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 /

подпись *И.О. Фамилия*

31 августа 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины (модуля)

«Технология нанесения покрытий»

наименование дисциплины (модуля) в соответствии с учебным планом)

Направление подготовки (специальность)
11.04.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

код и наименование направления подготовки/специальности

Профиль (специализация)
МАТЕРИАЛЫ И УСТРОЙСТВА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

название профиля/программы

Квалификация выпускника магистратура

Нормативный период обучения 2 года

Форма обучения Очная

Год начала подготовки 2021

Автор(ы) программы _____ Королев К.Г.

подпись

Заведующий кафедрой физики твердого тела _____ Ю.Е. Калинин

наименование кафедры, реализующей дисциплину *подпись*

Руководитель ОПОП _____ А.В. Костюченко

подпись

Воронеж 2021

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины

Изучение методов нанесения покрытий и высокоэнергетических технологий обработки поверхности

1.2. Задачи освоения дисциплины

Сформировать знания и умения в области механических, химических, гальванических, электрофизических методов нанесения покрытий, а также в области высокоэнергетических технологий обработки поверхности

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Технология нанесения покрытий» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Технология нанесения покрытий» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-6 - Готов теоретически и практически применять современные технологические процессы и технологическое оборудование на этапах разработки и производства материалов и устройств функциональной электроники

ПК-7 - Способен осуществлять контроль за технологическим маршрутом изготовления узлов и приборов на основе элементов функциональной электроники.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-6	Знать принципы работы технологического оборудования для разработки и производства материалов и устройств функциональной электроники
	Уметь применять современные технологические процессы и технологическое оборудование на этапах разработки и производства материалов и устройств функциональной электроники
	Владеть навыками применять современные технологические процессы и технологическое оборудование на этапах разработки и производства материалов и устройств функциональной электроники

ПК-7	Знать способы изготовления узлов и приборов на основе элементов функциональной электроники
	Уметь осуществлять контроль за технологическим маршрутом изготовления узлов и приборов на основе элементов функциональной электроники
	Владеть навыками осуществлять контроль за технологи ческим маршрутом изготовления узлов и приборов на основе элементов функциональной электроники

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Технология нанесения покрытий» составляет 5 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		2
Аудиторные занятия (всего)	62	62
В том числе:		
Лекции	36	36
Практические занятия (ПЗ)	18	18
Лабораторные работы (ЛР)	8	8
Самостоятельная работа	91	91
Часы на контроль	27	27
Виды промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость: академические часы зач.ед.	180 5	180 5

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	Методы нанесения покрытий	Назначение покрытий. Адгезия покрытий. Механические методы нанесения покрытий. Химическое осаждение покрытий. Гальванические покрытия. Композиционные электролитические покрытия. Электрофизические методы нанесения покрытий. Наплавка. Напыленные покрытия: газотермические покрытия, газодинамические покрытия, вакуумно-конденсационные покрытия. Формирование покрытий методом СВС.	18	9	4	45	76
2	Высокоэнергетические технологии обработки поверхности	Электронно-ионно-квантовые технологии. Лазерная обработки поверхности. Электронно-лучевые технологии. Ионно-лучевая технология.	18	9	4	46	77
		Итого	**36**	**18**	8	**91**	**153**

5.2 Перечень лабораторных работ

1. *Определение адгезии покрытия*
2. *Установка ионно-лучевого напыления покрытий*

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

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

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-6	Знать принципы работы технологического оборудования для разработки и производства материалов и устройств функциональной электроники	Активная работа на практических занятиях	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	Уметь применять современные технологические процессы и технологическое оборудование на этапах разработки и производства материалов и устройств функциональной электроники	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть навыками применять современные технологические процессы и технологическое оборудование на этапах разработки и производства материалов и устройств функциональной электроники	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-7	Знать способы изготовления узлов и приборов на основе элементов функциональной электроники	Активная работа на практических занятиях	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь осуществлять контроль за технологическим маршрутом изготовления узлов и приборов на основе элементов	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	функциональной электроники			
	Владеть навыками осуществлять контроль за технологическим маршрутом изготовления узлов и приборов на основе элементов функциональной электроники	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 2 семестре для очной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	**Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции**	**Критерии оценивания**	**Отлично**	**Хорошо**	**Удовл.**	**Неудовл.**

ПК-6	Знать принципы работы технологического оборудования для разработки и производства материалов и устройств функциональной электроники	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Уметь применять современные технологические процессы и технологическое оборудование на этапах разработки и производства материалов и устройств функциональной электроники	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	Владеть навыками применять современные технологические процессы и технологическое оборудование на этапах разработки и производства материалов и устройств функциональной электроники	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-7	Знать способы изготовления узлов и приборов	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных
	на основе элементов функциональной электроники					ответов
	Уметь осуществлять контроль за технологическим маршрутом изготовления узлов и приборов на основе элементов функциональной электроники	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

	Владеть навыками осуществлять контроль за технологическим маршрутом изготовления узлов и приборов на основе элементов функциональной электроники	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован 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. В каких из перечисленных методов покрытия формируются из жидкой фазы:

а) испарение в вакууме;

б) ионное распыление;

в) пиролиз химических соединений;

г) лакокрасочные покрытия.

2. Критерий, с помощью которого определяют тонкие покрытия:

а) размерный эффект;

б) эффект поля;

в) формирование монослоя, покрывающего поверхность.

3. Функция распределения частиц конденсированной фазы по размерам

а) монотонно растет;

б) имеет максимум;

в) носит убывающий характер.

4. Условие полной термической аккомодации:

а) энергия атомов, уходящих в газовую фазу равна энергии атомов подложки;

б) энергия атомов, уходящих в газовую фазу больше энергии атомов подложки;

в) энергия атомов, уходящих в газовую фазу меньше энергии атомов подложки

5. Какие существуют механизмы образования зародышей:

а) коалесценция;

б) за счет флуктуации плотности адсорбированных атомов;

в) зародышеобразование на дефектах;

г) термоэмиссия.

6. Критический размер зародыша соответствует:

а) максимуму свободной энергии Гиббса;

б) минимуму свободной энергии Гиббса;

в) не зависит от свободной энергии Гиббса.

7. Температура Кнудсена это:

а) минимальное значение температуры, при которой происходит конденсация;

б) максимальное значение температуры, при которой происходит конденсация;

в) температура, которая характеризует критические зародыши.

8. Коалесценцией называют:

а) процесс стеклования полимера;

б) процесс захвата атома из газовой среды;

в) процесс слияния островков.

9. Наиболее высокопроизводительной и экологичной технологией нанесения покрытий высокого качества из любых материалов является:

а) осаждение покрытий в вакууме;

б) гальваническая;

в) химическая;

г) газотермическая.

10. Для расчета давления остаточных газов в вакуумной камере учитывают условие (λ – длина свободного пробега, d – размер вакуумной камеры): а) $\lambda < d$;

б) $\lambda > d$;

в) $\lambda = d$.

ПК-7 - Способен осуществлять контроль за технологическим маршрутом изготовления узлов и приборов на основе элементов функциональной электроники

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

11. Атомные потоки, исходящие из зоны парообразования удовлетворяют:

а) законам Фурье;

б) законам Фика;

в) законам Ламберта.

12. Какой из методов не относится к группе методов нанесения покрытий в результате ионного распыления:

а) катодный;

б) магнетронный;

в) индукционный.

13. Какой материал можно использовать в качестве проволочного резистивного испарителя:

а) алюминий;

б) вольфрам;

в) золото.

14. Схема процесса электронно-лучевого нанесения покрытий должна содержать:

а) магнетрон;

б) оптический квантовый генератор;

в) электронно-лучевую пушку

15. Наибольшая энергия импульса реализуется в следующем режиме работы ОКГ:

а) режим секундного импульса;

б) режим миллисекундного импульса;

в) режим наносекундного импульса.

16. К недостаткам электродугового метода нанесения покрытий относят:

а) образование в газовом потоке капельной фазы;

б) формирование катодных пятен вакуумной дуги;

в) слабая адгезия покрытия.

17. Наибольшее распыление происходит при углах падения ионов:

а) 60 – 750;

б) 30 – 600;

в) 80 – 900.

18. Процесс катодного нанесения покрытия называется реактивным, когда:

а) распыления производят в инертной среде;

б) распыление производят в химически активной среде;

в) используют автономный ионный источник.

19. Использование постоянных магнитов при магнетронном распылении обеспечивает:

а) низкое тепловое воздействие на изделие;

б) возможность получения покрытий различного химического состава;

в) повышение скорости распыления.

20. Высокочастотное распыление используют для нанесения покрытий из: а) полимеров;

б) диэлектриков;

в) металлов.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

21. Для инициирования и поддержания несамостоятельного газового разряда используют:

а) термокатод;

б) магнетрон;

в) мишень.

22. Масс-спектрометры применяют для:

а) контроля толщины и скорости роста покрытий;

б) исследования структуры покрытий;

в) определения химического состава газовой фазы.

23.Для контроля толщины нанесенных покрытий не используют метод:

а) оптический;

б) вольтметра-амперметра;

в) основанный на резонансе кварцевых кристаллов;

г) механического взвешивания.

24. *Каким из перечисленных свойств не обладают металлизированные полимеры:*

а) электропроводность;

б) легкость, прочность, гибкость;

в) оптическая прозрачность.

25. *Если осаждение металла проводят на нагретую поверхность полимера, когда тот находится в вязко-текучем состоянии, то:*

а) не происходит образования сплошной пленки;

б) коэффициент конденсации возрастает; реализуется последовательный слоевой рост.

26. *Перед нанесением металлизации полимеры выдерживают 2-3 часа при Т = 80 - 100 0С. Это необходимо для:*

а) улучшения адгезии;

б) удаления адсорбированной влаги и обезгаживания;

в) повышения электропроводности.

27. *Для повышения работоспособности режущего инструмента используют метод:*

а) вакуумной металлизации полимеров;

б) распыление в несамостоятельном газовом разряде;

в) конденсации с ионной бомбардировкой.

28. *Для получения углеродных пленок в промышленных масштабах применяют метод:*

а) лазерное испарение;

б) источника плазмы импульсного катодно-дугового разряда;

в) химический из газовой фазы.

29. *При воздействии на поверхность заряженных частиц с энергией > 8кэВ наиболее вероятным является процесс:*

а) термическая активация;

б) десорбция;

в) дефектообразование;

г) распыление;

д) имплантация.

30. *Ионная имплантация приводит к:*

а) формированию перколяционной сетки;

б) высокой твердости и износостойкости покрытия;

в) повышению класса чистоты поверхности

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

Не предусмотрено учебным планом

7.2.5 Примерный перечень заданий для подготовки к экзамену

Назначение покрытий. Адгезия покрытий. Механические методы нанесения покрытий. Химическое осаждение покрытий. Гальванические покрытия. Электрофизические методы нанесения покрытий. Наплавка. Напылен-

ные покрытия. Газотермические покрытия. Газодинамические покрытия. Вакуумно-конденсационные покрытия. Формирование покрытий методом С ВС. Высокоэнергетические технологии обработки поверхности. Электронно-ионно-квантовые технологии. Лазерная обработки поверхности. Электронно-лучевые технологии. Ионно-лучевая технология.

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Экзамен проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом. Максимальное количество набранных баллов – 10.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал 5 баллов или менее.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 6 или 7 баллов

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 8 или 9 10 баллов.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал 10 баллов.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Методы нанесения покрытий	ПК-6, ПК-7	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту….
2	Высокоэнергетические технологии обработки поверхности	ПК-6, ПК-7	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту….

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 экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бу-

мажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики 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 экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. *Современные технологии модифицирования поверхности и нанесения покрытий: Учебное пособие. – Томск, 2008. 75 с.*

2. *Технологии конструкционных наноструктурных материалов и покрытий: монография / П. А. Витязь, А. Ф. Ильющенко, М. Л. Хейфец, С. А. Чижик. — Минск: Белорусская наука, 2011. — 283 c. — ISBN 978-985-08-1292-6. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: http://www.iprbookshop.ru/12322.html. — Режим доступа: для авторизир. Пользователей*

3. *Специальные материалы, покрытия и технологии в машиностроении: учеб. пособие / В.В. Перинский. В.Н. Лясников. Г.П. Фетисов. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2012. 429 с.*

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

1. *http://www.iprbookshop.ru*
2. *http://old.education.cchgeu.ru*

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Для проведения лекционных и практических занятий необходима аудитория, оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой, персональными компьютерами с возможностью выхода в интернет. Для проведения лабораторных работы необходима

«Лаборатория тонких пленок» кафедры физики твердого тела

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Технология нанесения покрытий» читаются лекции, проводятся практические занятия и лабораторные работы.

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 *в области технологий нанесения покрытий*. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

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

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 удается разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, 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: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомится с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.

Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоения учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов; - 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 экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.