

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета \_\_\_\_\_ Небольсин В.А.  
«31» августа 2020 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

дисциплины

«Технология нанесения покрытий»

**Направление подготовки 11.04.04 Электроника и наноэлектроника**

**Профиль Материалы и устройства функциональной электроники**

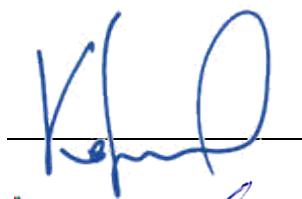
**Квалификация выпускника магистр**

**Нормативный период обучения 2 года**

**Форма обучения очная**

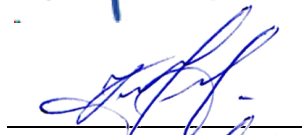
**Год начала подготовки 2020**

Автор программы



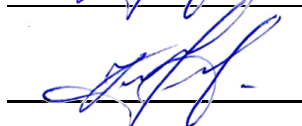
/Королев К.Г./

Заведующий кафедрой Физики твердого тела



/Костюченко А.В./

Руководитель ОПОП



/Костюченко А.В./

Воронеж 2020

## 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
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	63	63
В том числе:		
Лекции	36	36
Практические занятия (ПЗ)	18	18
Лабораторные работы (ЛР)	9	9
<b>Самостоятельная работа</b>	90	90
Часы на контроль	27	27
Виды промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость: академические часы	180	180
зач.ед.	5	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	5	45	77
<b>Итого</b>			<b>36</b>	<b>18</b>	<b>9</b>	<b>90</b>	<b>153</b>

#### 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.

### **7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач**

10. Для расчета давления остаточных газов в вакуумной камере учитывают условие ( $\lambda$  – 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

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;*
- в) реализуется последовательный слоевой рост.*

26. *Перед нанесением металлизации полимеры выдерживают 2-3 часа при  $T = 80 - 100$  °С. 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  $> 8\text{кэВ}$*

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. Напыленные покрытия. Газотермические покрытия. Газодинамические покрытия. Вакуумно-конденсационные покрытия. Формирование покрытий методом СВЧ. Высокотехнологические технологии обработки поверхности. Электронно-ионно-квантовые технологии. Лазерная обработка 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	Высокотехнологические 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 бумажном 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 с. — ISBN 978-985-08-1292-6. — Текст: электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/12322.html> (дата обращения: 26.11.2020). — 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: Саратов. 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://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 работ 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 \_\_\_\_\_. 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; пометать 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.
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, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.
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; - 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.