


МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
физики полупроводников и микроэлектроники



подпись

(Бормонтов Е.Н.)  
расшифровка подписи

31.08.2024

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Б1.В.ДВ.02.02 Аддитивные технологии в электронике

*код и наименование дисциплины в соответствии с Учебным планом*

1. Код и наименование направления подготовки/специальности: **11.04.04 Электроника и наноэлектроника**
2. Профиль подготовки/специализации: *Интегральная электроника и наноэлектроника*
3. Квалификация (степень) выпускника: *магистр*
4. Форма образования: *очная*
5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:  
*физики полупроводников и микроэлектроники*
6. Составители программы: *Леньшин Александр Сергеевич,*  
*доктор физико-математических наук*
7. Рекомендована: *НМС физического факультета протокол №6 от 26.06.2024*
8. Учебный год: *2024-2025* Семестр: **2**

**9. Цели и задачи учебной дисциплины:** приобретение обучающимися представлений об аддитивных технологиях в электронике как составной части единого технологического процесса в производственной деятельности проектных, конструкторских, технологических, научно-исследовательских организаций, учреждений и предприятий.

Задачи учебной дисциплины:

- познакомить обучающихся с видами и материалами аддитивных технологий, их преимуществами и недостатками, а также примерами применения аддитивных технологий, а также комбинирования АТ с другими производственными технологиями;
- познакомить обучающихся с основными этапами АТ, в том числе к подготовке к печати, постобработке и используемому в процессе программному обеспечению;
- сформировать навыки по поиску информации о перспективных материалах, технологических процессах и оборудовании, используемых в производстве изделий микроэлектроники;
- сформировать навыки по сравнительному анализу характеристик и параметров существующих материалов, технологических процессов и оборудования с характеристиками и параметрами перспективных материалов, технологических процессов и оборудования;
- рассмотреть технологическую и экономическую целесообразность внедрения новых материалов, технологических процессов и оборудования в существующий цикл производства изделий микроэлектроники.

Студент должен:

*знать:*

- основные виды применяемых в электронике аддитивных технологий;
- место АТ в процессе производства изделий электроники;
- преимущества и недостатки используемых в электронике аддитивных технологий;
- перспективы развития АТ и области их применения в будущем;
- возможности комбинирования АТ с современными технологиями электроники;

*уметь:*

- проводить информационный поиск;
- решать базовые задачи проектной деятельности в АТ;
- оценивать эффективность выбранных методов АТ и способов для решения задач в электронике;
- оценивать возможности реализации новых инженерных задач с использованием АТ;
- разрабатывать нормативную документацию по технологическим процессам АТ;

*владеть:*

- навыками чтения научной и технологической документации по профилю специальности;
- навыками критического восприятия информации;
- навыками критической оценки эффективности применения АТ в профессиональной деятельности;
- навыками проектирования и печати изделий электроники распространенными методами АТ.

**10. Место учебной дисциплины в структуре ОПОП:** дисциплина относится к обязательной части блок Б1 «Дисциплины (модули)».

Для ее усвоения требуются знания, формируемые при освоении ОПОП бакалавриата в рамках курсов химии, физики, компьютерного моделирования.

Знания, полученные при освоении дисциплины «Аддитивные технологии в электронике», необходимы при выполнении научно-исследовательских работ и магистерской выпускной квалификационной работы в области микро- и наноэлектроники.

**11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:**

Компетенции		Индикаторы		Планируемые результаты обучения
Код	Наименование компетенции	Код(ы)	Наименование индикатора(ов)	
ПК-1	Готов формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, способностью обоснованно выбирать теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач	ПК-1.1	Анализирует размещение элементов на кристаллах в изделиях «система в корпусе» и осуществляет оптимизацию конструкции изделий «система в корпусе» с применением современных средств и методов	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные виды применяемых в электронике аддитивных технологий</li> <li>- место АТ в процессе производства изделий электроники.</li> </ul> <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- проводить информационный поиск.</li> <li>- решать базовые задачи проектной деятельности в АТ;</li> </ul> <p>владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками чтения научной и технологической документации по профилю специальности</li> <li>- навыками критического восприятия информации;</li> </ul>
		ПК-1.2	Проводит анализ критически важных узлов, тепловыделяющих элементов, источников мощных помех и определяет пути повышения надежности, а также процента выхода годных изделий «система в корпусе»	
		ПК-1.3	Применяет современные методы и средства для оценки и снижения влияния внешних факторов на ра-	

			боту компонентов конструкции изделий «система в корпусе»	
ПК-5	Готов осваивать принципы планирования и методы автоматизации эксперимента на основе информационно-измерительных комплексов как средства повышения точности и снижения затрат на его проведение, овладевать навыками измерений в реальном времени	ПК-5.1	Определяет необходимое количество встроенных средств контроля и тестовых элементов на кристаллах изделий «система в корпусе»	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- перспективы развития АТ и области их применения в будущем</li> <li>- возможности комбинирования АТ с современными технологиями электроники</li> </ul> <p><i>уметь:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- оценивать возможности реализации инженерных задач с использованием АТ;</li> <li>- разрабатывать нормативную документацию по технологическим процессам АТ;</li> </ul> <p><i>владеть:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками проектирования и печати изделий электроники распространенными методами АТ;</li> </ul>
		ПК-5.2	Создаёт необходимые условия для проведения испытаний изделий «система в корпусе» и проводить испытания согласно программе измерений и испытаний	

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах в соответствии с учебным планом — 2/72. Форма промежуточной аттестации – зачет.**

**Виды учебной работы:**

Вид учебной работы		Трудоемкость	
		Всего	По семестрам
Аудиторные занятия		30	30
в том числе:	лабораторные	30	30
	зачет	зачет	
Самостоятельная работа		42	42
		72	72

**12.1 Содержание дисциплины:**

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
<b>2. Практические работы</b>		
2.1	Введение. Основные понятия и термины.	
2.1	Примеры из практики	
2.3	FDM-технология	Изучение устройства FDM- 3D принтера
2.4	Этапы 3D-печати.	Ознакомление с ПО для 3D-печати
2.5	Аддитивные технологии SLA, SLM, LOM.	Изучение устройства SLM- 3D принтера
2.6	Комбинированные технологии с АТ	3D-печать элементов корпуса изделий микроэлектроники
2.7	Программы подготовки к печати и постобработка.	

**12.2 Темы (разделы) дисциплины и виды занятий:**

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)		
		Практические занятия	Сам. работа	Всего
1	Введение. Основные понятия и термины.	2	6	8
2	Примеры из практики	4	6	10
3	FDM-технология	4	6	10
4	Этапы 3D-печати.	4	6	10
5	Аддитивные технологии SLA, SLM, LOM.	4	6	10
6	Комбинированные технологии с АТ	4	6	10
7	Программы подготовки к печати и постобработка.	8	6	14
	Итого:	30	42	72
	Итого по курсу			72

**13. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины:**

Изучение дисциплины «Аддитивные технологии в электронике» предусматривает осуществление учебной деятельности состоящей из двух частей: обучения студентов преподавателем и самостоятельной учебной деятельности студентов по изучению дисциплины.

Самостоятельная работа студентов наряду с аудиторной представляет одну из форм учебного процесса и является существенной ее частью, что наиболее ярко представлено в процессе подготовки бакалавров. Последнее обусловлено тем, что самостоятельная работа предназначена для формирования навыков самостоятельной ра-

боты как вообще, так и в учебной, научной деятельности, формирование и развитие способности принимать на себя ответственность, самостоятельно решать проблему, находить конструктивные решения, выход из кризисной ситуации и т.д.

Самостоятельная работа формирует самостоятельность не только как совокупность умений и навыков, но и как черту характера, играющую существенную роль в структуре личности современного специалиста высшей квалификации. Никакие знания, полученные на уровне пассивного восприятия, не ставшие объектом собственной умственной или практической работы, не могут считаться подлинным достоянием человека.

Давая возможность расширять и обогащать знания, умения по индивидуальным направлениям, самостоятельная работа студента позволяет создать разносторонних специалистов. В процессе самостоятельной работы развивают творческие возможности обучающегося, при этом самостоятельная работа завершает задачи всех видов учебной работы.

Самостоятельная работа - это планируемая работа студентов, выполняемая по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Преподаватель, ведущий занятия, организует, направляет самостоятельную работу студентов и оказывает им необходимую помощь. Однако самостоятельность студентов должна превышать объем работы, контролируемой преподавателем работы, и иметь в своей основе индивидуальную мотивацию обучающегося по получению знаний, необходимых и достаточных для будущей профессиональной деятельности в избранной сфере. Преподаватель при необходимости может оказывать содействие в выработке и коррекции данной мотивации, лежащей в основе построения самостоятельной деятельности студента по изучению дисциплины, получению необходимых знаний и навыков.

Основой самостоятельной работы служит научно-теоретический курс, комплекс полученных студентом знаний. Основной, наиболее экономичной формой получения и усвоения информации, теоретических знаний в вузе является лекция, позволяющая воспринять значительную сумму основных знаний и потому способствующая повышению продуктивности всех других форм учебного труда.

Результат обучения и самостоятельной работы студента предполагает наличие следующих составляющих: понимание методологических основ построения изучаемых знаний; выделение главных структур учебного курса; формирование средств выражения в данной области; построение методик решения задач и ориентации в проблемах (ситуациях).

Самостоятельная работа студента при изучении «Аддитивные технологии в электронике» включает в себя:

подготовку к практическим занятиям	- 15 часов
написание отчетов по практическим работам	- 17 часов
подготовку к зачету	- 12 часов
итого - 42 часа	

**15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов Интернет, необходимых для освоения дисциплины:**

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Горунов, А. И. Аддитивные технологии и материалы [Электронный ресурс]: учебное пособие / А. И. Горунов. — Казань : КНИТУ-КАИ, 2019. — 56 с. — ISBN 978-5-7579-2360-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — Режим доступа: <a href="https://e.lanbook.com/book/144008">https://e.lanbook.com/book/144008</a>
2	Преображенская, Е. В. Технологии, материалы и оборудование аддитивных производств : учебное пособие / Е. В. Преображенская, Т. Н. Боровик, Н. С. Баранова. — Москва : РТУ МИРЭА, 2021 — Часть 1 — 2021. — 173 с. — ISBN 978-5-7339-1397-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/182474">https://e.lanbook.com/book/182474</a>
3	Преображенская, Е. В. Технологии, материалы и оборудование аддитивных производств : учебное пособие / Е. В. Преображенская, В. В. Зуев, А. А. Мышечкин. — Москва : РТУ МИРЭА, 2021 — Часть 2 — 2021. — 164 с. — ISBN 978-5-7339-1398-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/182471">https://e.lanbook.com/book/182471</a>

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
5	Ляпков, А. А. Полимерные аддитивные технологии : учебное пособие для вузов / А. А. Ляпков, А. А. Троян. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 120 с. — ISBN 978-5-8114-8708-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/200318">https://e.lanbook.com/book/200318</a>
6	Ляпков, А. А. Полимерные аддитивные технологии / А. А. Ляпков, А. А. Троян. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 120 с. — ISBN 978-5-507-48773-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/362939">https://e.lanbook.com/book/362939</a>

**16. Учебно-методическое обеспечение для организации самостоятельной работы:**

№ п/п	Источник
1	Кравченко, Е. Г. Аддитивные технологии в машиностроении : учебное пособие / Е. Г. Кравченко, А. С. Верещагина, В. Ю. Верещагин. — Комсомольск-на-Амуре : КНАГУ, 2018. — 140 с. — ISBN 978-5-7765-1350-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/151709">https://e.lanbook.com/book/151709</a>
2	Черепяхин, А. А. Технологические процессы в машиностроении : учебное пособие / А. А. Черепяхин, В. А. Кузнецов. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 184 с. — ISBN 978-5-8114-4303-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/208985">https://e.lanbook.com/book/208985</a>
3	Туев, В. И. Аддитивные технологии производства устройств радиоэлектроники : учебное пособие / В. И. Туев. — Москва : ТУСУР, 2020. — 90 с. — Текст : элек-

тронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/313322">https://e.lanbook.com/book/313322</a>
--

**17. Информационные технологии, используемые для реализации учебного процесса по дисциплине:**

№ п/п	Источник
1	<a href="http://www.lib.vsu.ru">http://www.lib.vsu.ru</a> – ЗНБ ВГУ
2	Федеральный портал «Российское образование» <a href="http://www.edu.ru">http://www.edu.ru</a>
3.	Каталог национальных стандартов <a href="https://www.gost.ru/">https://www.gost.ru/</a>
4.	Роспатент Федеральная служба по интеллектуальной собственности <a href="https://rupto.ru/ru">https://rupto.ru/ru</a>

**18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:** Лекционные занятия проводятся в мультимедийном кабинете кафедры ФППиМЭ, оснащённым стационарным мультимедийным проектором AcerX125H – 1 шт., ноутбук emachines e510 – 1 шт., экран, с лицензионным программным обеспечением Microsoft Windows 7, Windows 10 договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019.

Аудитория для практических и самостоятельных работ студентов оснащена сервером на базе 2-х процессоров Xeon E5-2620 v3. – 1 шт., компьютеры HP ProDesk 400 G6 SFF – 9 шт., компьютеры Pentium Dual Core - 2 шт. , подключенные к сети Интернет с обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде ВГУ и лицензионным программным обеспечением: Microsoft Windows 7, Windows 10, договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019 и MATLAB R2020b (академическая лицензия, сублицензионный контракт 3010-07/01-19 от 09.01.19).

**19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций**

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Компетенция	Индикаторы достижения компетенции	Оценочные средства
1	Введение. Основные понятия и термины.	ПК- 1	ПК -1.1, ПК -1.2	Устный опрос, тесты
2	Примеры из практики	ПК- 1	ПК -1.3 ПК-3.3	Устный опрос, тесты
3	FDM-технология	ПК- 1, ПК- 5	ПК -1.2 ПК-5.1	Устный опрос, тесты, практическая работа
4	Этапы 3D-печати.	ПК- 1, ПК- 5	ПК -1.3 ПК-5.1	Устный опрос, тесты, практическая ра-



				бота
5	Аддитивные технологии SLA, SLM, LOM.	ПК- 1, ПК- 5	ПК -1.2 ПК-5.1 ПК-5.2	Устный опрос, тесты, практическая работа
6	Комбинированные технологии с АТ	ПК- 1, ПК- 3	ПК -1.3 ПК-5.1	Устный опрос, практическая работа
7	Программы подготовки к печати и постобработка.	ПК- 1, ПК- 3	ПК -1.3 ПК-5.2	Устный опрос, тесты
Промежуточная аттестация: форма контроля – зачет с оценкой				Вопросы к зачету

## 20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

### 20.1 Текущий контроль успеваемости

Текущий контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: тестовые задания, отчеты о выполнении практических работ.

#### Тестовые задания

Тест 1. Какой материал из перечисленных еще не доступен для 3D-печати?:

- a) Титан
- b) АБС-пластик
- c) Шоколад
- d) Древесина**

Тест 2. Как расшифровывается аббревиатура SLS?

- a) Выборочное/селективное лазерное плавление
- b) Выборочное/селективное лазерное спекание**
- c) Выборочное тепловое спекание
- d) Такого метода не существует

Тест 3. Чем технология FDM отличается от FFF?

- a) FDM – это аббревиатура для персональных принтеров, а FFF – промышленных машин
- b) FFF – это печать фотополимером, а FDM – пластиком в нитях
- c) Ничем, это одно и то же, дело в патентах**
- d) В зависимости от диаметра нити (1,75 – FDM, 2,85 мм - FFF)

Тест 4. Какая из технологий 3D печати позволяет печатать фотополимерами?

- a) SLA
- b) DLP
- c) MJM
- d) **Все перечисленные**

Тест 5. Почему печать по технологии FDM на персональных 3D принтерах не используется в особо нагруженных деталях? (Несколько вариантов ответов)

- a) **Прочность изделий на разрыв вдоль слоя ниже, чем при изготовлении по другим технологиям (применимо к обычным пластикам ABS, PLA и т.д.)**
- b) **Персональные FDM принтеры не могут стабильно печатать инженерными высокотемпературными прочными пластиками (типа ULTEM, PEEK и т.д.)**
- c) На самом деле используются
- d) Технология FDM в любом виде не может обеспечить прочность по сравнению с другими технологиями

Тест 6. С помощью чего (какого ПО) можно подготовить модель для FDM печати?

- a) С помощью любого 3D редактора, работающего с полигональными моделями, сохранить в .stl формате, сразу на принтер и в печать
- b) Можно только скачивать с интернета специальные, уже подготовленные 3D модели для печати
- c) Заказывать разработку специального G-code у программистов
- d) **С помощью специальных программ для «слайсинга» модели, к примеру, Cura или Simplify 3D**

Тест 7. После FDM печати модели можно обрабатывать, чтобы сгладить неровности. Какая пара *Материал - Растворитель* правильная для постобработки распечаток?

- a) **ABS – Ацетон, Дихлорметан**
- b) PLA – вода
- c) HIPS – вода
- d) PVA – Дихлорметан

Тест 8. 3D-сканирование: какие объекты максимально «сложны» для сканирования с помощью структурированного света?

- a) **Черные, глянцевые, блестящие, прозрачные**
- b) Матовые, белые, непрозрачные
- c) Нет разницы для данного вида 3D-сканирования с помощью структурированного света
- d) Такого вида 3D-сканирования не существует

## Тест 9

Из предложенных вариантов выберите преимущества аддитивных технологий и их отличие от традиционного производства

- a) **Безотходное производство**
- b) Отсутствие швов и сварных соединений
- c) Низкая себестоимость
- d) Быстрота изготовления
- e) Простота изготовления

Тест 10 Как скорость печати влияет на качество печати?

- a) Не зависит, качество всегда одинаково
- b) Чем медленнее, тем качественнее
- c) Чем быстрее, тем качественнее

### Перечень тем практических занятий

Практическая работа 1. Изучение устройства FDM- 3D принтера

Практическая работа 2. Ознакомление с ПО для 3D-печати

Практическая работа 3. Изучение устройства SLM- 3D принтера.

Практическая работа 4. 3D-печать элементов корпуса изделий микроэлектроники

Для текущего контроля успеваемости используется устный опрос, тестирование, отчеты о ходе выполнения практических работ, на основе которых выставляется предварительная оценка.

Критерии предварительной оценки работы обучающихся, которые соотносятся с уровнями сформированности компетенций:

- оценка «отлично» выставляется студенту, если он правильно выполняет все задания.
- оценка «хорошо» выставляется студенту, если он в целом правильно выполняет все задания, допуская незначительные ошибки.
- оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он в целом правильно выполняет все задания, однако при выполнении некоторых заданий допускает существенные ошибки.
- оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если он допускает грубые ошибки при выполнении большинства заданий.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в форме устного опроса по вопросам к зачёту.

## 20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

### Перечень вопросов к зачёту

1. Виды аддитивных технологий (АТ).
2. Преимущества и недостатки АТ.
3. Примеры применения аддитивных технологий.
4. Материалы АТ.
5. Оборудование АТ.
6. FDM-технология 3D-печати,
7. Возможности и ограничения FDM-технологии.
8. Этапы 3D-печати
9. Основные проблемы при 3D-печати.
10. «Расслаивание», «Усадка».
11. «Поддержки».
12. Аддитивные технологии SLA, отличия, возможности и ограничения.
13. Аддитивные технологии SLM, LOM, отличия, возможности и ограничения.
14. Комбинирование АТ с другими производственными технологиями.
15. Подготовка к печати в АТ
16. Постобработка.
17. Программное обеспечение для 3D-печати.
18. Редактирование 3D-моделей
19. Файловые форматы STL. Gcode.
20. Экономическая эффективность аддитивных технологий
21. Особенности АТ как энерго- и ресурсосберегающих технологий
22. Принципы обоснования принятия технического решения при разработке проекта с применением аддитивных технологий
23. Эксплуатация аддитивных установок
24. 3D-сканирование. Возможности и ограничения
25. 3D-гравировка. Возможности и ограничения

Промежуточная аттестация по дисциплине – зачет с оценкой. В приложение к диплому вносится *зачет*. Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета.

Оценка уровня освоения дисциплины «Аддитивные технологии в электронике» осуществляется по следующим показателям:

- предварительная оценка качества и своевременности выполнения практических работ;
- полнота ответов на вопросы к зачету.

Критерии оценки работы обучающихся, которые соотносятся с уровнями сформированности компетенций:

- оценка «отлично» выставляется студенту, если он правильно выполняет все задания.
- оценка «хорошо» выставляется студенту, если он в целом правильно выполняет все задания, допуская незначительные ошибки.
- оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он в целом правильно выполняет все задания, однако при выполнении некоторых заданий допускает существенные ошибки.

- оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если он допускает грубые ошибки при выполнении большинства заданий.

Если студент не осваивает дисциплину в установленном программой объеме и в сроки, определенные графиком учебного процесса, он не допускается к промежуточной аттестации по данному виду учебной работы.