

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

**УТВЕРЖДАЮ**

заведующий кафедрой  
физики твердого тела и наноструктур



(П.В.Середин)

01.03.2024

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Б1.В.ДВ.01.02 Автоматизация технологических процессов полупроводниковой**  
**технологии**

**1. Код и наименование направления подготовки/специальности:**

03.04.02 Физика

**2. Профиль подготовки/специализация:**

Физика передовых технологий производства изделий микро- и нанoeлектроники

**3. Квалификация выпускника:** магистр

**4. Форма обучения:** очная

**5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:**

кафедра физики твердого тела и наноструктур

**6. Составители программы:**

Барков Константин Александрович, к.ф.-м.н., старший преподаватель,

Ивков Сергей Александрович, к.ф.-м.н., старший преподаватель,

**7. Рекомендована:** НМС физического факультета ВГУ от 23.03.2023 «2

**8. Учебный год:** 2024/2025

**Семестр:** 2

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины

Целью преподавания дисциплины является ознакомление студентов с физическими принципами полупроводниковой технологии и основами автоматизации технологического оборудования полупроводниковой электроники.

Основной задачей дисциплины является подготовка студентов для решения научно-исследовательских и научно-технических задач полупроводниковой технологии.

В результате изучения курса студент должен:

знать:

- физические принципы и технические средства микро- и нанотехнологий;

- принципы действия и основные характеристики микропроцессорных средств автоматизации для построения систем управления.

уметь: пользоваться способами автоматического регулирования технологических процессов

**10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:** Дисциплина Б1.В.ДВ.03.02 Автоматизация технологических процессов полупроводниковой технологии относится к части, формируемой участниками образовательных отношений базового блока Б1.

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

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-2	Осуществляет контроль параметров технологических операций	ПК-2.1	Измеряет технологические и электрофизические параметры формируемых наноразмерных слоев, структур и изделий с помощью современной аппаратуры;	Знать: методы измерения технологических и электрофизических параметров формируемых наноразмерных слоев, структур и изделий с помощью современной аппаратуры
				Уметь: измерять технологические и электрофизические параметры формируемых наноразмерных слоев, структур и изделий с помощью современной аппаратуры
				Владеть: навыками измерения технологических и электрофизических параметров формируемых наноразмерных слоев, структур и изделий с помощью современной аппаратуры
ПК-3	Участвует в разработке технологических процессов, их оптимизации и внедряет их в производство	ПК-3.1	Осуществляет поэтапный контроль технологических и электрофизических параметров изготавливаемого изделия и его тестирования	Знать: принципы и способы контроля технологических и электрофизических параметров изготавливаемого изделия и его тестирования
				Уметь: осуществлять поэтапный контроль технологических и

				электрофизических параметров изготавливаемого изделия и его тестирования
				Владеть: навыками проведения поэтапного контроля технологических и электрофизических параметров изготавливаемого изделия и его тестирования

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час 3/108**

**Форма промежуточной аттестации экзамен**

**13. Трудоемкость по видам учебной работы**

Вид учебной работы		Трудоемкость	
		Всего	По семестрам
			8 семестр
Контактная работа		32	32
в том числе:	лекции	32	36
	практические	-	-
	лабораторные	-	36
Самостоятельная работа		40	40
Промежуточная аттестация		36	36
Итого:		108	108

### 13.1. Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
<b>1. Лекции</b>		
1.1	Раздел 1	Введение в полупроводниковую технологию. Физические принципы и технические средства микро- и нанотехнологий
1.2	Раздел 2	Классификация, принцип действия и основные характеристики микропроцессорных средств автоматизации для построения систем управления. Общие проблемы выбора базовых средств автоматизации. Системы автоматизации технологических процессов. Устройство связи с технологической установкой. Обратная связь и ее влияние на показатели и характеристики аналоговых электронных устройств
1.3	Раздел 3	Изучение вакуумных систем. Системы откачки, измерения давления, блокирующих заслонок. Автоматическое регулирование процессов вакуумной откачки и измерения давления.
1.4	Раздел 4	Изучение систем вакуумного напыления покрытий. Системы с электронными и ионными пучками, нагревательными элементами, газовыми сенсорами, датчиками температуры. Изучение системы автоматического измерения и регулирования расхода жидкости, газа, а также температурного режима. Управление технологическим циклом
1.5	Раздел 5	Изучение процесса и оборудования электрохимического травления. Изучение систем автоматического регулирования процесса электрохимического травления

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				Всего
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	
1.	Раздел 1	6			6	12
2.	Раздел 2	6			6	12
3.	Раздел 3	6			18	24
4.	Раздел 4	12			24	36
5.	Раздел 5	6			18	24
	Итого:	36			36	108

### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Изучение дисциплины «Автоматизация технологических процессов полупроводниковой технологии» предусматривает осуществление учебной деятельности, состоящей из двух частей: обучения студентов преподавателем и самостоятельной учебной деятельности студентов по изучению дисциплины.

В учебном процессе используются следующие образовательные технологии. По образовательным формам: лекции; практические занятия; лабораторные занятия; индивидуальные занятия. По преобладающим методам и приемам обучения: объяснительно-иллюстративные (объяснение, показ–демонстрация учебного материала и др.); активные (анализ учебной и научной литературы, составление схем и др.) и интерактивные, в том числе и групповые (взаимное обучение в форме подготовки и обсуждения докладов); информационные; компьютерные; мультимедийные (работа с сайтами академических структур, научно-исследовательских организаций, электронных библиотек и др., разработка презентаций, сообщений и докладов, работа с электронными обучающими программами и т.п.).

Подготовка к лекциям является одним из видов самостоятельной работы студентов. Чтобы хорошо овладеть учебным материалом, необходимо выработать навыки правильной и планомерной работы. Перед началом лекционных занятий надо просмотреть все, что было сделано в предыдущий раз. Это позволит сосредоточить

внимание и восстановить в памяти уже имеющиеся знания по данному предмету. Кроме того, такой метод поможет лучше запомнить как старое, так и новое, углубит понимание того и другого, так как при этом устанавливаются связи нового со старым, что является не только обязательным, но и основным условием глубокого овладения материалом. Чем детальнее изучаемое ассоциируется с известным ранее, тем прочнее сохраняется в памяти и быстрее вспомнить, когда требуется.

Приступая к изучению нового материала, необходимо сосредоточиться, т.е. сконцентрировать внимание и не отвлекаться от выполняемой работы, помня, что желание запомнить является гарантией успешной работы, отсутствие же воли к запоминанию снижает эффект восприятия.

Следует помнить о том, что через лекцию передается не только систематизированный теоретический материал, но и постигается методика научного исследования и умение самостоятельно работать, анализировать различного рода явления.

Записывать на лекции необходимо главное, не стремясь зафиксировать все слово в слово. Выбрать же главное без понимания предмета невозможно. Наличие собственного конспекта лекций позволяет еще раз ознакомиться, продумать, разобраться в новом материале, так как недостаточно хорошо понятые во время лекции положения могут быть восстановлены в памяти, сопоставлены с другими, додуманы, дополнены, уяснены и расширены с помощью учебной литературы. Записи являются пособиями для повторения, дают возможность охватить содержание лекции и всего курса в целом.

При этом хорошо овладеть содержанием лекции – это:

- знать тему;
- понимать значение и важность ее в данном курсе;
- четко представлять план;
- уметь выделить основное, главное;
- усвоить значение примеров и иллюстраций;
- связать вновь полученные сведения о предмете или явлении с уже имеющимися;
- представлять возможность и необходимость применения полученных сведений.

Существует несколько общих правил работы на лекции:

- лекции по каждому предмету записывать удобнее в отдельных тетрадях, оставляя широкие поля для пометок;
- к прослушиванию лекций следует готовиться, что позволит в процессе лекции отделить главное от второстепенного;
- лекции необходимо записывать с самого начала, так как оно часто бывает ключом ко всей теме;
- так как дословно записать лекцию невозможно, то необходимо в конспекте отражать: формулы, определения, схемы, трудные места, мысли, примеры, факты и положения от которых зависит понимание главного, новое и незнакомое, неопубликованные данные, материал отсутствующий в учебниках и т.п.;
- записывать надо сжато;
- во время лекции важно непрерывно сохранять рабочую установку, умственную активность.

Изучение теоретического материала в данном курсе не ограничивается подготовкой к лекциям и работой на данном виде занятий. Лекционная часть курса органически взаимосвязана с иными видами работ: написанием рефератов, участием в лабораторных занятиях, подготовкой и сдачей экзамена по дисциплине, в структуре которых также большое значение имеет самостоятельная работа студента.

Самостоятельная работа обучающихся 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 работы 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. Она воспитывает самостоятельность как черту характера. 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 обучающегося 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 обучающихся, выполняемая по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Преподаватель, ведущий занятия, организует, направляет самостоятельную работу обучающихся и оказывает им необходимую помощь. Однако самостоятельность обучающихся 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 обучающегося по изучению дисциплины, получению необходимых знаний и навыков.

Получение образования предполагает обучение решению задач определенной сферы деятельности. Однако, как бы хорошо не обучались обучающиеся способам решения задач в аудитории, сформировать средства практической деятельности не удастся, так как каждый случай практики особый и для его решения следует выработать особый профессиональный стиль мышления.

Основой самостоятельной работы служит научно-теоретический курс, комплекс полученных обучающимся 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 обучающегося 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 студентов при изучении дисциплины «Автоматизированное управление технологическими процессами изготовления полупроводниковой электроники» включает в себя: подготовку и участие в изучении теоретической части курса, выполнение лабораторных и курсовых работ, подбор, изучение, анализ и конспектирование рекомендованной литературы, подготовку к зачету.

Самостоятельная работа студента при изучении дисциплины «Автоматизированное управление технологическими процессами изготовления полупроводниковой электроники» включает в себя:

изучение теоретической части курса – 40 часов

## **15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины**

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1.	Игнатов, А. Н. Нанoeлектроника. Состояние и перспективы развития : учебное пособие / А. Н. Игнатов. — 2-е изд. — Москва : ФЛИНТА, 2017. — 360 с. — ISBN 978-5-9765-1619-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/106861">https://e.lanbook.com/book/106861</a> (дата обращения: 24.12.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2.	<a href="#">Шалимова К.В.</a> Физика полупроводников : учебник / К.В. Шалимова. — Изд. 4-е, стер. — СПб. [и др.] : Лань, 2010. — 390, [1] с. : ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература) // Издательство «Лань» : Электронно-библиотечная система. — URL : <a href="http://e.lanbook.com">http://e.lanbook.com</a>
3.	Втюрин, В. А. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. Программно-технические комплексы : учебное пособие / В. А. Втюрин. — Санкт-Петербург : СПбГЛТУ, 2007. — 232 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/60870">https://e.lanbook.com/book/60870</a> (дата обращения: 01.03.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4.	Попов, А. П. Автоматизация производственных процессов : учебно-методическое пособие / А. П. Попов, Ю. Ю. Комаров, Т. И. Фоля. — Москва : РУТ (МИИТ), 2019. — 44 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/175728">https://e.lanbook.com/book/175728</a> (дата обращения: 01.03.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
5.	Автоматизированные системы управления специального назначения : учебное пособие / В. Н. Козичев, А. А. Протасов, А. В. Ширманов, С. В. Крейдин. — Москва : МГТУ им. Баумана, 2020. — 214 с. — ISBN 978-5-7038-5429-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/205889">https://e.lanbook.com/book/205889</a> (дата обращения: 01.03.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
6.	Демихов, К. Е. Вакуумные системы : учебное пособие / К. Е. Демихов, Н. К. Никулин. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. — 76 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/52177">https://e.lanbook.com/book/52177</a> (дата обращения: 01.03.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
7.	Электрохимические процессы : учебное пособие. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. — 38 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/52559">https://e.lanbook.com/book/52559</a> (дата обращения: 01.03.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
1.	Чупин, А. В. Интеллектуальные системы автоматизированного управления : учебное пособие / А. В. Чупин. — Кемерово : КемГУ, 2016. — 108 с. — ISBN 978-5-89289-951-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/102654">https://e.lanbook.com/book/102654</a> (дата обращения: 01.03.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2.	Автоматизированные системы управления: Методические указания : методические указания / составители В. И. Неводничий, В. Л. Рукавишников. — Санкт-Петербург : СПбГУ ГА, 2021. — 44 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/167054">https://e.lanbook.com/book/167054</a> (дата обращения: 01.03.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3.	Духопельников, Д. В. Магнетронные распылительные системы : учебное пособие / Д. В. Духопельников. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, [б. г.]. — Часть 1 : Устройство, принципы работы, применение — 2014. — 53 с. — ISBN 978-5-7038-3798-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/52087">https://e.lanbook.com/book/52087</a> (дата обращения: 01.03.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4.	Михайлова, И. Ю. Электрохимические технологии неорганических веществ : учебно-методическое пособие / И. Ю. Михайлова. — Киров : ВятГУ, 2017. — 69 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/164425">https://e.lanbook.com/book/164425</a> (дата обращения: 01.03.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)\*:

№ п/п	Ресурс
1.	<a href="http://www.lib.vsu.ru">www.lib.vsu.ru</a> – ЗНБ ВГУ
2.	<a href="http://journals.ioffe.ru">http://journals.ioffe.ru</a>

**16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы**

№ п/п	Источник
1.	<a href="http://www.lib.vsu.ru">http://www.lib.vsu.ru</a> – ЗНБ ВГУ
2.	<a href="http://www.edu.ru">http://www.edu.ru</a> – Федеральный портал «Российское образование»
3.	<a href="http://journals.ioffe.ru">http://journals.ioffe.ru</a>

### 17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

В учебном процессе используются следующие образовательные технологии. По образовательным формам: лекции; групповые консультации, индивидуальные занятия. По преобладающим методам и приемам обучения: объяснительно-иллюстративные (объяснение, показ–демонстрация учебного материала и др.); активные (анализ учебной и научной литературы, составление схем и др.) и интерактивные, в том числе и групповые (взаимное обучение в форме подготовки и обсуждения докладов); информационные; компьютерные; мультимедийные (работа с сайтами академических структур, научно-исследовательских организаций, электронных библиотек и др., разработка презентаций, сообщений и докладов, работа с электронными обучающими программами и т.п.).

### 18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Лаборатория рентгеноспектрального и рентгеноструктурного анализа (лаб. 25, 26):

Вакуумная установка термического испарения на базе ВУП-2;

Установка вакуумного напыления УВН-71П-3 (лаб.25);

Установка электрохимического получения пористых материалов (лаб.25)

Лаборатория электронной микроскопии ЦКПНО ВГУ (лаб. 7): растровый электронный микроскоп JEOL JSM-6380LV с микроанализатором Oxford Instruments;

Лаборатория наноскопии и нанотехнологий (лаб. 142): атомно-силовой микроскоп SOLVER P47 PRO

Реализация дисциплины с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий осуществляется через образовательный портал "Электронный университет ВГУ".

### 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 (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Раздел 1	ПК-3	ПК-3.1	<i>Устный опрос</i>
2.	Раздел 2	ПК-3 ПК-2	ПК-3.1 ПК-2.1	<i>Устный опрос</i>
3.	Раздел 3	ПК-3 ПК-2	ПК-3.1 ПК-2.1	<i>Устный опрос,</i>
4.	Раздел 4	ПК-3 ПК-2	ПК-3.1 ПК-2.1	<i>Устный опрос</i>
5.	Раздел 5	ПК-3 ПК-2	ПК-3.1 ПК-2.1	<i>Устный опрос, Контрольная работа</i>
Промежуточная аттестация форма контроля – зачет с оценкой				<i>Оценочные средства промежуточной аттестации</i>

### 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:

- 1) Устный опрос на лекционных занятиях
- 2) Контрольная работа по теоретической части курса

**Устный опрос** проводится на лекционных занятиях по темам/разделам дисциплины. Правильный ответ оценивается как «зачтено», неправильный или принципиально неточный ответ «не зачтено».

**Контрольная работа** содержит теоретические вопросы по темам/разделам дисциплины. Шкала оценивания соответствует таблице, приведенной ниже.

**Приведённые ниже задания рекомендуется использовать при проведении диагностических работ для оценки остаточных знаний по дисциплине.**

### **Компетенция ПК-2**

#### **Задания закрытого типа**

1. Сверхвысоким вакуум называется при предельном остаточном давлении в камере:

- а)  $\leq 10^{-3}$  мм.рт.ст.
- б)  $\leq 10^{-6}$  мм.рт.ст.
- в)  $\leq 10^{-9}$  мм.рт.ст.
- г)  $\leq 10^{-15}$  мм.рт.ст.

2. Эпитаксия это...

- а) Ориентированный рост слоя на поверхности монокристалла, повторяющего кристаллическую структуру подложки.
- б) Ориентированный рост слоя.
- в) Рост слоя на поверхности поликристалла.
- г) Рост слоя, повторяющего структуру подложки

3. Какие среды используются чаще всего для эпитаксиального роста в технологии интегральных микросхем?

- а) Газовые.
- б) Паровые.
- в) Парогазовые.
- г) Жидкие.

4. Пороговая энергия распыления

- а) Энергия, при которой происходит распыление.
- б) Энергия, при которой начинается распыление.
- в) Энергия вылетающих частиц.
- г) Энергия бомбардирующих частиц.

5. Транспортирующий агент это...

- а) Любые элементы и соединения, способные вступать с транспортируемым веществом в химическую реакцию.
- б) Любые элементы и соединения, способные вступать с транспортируемым веществом в обратимую химическую реакцию, переводя его в газообразное состояние.
- в) Любые элементы, способные вступать с транспортируемым веществом в химическую реакцию.
- г) Любые соединения, способные вступать с транспортируемым веществом в обратимую химическую реакцию.

#### **Задания с развернутым ответом**

1. Основные технологические операции и технические средства полупроводникового производства.
2. Общие сведения об электромашинных устройствах исполнительных механизмов
3. Классификация, принцип действия и основные характеристики микропроцессорных средств автоматизации для построения систем управления.
4. Методы автоматизированного проектирования структурных вакуумных схем.
5. Назначение, цели и функции систем автоматического управления технологическим объектом. Классы систем автоматического управления технологическими объектами и процессами.
6. Критерии оптимизации при проектировании вакуумных систем.
7. Структура распределенных автоматических систем управления технологическими процессами.
8. Какие специальные требования предъявляются к материалам вакуумных систем?
9. Типовой состав технических средств систем автоматических систем управления технологическими процессами.
10. Физика магнетронного разряда и характеристики процесса магнетронного распыления.

### **Компетенция ПК-43**

#### **Задания закрытого типа**

1. Область электроники, включающая создание приборов и устройств на основе твердотельных низкоразмерных структур с характерными топологическими размерами элементов менее 100 нм, называется:
  - а) микроэлектроника
  - б) миллиэлектроника
  - в) наноэлектроника
  - г) силовая электроника
2. Объект можно назвать наноструктурой (или низкоразмерной структурой) если его линейный размер хотя бы в одном направлении:
  - а) <100 нм
  - б) <100 мкм
  - в) <100 см
  - г) <100 мм
3. Какое наилучшее разрешение обеспечивает электронно-лучевая литография?
  - а) около 10 нм
  - б) около 100 нм
  - в) около 1 мкм
  - г) около 100 мкм
4. Кристалл, представляющий собой сверхрешетку, с периодическим изменением коэффициента преломления в одном, двух или трех направлениях и период которой сопоставим с длиной волны света называется:
  - а) монокристаллом
  - б) поликристаллом
  - в) фотонным кристаллом
  - г) аморфным твердым телом
5. До какого предельного остаточного давления позволяет произвести откачку форвакуумный насос?
  - а)  $\sim 10^{-3}$  мм.рт.ст.
  - б)  $\sim 10^{-6}$  мм.рт.ст.

- в)  $\sim 10^{-9}$  мм.рт.ст.  
г)  $\sim 10^{-10}$  мм.рт.ст.

6. До какого предельного остаточного давления позволяет произвести откачку турбомолекулярный вакуумный насос?

- а)  $\sim 10^{-3}$  мм.рт.ст.  
б)  $\sim 10^{-6}$  мм.рт.ст.  
в)  $\sim 10^{-9}$  мм.рт.ст.  
г)  $\sim 10^{-10}$  мм.рт.ст.

### Задания с развернутым ответом

1. Устройства получения информации о технологическом объекте. Классификация датчиков по виду входной и выходной величины, принципу действия.
2. Устройство и принцип работы магнетронных распылительных систем.
3. Опишите принцип работы датчиков давления и расхода жидкости.
4. Ионное распыление в газовом разряде и сопутствующие эффекты.
5. Физические интерфейсы систем автоматического управления технологическими процессами.
6. Комбинированные методы электрохимической обработки материалов. Проектирование технологических процессов.
7. Исполнительные устройства для реализации управляющих воздействий. Классификация, структура и состав.
8. Технологические возможности электрохимического травления. Режимы обработки.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала предварительных оценок
Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для выполнения тестов решения практических задач при выполнении лабораторных работ	Повышенный уровень	<i>Отлично</i>
Обучающийся владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), допускает незначительные ошибки при выполнении тестов и лабораторных задач	Базовый уровень	<i>Хорошо</i>
Обучающийся владеет частично теоретическими основами дисциплины, фрагментарно способен проходить тестирование и выполнять лабораторные задания	Пороговый уровень	<i>Удовлетворительно</i>
Неудовлетворительное выполнение тестовых заданий. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки при выполнении практических задач лабораторных работ	–	<i>Неудовлетворительно</i>

Для текущего контроля успеваемости используется устный опрос, и результаты контрольной работы, на основе которых выставляется предварительная оценка *отлично/хорошо/удовлетворительно/неудовлетворительно*.

### 20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины проводится в форме зачета с оценкой.

Условиями для положительной итоговой оценки являются:

- 1) положительная оценка по контрольным работам

Для оценки теоретических знаний используется перечень контрольно-измерительных материалов. Каждый контрольно-измерительный материал для проведения промежуточной аттестации включает два задания - вопросов для контроля знаний, умений и владений в рамках оценки уровня сформированности компетенции.

### **Примерный перечень вопросов к зачету с оценкой:**

1. Опишите физические принципы и технические средства микро- и нанотехнологий.
2. Приведите основные характеристики микропроцессорных средств автоматизации для построения систем управления.
3. Опишите общие проблемы выбора базовых средств автоматизации.
4. Опишите архитектуру системы автоматизации технологическим процессом.
5. Устройство связи с технологической установкой.
6. Обратная связь и ее влияние на показатели и характеристики аналоговых электронных устройств.
7. Системы откачки, измерения давления, блокирующих заслонок.
8. Приведите принципиальную схему системы автоматического регулирования процессов вакуумной откачки и измерения давления.
9. Какие системы вакуумного напыления металлических и полупроводниковых покрытий используются в микроэлектронике.
10. Опишите особенности систем с электронными и ионными пучками.
11. Опишите особенности систем с нагревательными элементами.
12. Опишите особенности систем с газовыми сенсорами, датчиками температуры.
13. Приведите принципиальную схему системы измерения и автоматического регулирования расхода жидкости и газа.
14. Приведите принципиальную схему системы измерения и автоматического регулирования температурного режима.
15. Опишите общую архитектуру системы управление технологическим циклом общепромышленного назначения.
16. Опишите общую архитектуру системы автоматического регулирования электрохимического травления.
17. Изучение систем автоматического регулирования процесса электрохимического осаждения.
18. На какие классы по видам входных и выходных величин можно разделить датчики?
19. На какие классы по методу преобразования физической величины можно разделить датчики?
20. На какие классы по виду выходной величины и необходимости внешнего источника энергии можно разделить датчики?
21. На какие группы можно по характеру выполняемых информационных преобразований и способу получения выходных сигналов можно разделить датчики?
22. Перечислите электронные устройства, входящие в состав датчиков.
23. Перечислите материалы, используемые в упругих элементах датчиков.
24. Перечислите оптические элементы датчиков.
25. Для измерения каких величин используются реостатные, тензорезистивные и полупроводниковые тензодатчики?
26. Для измерения каких величин используются емкостные датчики?
27. Перечислите виды датчиков температуры, рабочие диапазоны и области их применения.

28. Перечислите виды датчиков газоанализаторов, рабочие диапазоны и области их применения.
29. Опишите методы измерения влажности твердых тел, жидкостей и газов.
30. Классифицируйте приемники излучения по виду входной величины.
31. По какому принципу классифицируются детекторы ионизирующих излучений.
32. Перечислите виды датчиков давления, рабочие диапазоны и области их применения.

### Пример контрольно-измерительного материала

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой ФТТ и НС

\_\_\_\_\_ П.В. Середин

\_\_\_.\_\_\_.2024

Направление подготовки / специальность 03.04.02 Физика/ Физика передовых технологий производства изделий микро- и наноэлектроники  
Дисциплина Б1.В.03 Методы анализа микро- и наносистем

Форма обучения Очная

Вид контроля Экзамен

Вид аттестации Промежуточная

#### Контрольно-измерительный материал №1

1. Приведите принципиальную схему системы автоматического регулирования процессов вакуумной откачки и измерения давления.
2. Для измерения каких величин используются емкостные датчики?

Преподаватель \_\_\_\_\_ К.А. Барков

Для оценивания результатов обучения на зачете с оценкой используются следующие содержательные показатели (формулируется с учетом конкретных требований дисциплины):

1. знание физических принципов и технических средств микро- и нанотехнологий, а также способов автоматического управления ими;
2. навыки создания систем автоматического регулирования процессов вакуумной откачки, вакуумного напыления, электрохимического травления;
3. умение оценивать пределы перестройки систем автоматического управления технологиями наноструктурированных материалов.
4. умение обеспечивать устройство связи сенсорных и энергетических элементов технологических установок;

#### Описание технологии проведения промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация по дисциплине – экзамен. В приложение к диплому вносится оценка *отлично/ хорошо/ удовлетворительно /неудовлетворительно*.

Оценка уровня освоения дисциплины «Автоматизация управление технологических процессов полупроводниковой технологии» осуществляется по следующим показателям:

- качество и своевременность выполнения лабораторных работ;
- полнота ответов на вопросы контрольно-измерительного материала;
- полнота ответов на дополнительные вопросы

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала предварительных оценок
Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для выполнения тестов решения практических задач при выполнении лабораторных работ	Повышенный уровень	<i>Отлично</i>
Обучающийся владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), допускает незначительные ошибки при выполнении тестов и лабораторных задач	Базовый уровень	<i>Хорошо</i>
Обучающийся владеет частично теоретическими основами дисциплины, фрагментарно способен проходить тестирование и выполнять лабораторные задания	Пороговый уровень	<i>Удовлетворительно</i>
Неудовлетворительное выполнение тестовых заданий. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки при выполнении практических задач лабораторных работ	–	<i>Неудовлетворительно</i>