

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»



УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета радиотехники
и электроники

_____/ В.А. Небольсин /

31 августа 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

«Основы лучевых и плазменных технологий»

Направление подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года / 4 года и 11 мес.

Форма обучения очная / заочная

Год начала подготовки 2021

Автор программы

_____Т.В. Свистова

И.о. заведующего кафедрой
полупроводниковой электроники
и нанoeлектроники

_____А.В. Строгонов

Руководитель ОПОП

_____А.В. Арсентьев

Воронеж 2021

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины:

- изучение процессов взаимодействия потоков частиц и плазмы с конденсированными средами, используемых в лучевых и плазменных технологиях при производстве изделий электронной техники;
- овладение методами расчета и проектирования технологических лучевых и плазменных модулей;
- получение первичных навыков работы на лучевых и плазменных технологических установках.

1.2. Задачи освоения дисциплины: ознакомить студентов с процессами, которые лежат в основе методов сухого травления, с модификациями установок и рабочими газами.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина Б1.В.15. «Основы лучевых и плазменных технологий» относится к дисциплинам части блока Б1 учебного плана, формируемой участниками образовательных отношений.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Основы лучевых и плазменных технологий» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-2: способность аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения;

ПК-7: способность идентифицировать новые области исследований, новые проблемы в сфере физики, проектирования, технологии изготовления и применения микрoeлектронных приборов и устройств.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-2	знать физико-химические процессы современных лучевых и плазменных технологий и оборудования;
	уметь выбирать оптимальный технологический процесс и оборудование для его реализации по заданным требованиям;
	владеть информацией о предельных возможностях лучевых и плазменных технологий, применяемых при производстве электронной компонентной базы.
ПК-7	знать конструкции технологического оборудования и методы фор-

	мирования функциональных слоев ИС и конструктивных элементов полупроводниковых приборов с применением лучевых и плазменных технологий;
	уметь пользоваться приспособлениями и устройствами вакуумной техники, приспособлениями и устройствами ионно-плазменной, ионно-лучевой и лазерной техники;
	владеть навыками измерения и расчета основных технологических параметров плазменных и лучевых процессов изготовления ИС.

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины «Основы лучевых и плазменных технологий» составляет 3 зачетные единицы.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

Очная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		6
Аудиторные занятия (всего)	48	48
В том числе:		
Лекции	16	16
Практические занятия (ПЗ)	16	16
Лабораторные работы (ЛР)	16	16
Самостоятельная работа	60	60
Вид промежуточной аттестации - зачет	+	+
Общая трудоемкость час	108	108
зач. ед.	3	3

Заочная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		4
Аудиторные занятия (всего)	10	10
В том числе:		
Лекции	4	4
Практические занятия (ПЗ)	2	2
Лабораторные работы (ЛР)	4	4
Самостоятельная работа	94	94
Часы на контроль	4	4
Вид промежуточной аттестации - зачет	+	+
Общая трудоемкость час	108	108
зач. ед.	3	3

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Физические основы плазменной технологии. Процессы и технологии плазменной обработки.	Классификация лучевых и плазменных технологий. Физические основы плазменной технологии. Плазма: основные понятия и свойства. Основные характеристики технологической плазмы. Элементарные процессы в плазме. Типы воздействия плазмы на обрабатываемый материал. Газовые среды и химические реакции в плазме. Средства и способы устойчивого поддержания плазмы. Место плазменных процессов в технологии микроэлектроники. Классификация плазменных технологических процессов по механизму воздействия на обрабатываемую поверхность. Технологические требования и параметры, характеризующие процесс травления. Рабочие газы для плазменного травления. Плазменное травление (ПТ). Радиальное травление (РТ). Ионно-плазменное травление (ИПТ). Реактивное ионно-плазменное травление (РИПТ). Ионно-лучевое травление (ИЛТ). Реактивное ионно-лучевое травление (РИЛТ). Радиационно-стимулированное травление (РСТ).	4	4	4	16	28
2	Физические основы лазерных технологий. Процессы и технологии лазерной обработки.	Физические основы генерации лазерного излучения. Устройство и принципы работы лазеров. Свойства лазерного излучения. Твердотельные лазеры. Газовые лазеры (атомные лазеры, лазеры на парах металлов, ионные лазеры, молекулярные лазеры). Полупроводниковые лазеры. Лазеры на красителях. Лазерные технологические установки. Термическая обработка и закалка. Лазерная пайка. Лазерная сварка. Лазерная резка. Прошивка отверстий. Размерная обработка материалов и получение пленок. Лазерные микротехнологии. Лазерное осаждение тонких плёнок. Применение лазеров в химической технологии.	4	4	8	14	30
3	Физические основы электронно-лучевых технологий. Процессы и технологии электронно-лучевой обработки.	Общая характеристика и особенности электронно-лучевых технологий. Процессы, происходящие при бомбардировке вещества электронами, и возможности их использования в технологии. Общие принципы построения электронно-лучевых установок. Электронно-лучевое испарение материалов (ЭЛИ). Нанесение покрытий из сплавов и химических соединений. Обработка несфокусированным пучком. Электронно-лучевая обработка. Термическая размерная электронно-лучевая обработка. Размерная обработка массивных образцов. Размерная обработка тонких слоев. Нетермические электронные процессы и технологии. Реакции, индуцированные радикалами. Электронно-стимулированное травление. Электронно-лучевая литография. Электронно-зондовые методы анализа веществ	4	4	-	14	22
4	Физические основы ионно-лучевых технологий. Ионно-лучевые процессы и технологии.	Физические основы взаимодействия ионов с веществом. Ионно-лучевые установки. Ионное легирование материалов. Ионно-лучевая литография. Ионный синтез, ионная металлургия, ионная эпитаксия. Ионное распыление материалов. Ионное травление поверхности. Ионно-лучевые методы осаждения покрытий. Ионное распыление и получение тонких пленок. Технология и оборудование магнетронного распыления. Высокочастотное распыление. Вакуумно-дуговое осаждение покрытий из плазмы материала электродов.	4	4	4	16	28
Итого			16	16	16	60	108

заочная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Физические основы плазменной технологии. Процессы и технологии плазменной обработки.	Классификация лучевых и плазменных технологий. Физические основы плазменной технологии. Плазма: основные понятия и свойства. Основные характеристики технологической плазмы. Элементарные процессы в плазме. Типы воздействия плазмы на обрабатываемый материал. Газовые среды и химические реакции в плазме. Средства и способы устойчивого поддержания плазмы. Место плазменных процессов в технологии микроэлектроники. Классификация плазменных технологических процессов по механизму воздействия на обрабатываемую поверхность. Технологические требования и параметры, характеризующие процесс травления. Рабочие газы для плазменного травления. Плазменное травление (ПТ). Радиальное травление (РТ). Ионно-плазменное травление (ИПТ). Реактивное ионно-плазменное травление (РИПТ). Ионно-лучевое травление (ИЛТ). Реактивное ионно-лучевое травление (РИЛТ). Радиационно-стимулированное травление (РСТ).	2	2	-	22	26
2	Физические основы лазерных технологий. Процессы и технологии лазерной обработки.	Физические основы генерации лазерного излучения. Устройство и принципы работы лазеров. Свойства лазерного излучения. Твердотельные лазеры. Газовые лазеры (атомные лазеры, лазеры на парах металлов, ионные лазеры, молекулярные лазеры). Полупроводниковые лазеры. Лазеры на красителях. Лазерные технологические установки. Термическая обработка и закалка. Лазерная пайка. Лазерная сварка. Лазерная резка. Прошивка отверстий. Размерная обработка материалов и получение пленок. Лазерные микротехнологии. Лазерное осаждение тонких плёнок. Применение лазеров в химической технологии.	2	-	4	22	28
3	Физические основы электронно-лучевых технологий. Процессы и технологии электронно-лучевой обработки.	Общая характеристика и особенности электронно-лучевых технологий. Процессы, происходящие при бомбардировке вещества электронами, и возможности их использования в технологии. Общие принципы построения электронно-лучевых установок. Электронно-лучевое испарение материалов (ЭЛИ). Нанесение покрытий из сплавов и химических соединений. Обработка несфокусированным пучком. Электронно-лучевая обработка. Термическая размерная электронно-лучевая обработка. Размерная обработка массивных образцов. Размерная обработка тонких слоев. Нетермические электронные процессы и технологии. Реакции, индуцированные радикалами. Электронно-стимулированное травление. Электронно-лучевая литография. Электронно-зондовые методы анализа веществ	-	-	-	26	26
4	Физические основы ионно-лучевых технологий. Ионно-лучевые процессы и технологии.	Физические основы взаимодействия ионов с веществом. Ионно-лучевые установки. Ионное легирование материалов. Ионно-лучевая литография. Ионный синтез, ионная металлургия, ионная эпитаксия. Ионное распыление материалов. Ионное травление поверхности. Ионно-лучевые методы осаждения покрытий. Ионное распыление и получение тонких пленок. Технология и оборудование магнетронного распыления. Высоочастотное распыление. Вакуумно-дуговое осаждение покрытий из плазмы материала электродов.	-	-	-	24	24
Всего			4	2	4	94	104
Контроль							4
Итого							108

5.2 Перечень лабораторных работ

1. Плазмохимический метод сквозного травления пластин кремния
2. Скрайбирование и прошивка отверстий в пластинах с помощью лазера
3. Исследование характеристик и параметров полупроводникового лазера
4. Металлизация отверстий и кромок в пластинах кремния методами вакуумного распыления металлов

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины «Основы лучевых и плазменных технологий» не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПК-2	знать физико-химические процессы современных лучевых и плазменных технологий и оборудования;	Тест Контрольные задания для защиты лабораторных работ	Выполнение теста на 40 - 100% Ответ на 3-5 заданий варианта из 5	В тесте менее 40 % правильных ответов Решено менее 3 заданий из 5
	уметь выбирать оптимальный технологический процесс и оборудование для его реализации по заданным требованиям;	Обработка результатов измерений, анализ полученных данных, учет погрешности измерений.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть информацией о предельных возможностях лучевых и плазменных технологий, применяемых при производстве электронной компонентной базы.	Тест Контрольные задания для защиты лабораторных работ	Выполнение теста на 40 - 100% Ответ на 3-5 заданий варианта из 5	В тесте менее 40 % правильных ответов Решено менее 3 заданий из 5
ПК-7	знать конструкции технологического оборудования и методы формирования функциональных слоев ИС и конструктивных элементов полупроводниковых приборов с применением лучевых и плазменных технологий;	Тест Контрольные задания для защиты лабораторных работ	Выполнение теста на 40 - 100% Ответ на 3-5 заданий варианта из 5	В тесте менее 40 % правильных ответов Решено менее 3 заданий из 5
	уметь пользоваться приспособлениями и устройствами вакуумной техники, приспособлениями и устройствами ионно-плазменной, ионно-лучевой и лазерной техники;	Соблюдение правил техники безопасности при выполнении лабораторных работ; учет погрешности измерений. Обработка результатов измерений, анализ полученных данных	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть навыками измерений	Тест	Выполнение теста	В тесте менее 40 %

	и расчета основных технологических параметров плазменных и лучевых процессов изготовления ИС.	Контрольные задания для защиты лабораторных работ	на 40 - 100% Ответ на 3-5 заданий варианта из 5	правильных ответов Решено менее 3 заданий из 5
--	---	---	---	---

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 6 семестре для очной формы обучения, в 4 семестре для заочной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
ПК-2	знать физико-химические процессы современных лучевых и плазменных технологий и оборудования;	Тест	Выполнение теста на 70 - 100 %	Выполнение менее 70 %
	уметь выбирать оптимальный технологический процесс и оборудование для его реализации по заданным требованиям;	Решение стандартных практических задач	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть информацией о предельных возможностях лучевых и плазменных технологий, применяемых при производстве электронной компонентной базы.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-7	знать конструкции технологического оборудования и методы формирования функциональных слоев ИС и конструктивных элементов полупроводниковых приборов с применением лучевых и плазменных технологий;	Тест	Выполнение теста на 70 – 100 %	Выполнение менее 70 %
	уметь пользоваться приспособлениями и устройствами вакуумной техники, приспособлениями и устройствами ионно-плазменной, ионно-лучевой и лазерной техники;	Решение стандартных практических задач	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть навыками измерения и расчета основных технологических параметров плазменных и лучевых процессов изготовления ИС.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1. Плазменная обработка – это:
 - 1) это обработка потоком электронов высоких энергий (до 100 кэВ);
 - 2) обработка материалов низкотемпературной плазмой, генерируемой дуговыми или высокочастотными плазматронами;
 - 3) комплекс способов обработки материалов энергетическими потоками ионов, в результате воздействия которых изменяется форма, физико-химические, механические, электрические и магнитные свойства обрабатываемых изделий;
 - 4) процессы обработки и сварки материалов излучением лазеров.
2. Электроннолучевая обработка – это:

- 1) обработка потоком электронов высоких энергий (до 100 кэВ);
- 2) обработка материалов низкотемпературной плазмой, генерируемой дуговыми или высокочастотными плазматронами;
- 3) комплекс способов обработки материалов энергетическими потоками ионов, в результате воздействия которых изменяется форма, физико-химические, механические, электрические и магнитные свойства обрабатываемых изделий;
- 4) процессы обработки и сварки материалов излучением лазеров.

3. Ионно-лучевая технология – это:

- 1) обработка потоком электронов высоких энергий (до 100 кэВ);
- 2) обработка материалов низкотемпературной плазмой, генерируемой дуговыми или высокочастотными плазматронами;
- 3) комплекс способов обработки материалов энергетическими потоками ионов, в результате воздействия которых изменяется форма, физико-химические, механические, электрические и магнитные свойства обрабатываемых изделий;
- 4) процессы обработки и сварки материалов излучением лазеров.

4. Лазерная технология – это:

- 1) обработка потоком электронов высоких энергий (до 100 кэВ);
- 2) обработка материалов низкотемпературной плазмой, генерируемой дуговыми или высокочастотными плазматронами;
- 3) комплекс способов обработки материалов энергетическими потоками ионов, в результате воздействия которых изменяется форма, физико-химические, механические, электрические и магнитные свойства обрабатываемых изделий;
- 4) процессы обработки и сварки материалов излучением лазеров.

5. Ионная обработка представляет собой:

- 1) процесс, при котором поверхностные слои твердого вещества подвергаются бомбардировке ускоренными положительными ионами, как правило, инертных газов, химически не реагирующими с обрабатываемым материалом;
- 2) совместное воздействие физического распыления и химических реакций с участием ионов различных веществ и поверхностных атомов материала;
- 3) процесс, при котором химически активные нейтральные атомы, молекулы, радикалы вступают в химические реакции с поверхностными слоями материалов.

6. Ионно-химическая обработка представляет собой:

- 1) процесс, при котором поверхностные слои твердого вещества подвергаются бомбардировке ускоренными положительными ионами, как правило, инертных газов, химически не реагирующими с обрабатываемым материалом;
- 2) совместное воздействие физического распыления и химических реакций с участием ионов различных веществ и поверхностных атомов материала;
- 3) процесс, при котором химически активные нейтральные атомы, молекулы, радикалы вступают в химические реакции с поверхностными слоями материалов.

7. Плазмохимическая обработка представляет собой:

- 1) процесс, при котором поверхностные слои твердого вещества подвергаются бомбардировке ускоренными положительными ионами, как правило, инертных газов, химически не реагирующими с обрабатываемым материалом;
- 2) совместное воздействие физического распыления и химических реакций с участием ионов различных веществ и поверхностных атомов материала;
- 3) процесс, при котором химически активные нейтральные атомы, молекулы, радикалы вступают в химические реакции с поверхностными слоями материалов.

8. Анизотропия – это:

- 1) фактор, характеризующий степень интеграции микросхем и представляет собой максимально возможное число линий рисунка на 1 мм поверхности;
- 2) фактор, характеризующий искажение изображения при переносе его с маски на объект за счет бокового подтравливания;
- 3) отношение скоростей травления двух разных материалов в одних и тех же условиях и в одном направлении.

9. Разрешающая способность – это:

- 1) фактор, характеризующий степень интеграции микросхем и представляет собой максимально возможное число линий рисунка на 1 мм поверхности;
- 2) фактор, характеризующий искажение изображения при переносе его с маски на объект за счет бокового подтравливания;
- 3) отношение скоростей травления двух разных материалов в одних и тех же условиях и в одном направлении.

10. Селективность травления – это:

- 1) фактор, характеризующий степень интеграции микросхем и представляет собой максимально возможное число линий рисунка на 1 мм поверхности;
- 2) фактор, характеризующий искажение изображения при переносе его с маски на объект за счет бокового подтравливания;
- 3) отношение скоростей травления двух разных материалов в одних и тех же условиях и в одном направлении.

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Что представляет собой плазма? Опишите ее основные характеристики. Плотность электронов в плазме составляет 10^{18} м^{-3} , а плотность дрейфового тока равна $10^3 \text{ А} \cdot \text{м}^{-3}$. Определить скоростью дрейфа электронов. Какой ток потечет к зонду площадью 10^{-6} м^2 , если температура электронов равна 10000 К (между зондом и плазмой нет разности потенциалов)? Укажите, какие приближения вы использовали при расчете, и объясните, почему плотность тока через зонд отличается от плотности дрейфового тока.

2. Оценить дебаевский радиус в неизотермической и изотермической плазме при $T_i = 3 \cdot 10^2 \text{ К}$ и концентрации $n = 1 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$. Сколько заряженных частиц содержится в объеме дебаевской сферы?

3. Оценить дебаевский радиус экранирования изотермической плазмы газового разряда при $T_i = 2,32 \cdot 10^4 \text{ К}$ и концентрации $n = 1 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$.

4. а) Какой минимальной скоростью должен обладать электрон для возбуждения молекулы аргона, имеющей потенциал возбуждения $U_1 = 11,6 \text{ В}$? Электрон с данной скоростью сталкивается с молекулой ртути и ионизирует ее; потенциал ионизации ртути $U_2 = 10,4 \text{ В}$. б) Определить скорость бомбардирующего и освобожденного электронов после соударения при условии, что избыточная энергия разделилась поровну между этими частицами.

5. а) Определить минимальную скорость, необходимую электрону для того, чтобы ионизировать атом неона, если потенциал ионизации последнего 21,5 В. б) Какое расстояние должен пройти электрон в поле с напряженностью 100 В/см, чтобы приобрести эту скорость?

6. Для исследования упругих соударений электронов с молекулами газа изготовлен прибор, изображенный на рис. 1 ($l = 1,0 \text{ см}$, $U = 18 \text{ В}$). Газ - гелий, давление его $p = 1,2 \text{ мм рт. ст.}$. Какое число упругих соударений испытает электрон на пути от сетки 1 до сетки 2?

Какова будет энергия электронов, продиффундировавших через промежуток l и входящих сквозь сетку 2 в промежуток сетка - коллектор?

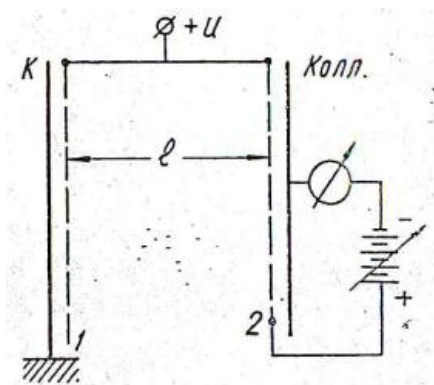


Рис. 1.

7. Может ли ион лития ($A = 7$), обладающий кинетической энергией $E_k = 60$ эВ, ионизировать путем соударения атом гелия?

8. Определить энергию импульса лазерного излучения, если мощность его зависит от времени следующим образом: $P(t) = P_0 \ln(kt + 1)$, $P_0 = 10^8$ Вт, $k = 10^8$ 1/с, длительность импульса $\tau = 10^{-8}$ с.

9. Определить зависимость от времени температуры тонкой пластины, нагреваемой излучением равномерно по объему, если мощность излучения зависит от времени $P = P(t)$, коэффициент отражения пластины R , а начальная температура пластины T_n .

10. На поверхности пластины происходит осаждение вещества из пара (например, при лазерном осаждении пленки). Молекулы (атомы) пара соединяются друг с другом, образуя зародыши будущей пленки, так называемые кластеры. В зависимости от энергии кластера, он стремится распасться или расти, образуя пленку. Размер кластера определяет зернистость будущей пленки. Определить наименьший размер образующихся кластеров.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Определить энергию кванта света, имеющего длину волны 632,8 нм; 1,06 мкм; 10,6 мкм; 228 нм; 330 нм.

2. Лазер мощностью 1 мВт излучает свет с длиной волны 632,8 нм. Вычислить поток квантов излучения.

3. Коэффициент поглощения излучения в активной среде составляет $0,1 \text{ см}^{-1}$. Во сколько раз уменьшится интенсивность излучения при прохождении пути l (10 см, 100 см)?

4. Оцените скорость нагрева материала (по Вашему выбору) импульсным лазером с длительностью импульса 1 мкс и плотностью мощности излучения 105 Вт/см^2 .

5. Оцените время достижения температуры плавления материала (по Вашему выбору) при действии на него лазерного излучения с плотностью мощности 105 Вт/см^2 .

6. Рассчитайте критическую плотность мощности лазера, требуемую для достижения на поверхности металла (по Вашему выбору) температуры плавления. Длительность импульса 1 мс.

7. Вычислить глубину проникновения электронов: а) в алюминии, б) стали, в) фторопласте, если начальная энергия пучка составляет: а) 50 кэВ, б) 100 кэВ, в) 200 кэВ.

8. Определить энергию электронов после прохождения ими алюминиевой фольги толщиной 20 мкм, если начальная энергия электронов составляла 100 кэВ.

9. Рассчитать толщину алюминиевой фольги, после прохождения которой энергия электронов уменьшилась со 120 кэВ до 80 кэВ.

10. Рассчитать распределение выделенной энергии по глубине в стали, если пучок диаметром 1 мм с силой тока 1 мА, ускоренный напряжением 100 В, воздействовал на сталь без плавления материала.

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Плазма: основные понятия и свойства. Основные характеристики технологической плазмы.
2. Элементарные процессы в плазме.
3. Типы воздействия плазмы на обрабатываемый материал.
4. Газовые среды и химические реакции в плазме.
5. Средства и способы устойчивого поддержания плазмы.
6. Место плазменных процессов в технологии микроэлектроники.
7. Классификация плазменных технологических процессов по механизму воздействия на обрабатываемую поверхность.
8. Технологические требования и параметры, характеризующие процесс травления. Рабочие газы для плазменного травления.
9. Плазменное травление (ПТ).
10. Радиальное травление (РТ).
11. Ионно-плазменное травление (ИПТ).
12. Реактивное ионно-плазменное травление (РИПТ).
13. Ионно-лучевое травление (ИЛТ).
14. Реактивное ионно-лучевое травление (РИЛТ).
15. Радиационно-стимулированное травление (РСТ).
16. Физические основы генерации лазерного излучения.
17. Устройство и принципы работы лазеров.
18. Свойства лазерного излучения.
19. Твердотельные лазеры.
20. Газовые лазеры (атомные лазеры, лазеры на парах металлов, ионные лазеры, молекулярные лазеры).
21. Полупроводниковые лазеры. Лазеры на красителях.
22. Лазерные технологические установки.
23. Термическая обработка и закалка.
24. Лазерная пайка.
25. Лазерная сварка.
26. Лазерная резка.
27. Прошивка отверстий.
28. Размерная обработка материалов и получение пленок.
29. Лазерные микротехнологии.
30. Лазерное осаждение тонких плёнок.
31. Применение лазеров в химической технологии.
32. Процессы, происходящие при бомбардировке вещества электронами, и возможности их использования в технологии.
33. Общие принципы построения электронно-лучевых установок.
34. Электронно-лучевое испарение материалов (ЭЛИ).
35. Нанесение покрытий из сплавов и химических соединений.
36. Обработка несфокусированным пучком.
37. Электронно-лучевая обработка.
38. Термическая размерная электронно-лучевая обработка.
39. Размерная обработка массивных образцов. Размерная обработка тонких слоев.
40. Нетермические электронные процессы и технологии. Реакции, индуцированные радиациями.
41. Электронно-стимулированное травление.
42. Электронно-лучевая литография.
43. Электронно-зондовые методы анализа веществ.
44. Физические основы взаимодействия ионов с веществом.

45. Ионно-лучевые установки.
46. Ионное легирование материалов.
47. Ионно-лучевая литография.
48. Ионный синтез.
49. Ионная металлургия.
50. Ионная эпитаксия.
51. Ионное распыление материалов.
52. Ионное травление поверхности.
53. Ионно-лучевые методы осаждения покрытий.
54. Ионное распыление и получение тонких пленок.
55. Технология и оборудование магнетронного распыления.
56. Высокочастотное распыление.
57. Вакуумно-дуговое осаждение покрытий из плазмы материала электродов.

7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

Не предусмотрено учебным планом.

7.2.6 Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Зачет проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 10 баллов (5 баллов верное решение и 5 баллов за верный ответ). Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Оценка «Не зачтено» ставится в случае, если студент набрал менее 6 баллов.

2. Оценка «Зачтено» ставится в случае, если студент набрал от 6 до 20 баллов.

При получении оценки «Зачтено» требуемые в рабочей программе знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на промежуточном этапе считаются достигнутыми.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1	Физические основы плазменной технологии. Процессы и технологии плазменной обработки.	ПК-2, ПК-7	Тест, защита лабораторных работ, опрос
2	Физические основы лазерных технологий. Процессы и технологии лазерной обработки.	ПК-2, ПК-7	Тест, защита лабораторных работ, опрос
3	Физические основы электронно-лучевых технологий. Процессы и технологии электронно-лучевой обработки.	ПК-2, ПК-7	Тест, опрос
4	Физические основы ионно-лучевых технологий. Ионно-лучевые процессы и технологии.	ПК-2, ПК-7	Тест, защита лабораторных работ, опрос

7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста преподавателем и выставляется оценка согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач преподавателем и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач преподавателем и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

8 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Основная литература

1. **Свистова Т.В.** Лучевые и плазменные технологии [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Т.В. Свистова. - Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2016.

2. **Галперин В.А.** Процессы плазменного травления в микро- и нанотехнологиях: учеб. пособие :допущено Учебно-методическим объединением / В.А. Галперин; под ред. С.П. Тимошенкова. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. - 283с. - (Нанотехнологии). - ISBN 978-5-9963-0032-7

3. **Сушков А.Д.** Вакуумная электроника: Физико-технические основы: учеб. пособие / А.Д. Сушков. - СПб.: Лань, 2004. - 464 с. - ISBN 5-8114-0530-8

4. **Сушков А.Д.** Вакуумная электроника. Физико-технические основы [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.Д. Сушков. – СПб.: Лань, 2021. - 464 с. - ISBN 5-8114-0530-8. URL: <https://e.lanbook.com/book/167723>

5. **Лозовский В.Н.** Нанотехнологии в электронике: Введение в специальность: учеб. пособие / В.Н. Лозовский, Г.С. Константинова, С.В. Лозовский. - СПб. : Лань, 2008. - 336 с. - ISBN 978-5-8114-0827-6

6. **Лозовский В.Н.** Нанотехнологии в электронике. Введение в специальность [Электронный ресурс]: учеб. пособие / В.Н. Лозовский, С.В. Лозовский. - 3-е изд., стер. - СПб.: Лань, 2024. - 332 с. - ISBN 978-5-8114-3986-7. URL: <https://e.lanbook.com/book/386429>

7. **Высоковакуумные технологические процессы в нанотехнологии:** учеб. пособие / Ю.В. Панфилов [и др.]; под ред. В.А. Шахнова. – М.: Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 2011. - 196 с. - ISBN 978-5-7038-3494-7 (кн.3), 978-5-7038-3509-8. URL: <http://www.iprbookshop.ru/94759.html>

Дополнительная литература

8. **Комаров Ф.Ф.** Ионная и фотонная обработка материалов : учеб. пособие / Ф.Ф. Комаров, С.В. Константинов. – Мн. : Вышэйшая школа, 2022. – 248 с. – ISBN 978-985-06-3395-8. URL: <https://www.iprbookshop.ru/129933.html>
9. **Голант В.Б.** Основы физики плазмы: учеб. пособие / В.Б. Голант, А.П. Жилинский, И.Е. Сахаров. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб.: Лань, 2011. – 448 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература). – ISBN 978-5-8114-1198-6
10. **Битнер Л.Р.** Вакуумная и плазменная электроника : учебное пособие / Л.Р. Битнер. – Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2007. – 148 с. – ISBN 2227-8397. URL: <http://www.iprbookshop.ru/13920.html>
11. **Кудрявцев А.А.** Физика тлеющего разряда: учеб. пособие / А.А. Кудрявцев. – СПб.: Лань, 2010. – 512 с. – (Учебники для вузов). – ISBN 978-5-8114-1037-8
12. **Липатов Г.И.** Плазменная электроника: элементарные процессы в плазме: учеб. пособие / Г.И. Липатов. – Воронеж: ВГТУ, 2003. – 97 с.
13. **Плазменная технология в производстве СБИС** / Под ред. Н. Айнспрука, Д. Брауна ; пер. с англ. Ю. М. Золотарева, В. В. Юдина ; Под ред. Е. С. Машковой. – М. : Мир, 1987. – 469 с.
14. **Курносков А.И.** Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем: учеб. пособие для вузов / А.И. Курносков, В.В. Юдин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1986. – 367 с.
15. **Технология СБИС:** в 2-х кн. Кн. 1 / под ред. С. Зи; пер. с англ. под ред. Ю.Д. Чистякова. – М.: Мир, 1986. – 404 с.
16. **Технология СБИС:** в 2-х кн. Кн. 2 / под ред. С. Зи; пер. с англ. под ред. Ю.Д. Чистякова. – М.: Мир, 1986. – 453 с.
17. **Методические указания** к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Основы лучевых и плазменных технологий» для студентов направления подготовки бакалавров 210100 «Электроника и наноэлектроника», профиля «Микроэлектроника и твердотельная электроника» очной формы обучения [Электронный ресурс] / сост. Т.В. Свистова. – Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГТУ», 2015. (№ 279-2015)

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем

Программное обеспечение компьютеров для самостоятельной и аудиторной работы:

- Операционные системы семейства MSWindows;
- Пакет офисных программ LibreOffice;
- Программа просмотра файлов WinDjview;
- Программа просмотра файлов формата pdf Adobe Acrobat Reader;
- Интернет-браузеры Mozilla Firefox, Google Chrome;
- Математический пакет MathCad Express, Smath Studio;
- Среда разработки Python;
- Система управления курсами Moodle;

Используемые электронные библиотечные системы:

- Модуль книгообеспеченности АИБС «МАРК SQL»:
<http://bibl.cchgeu.ru/provision/struct/>;
- ЭБС Издательства «ЛАНЬ», в том числе к коллекциям «Инженерно-технические науки», «Физика»: <http://e.lanbook.com/>;

- ЭБС IPRbooks: <http://www.iprbookshop.ru>;
- научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: <http://elibrary.ru/>.

Информационные справочные системы:

- портал федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования: <http://fgosvo.ru>;
- единое окно доступа к образовательным ресурсам: <http://window.edu.ru/>;
- открытый образовательный ресурс НИЯУ МИФИ: <http://online.mephi.ru/>;
- открытое образование: <https://openedu.ru/>;
- физический информационный портал: <http://phys-portal.ru/index.html>
- Профессиональные справочные системы «Техэксперт»: <https://cntd.ru>
- Электронная информационная образовательная среда ВГТУ: <https://old.education.cchgeu.ru>

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

1. Лекционная аудитория 311/4, укомплектованная специализированной мебелью и оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций: мультимедиа-проектором, стационарным экраном, наборами демонстрационного оборудования (учебный корпус № 4, расположенный по адресу: Московский пр., 179):

комплект учебной мебели: рабочее место преподавателя (стол, стул);
рабочие места обучающихся (столы, стулья) на 22 человека.
проектор BenQ MP515 DLP;
экран ScreenMedia настенный.
огнетушитель.

2. Лаборатория вакуумной техники, ауд. 113/4 (учебный корпус № 4, расположенный по адресу: Московский пр., 179), оснащенная необходимым оборудованием:

комплект учебной мебели: рабочее место преподавателя (стол, стул);
рабочие места обучающихся (столы, стулья) на 12 человек;
микроскоп РЭМ-100;
спектрофотометр ИКС-14;
аквадистилятор PHS Aqua 4;
вакуумный универсальный пост JEE 4B;
индикатор вакуума с блоком питания;
устройство термического распыления.
огнетушитель.

3. Дисплейный класс для самостоятельной работы студентов, укомплектованный специализированной мебелью и оснащенный персональными компьютерами с лицензионным программным обеспечением с возможностью подключения к сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду университета, ауд. 209/4 (учебный корпус № 4, расположенный по адресу: Московский пр., 179):

комплект учебной мебели: рабочее место преподавателя (стол, стул);
рабочие места обучающихся (столы, стулья) на 20 человек.
компьютер-сборка каф.9;
компьютер в составе: (H61/IntelCorei3/Кв/М/20" LCD);
компьютер-сборка каф.7;
компьютер-сборка каф.3;
компьютер в составе: (H61/IntelCorei3/Кв/М/23" LCD);
компьютер-сборка каф.5;
компьютер-сборка каф.4;

компьютер-сборка каф.8;
 компьютер-сборка каф.2;
 компьютер-сборка каф.6;
 компьютер-сборка каф.10;
 комп. в сост: Сист.блок RAMEC GALE,монитор 17" LCD;
 компьютер-сборка каф.1;
 экран Projecta ProScreen настенный рулонный;
 проектор BenQ MP515 DLP;
 огнетушитель.

10 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Основы лучевых и плазменных технологий» читаются лекции, проводятся практические и лабораторные занятия.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета параметров технологических процессов лучевых и плазменных технологий. Занятия проводятся путем решения стандартных и прикладных задач в аудитории.

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Большое значение по закреплению и совершенствованию знаний имеет самостоятельная работа студентов. Информацию обо всех видах самостоятельной работы студенты получают на занятиях.

Контроль усвоения материала дисциплины производится на лабораторных работах, либо в виде контрольных вопросов при аттестации текущей успеваемости. Освоение дисциплины оценивается на зачете.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практические занятия	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, решение задач по алгоритму.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции, при решении конкретных задач.

	Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных, для подготовки к ним необходимо: разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП
1	Актуализирован раздел 8.1 в части состава учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.	04.02.2025	
2			
3			
4			