответы (1, 3).

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.

а) основная литература:

- Аброян, И.А. Физические основы электронной и ионной технологий / И.А. Аброян, А.Н. Андронов, А.И. Титов // М.: Высш. шк., 1984. – 320 с. (библиотека НИФТИ ННГУ – 6 экз.)
- Ионно-плазменная обработка материалов: Курс лекций [Электронный ресурс] / Кузнецов Г.Д., Кушхов А.Р. - М.: МИСиС, 2008. - <http://www.studentlibrary.ru/book/2227-8397-2008-02.html> - доступ с компьютеров ННГУ.
- Малов И.Е. Лазеры в микроэлектронике / И.Е. Малов, И.Н. Шиганов. Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – 73 с. (доступ с компьютеров ННГУ - http://www.studentlibrary.ru/book/bauman_0558.html)

б) дополнительная литература:

- Макаров, Г.Н. Применение лазеров в нанотехнологии: получение наночастиц и наноструктур методами лазерной абляции и лазерной нанолитографии // Успехи физических наук. – 2013. – Т.183, в.7. – С.673-718. Доступ с компьютеров ННГУ: <http://www.ufn.ru/>

2. Хомич, В.Ю. Механизмы и модели прямого лазерного наноструктурирования материалов / В.Ю. Хомич, В.А. Шмаков // Успехи физических наук. – 2015. – Т.185, в.5. – С.489-499. Доступ с компьютеров ННГУ: <http://www.ufn.ru/>
3. Риссел, Х. Ионная имплантация / Х. Риссел, И. Руге // М.: Наука, 1983. – 360 с. (библиотека НИФТИ ННГУ – 6 экз.)
4. Делоне, Н.Б. Взаимодействие лазерного излучения с веществом. Курс лекций / Н.Б. Делоне // М.: Наука, 1989. – 280 с. (библиотека НИФТИ ННГУ – 3 экз.)

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

Для углубленного изучения вопросов дисциплины рекомендуется чтение обзорных и оригинальных статей в журналах, имеющихся в открытом доступе для ННГУ:

1. Физика и техника полупроводников: <http://journals.ioffe.ru/ftp/>
2. Физика твердого тела: <http://journals.ioffe.ru/ftt/>
3. Успехи физических наук: <http://www.ufn.ru/>.

2. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- помещения для проведения занятий: лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду;
- материально-техническое обеспечение, необходимое для реализации дисциплины, включая лабораторное оборудование: Для демонстрации некоторых процессов (например, ионно-имплантационной изоляции слоев GaAs нанометровой толщины; и лазерного отжига ионно-имплантированного полупроводника) используется оборудование, которое постоянно применяется для проведения НИР на физическом факультете и в НИФТИ ННГУ, включая:
 - Установку исследования эффекта Холла методом Ван-дер-Пау;
 - Ускоритель ионов ИЛУ-3;
 - Импульсный мощный неодимовый лазер LQ-524
- лицензионное программное обеспечение: программное обеспечение SRIM-2008 для расчета дефектообразования в полупроводниках при ионном облучении.

Рабочая программа учебной дисциплины составлена в соответствии с учебным планом, Положением о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) (Постановление Правительства РФ от 30.11.2021 № 2122), Федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) (Приказ Минобрнауки РФ от 20.10.2021 № 951).

Рецензент

д.ф.-м.н., профессор

_____ Е.С. Демидов

Заведующий кафедрой

физики полупроводников, электроники и нанoeлектроники

д.ф.-м.н. профессор

_____ Д. А. Павлов

Программа одобрена на заседании методической комиссии физического факультета от
_____ 2022 года, протокол № б/н