

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Физический факультет
Кафедра физики полупроводников, электроники и наноэлектроники

Утверждено
решением ученого совета ННГУ
протокол № 6 от «31» мая 2023 г.

Рабочая программа дисциплины

Основы технологии материалов

Уровень высшего образования
бакалавриат

Направление подготовки: 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника
Направленности (профили): материалы микро- и наносистемной техники

Форма обучения: очная

Нижний Новгород, 2023 год

1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Основы технологии материалов» относится к обязательным дисциплинам обязательной части основной образовательной программы по направлению подготовки 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника».

Для усвоения данного курса необходимо изучить в рамках образовательной программы бакалавра модули (дисциплины) «Физика» и «Химия» базовой части цикла математических и естественнонаучных дисциплин и иметь некоторые представления о строении и свойствах твердых тел, а также базовые знания по неорганической и органической химии.

Освоение данной дисциплины обязательно и предполагается в 5-м семестре, поскольку оно необходимо как предшествующее для дисциплин профессионального цикла «Нанопизика и наноэлектроника», «Физика полупроводников», «Материалы и методы нанотехнологий», «Физико-химические основы технологии микро- и наноструктур».

Цель изучения дисциплины - формирование у студентов представлений о большом разнообразии материалов, используемых в современных приборах и устройствах электронной техники – полупроводниках, металлах и диэлектриках; получение знаний о структуре, электрических, оптических, магнитных, механических и термических свойствах материалов электроники; получение информации о методах получения массивных и тонкопленочных материалов. В результате изучения дисциплины студент сможет рациональным образом выбрать материалы, выполняющие те или иные функции в электронике, например, тип полупроводника для формирования интегральных устройств, вид диэлектрика для изолирующей подложки при изготовлении гибридных схем или металл (металлический сплав) для создания контактных систем. В задачи дисциплины также входит формирование навыков работы на вакуумном технологическом оборудовании и представления о методах контроля параметров нанесенных пленок материалов.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- ПК-3. Готовность применять знания о фундаментальных основах технологических процессов получения материалов и компонентов электроники и наноэлектроники, использовать их в производстве, работать на современном технологическом оборудовании.

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю) в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
ПК-3. Готовность применять знания о фунда-	ПК-3.1. Знает фундамен- тальные основы техноло-	Знать фундаментальные основы технологических процессов получения ма-	Вопросы по те- мам/разделам

ментальных основах технологических процессов получения материалов нано- и микросистемной техники и использовать их в производстве	<p>гических процессов получения материалов нано- и микросистемной техники.</p> <p>ПК-3.2. Умеет проводить экспериментальные работы по отработке и внедрению новых технологических процессов производства материалов нано- и микросистемной техники и использовать их в производстве</p> <p>ПК-3.2. Имеет опыт разработки методик экспериментальной проверки технологических процессов и исследования параметров наноструктурированных материалов</p>	<p>териалов и компонентов электроники и наноэлектроники, в том числе, физико-химические принципы выращивания слитков полупроводников, принципы выбора оптимальных материалов (диэлектриков, металлов, полупроводников), применяемых при производстве электронной компонентной базы;</p> <p>Уметь объяснять сущность физических и химических явлений на этапах технологических процессов;</p> <p>Иметь навыки проведения технологических процессов и контроля свойств материалов</p>	<p>дисциплины;</p> <p>Комплект задач и заданий к лабораторному практикуму;</p> <p>Фонд тестовых заданий</p>
---	--	---	---

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

Общая трудоемкость	3 ЗЕТ
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	65
- занятия лекционного типа	32
-лабораторные работы	32
самостоятельная работа	43
Промежуточная аттестация	1
Аттестация	5 семестр – зачет

3.2. Содержание дисциплины

Наименование разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации	Всего (часы)	В том числе					
		контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы					Самостоятельная работа обучающегося, часы
		из них				Всего	
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Консультации		
1. Введение	4	2				2	2
2. Классификация материалов	10	6				6	4
3. Физические процессы в диэлектриках	8	4				4	4
4. Диэлектрические материалы	8	4				4	4
5. Полупроводниковые материалы	12	6				6	6
6. Методы получения тонких пленок	44			32		32	12
7. Металлы и сплавы	12	6				6	6
8. Высокочистые вещества	9	4				4	5
Промежуточная аттестация - зачет, 1 час							

Содержание разделов дисциплины:

1. Введение в науку о материалах электронной техники

Цели и задачи изучения материалов электронной техники. Основные понятия и определения. Разнообразие материалов электронной техники; специфические требования, предъявляемые к ним.

2. Классификация материалов

Кристаллические и аморфные твердые тела. Типы межатомных связей. Связь Ван-дер-Ваальса. Ионная связь. Ковалентная связь. Металлический тип связи. Влияние типа связи на свойства материалов. Классификация материалов по величине и характеру проводимости: проводники (металлы), диэлектрики и полупроводники. Различия в зонной структуре материалов.

3. Физические процессы в диэлектриках

Поляризация диэлектриков. Понятия вектора поляризации, диэлектрической восприимчивости и диэлектрической проницаемости. Механизмы поляризации. Упругая электронная, ионная и дипольная поляризации. Виды тепловой поляризации. Время релаксации для диэлектриков и частотная зависимость диэлектрической проницаемости. Тангенс угла диэлектрических потерь. Механизмы электропроводности диэлектриков. Пробой диэлектриков. Сегнетоэлектрики: спонтанная поляризация, температура Кюри, доменная структура, поведение во внешнем электрическом поле, примеры материалов. Прямой и обратный пьезоэлектрические эффекты, применение пьезоэлектриков. Пироэлектрики и их использование в электронной технике. Электреты: их характеристики и применения.

4. Диэлектрические материалы

Слюда, ее структура и свойства. Органические диэлектрики. Линейные и пространственные полимеры. Полиэтилен, фторуглероды, полиимиды, поливинилхлорид, полиметилметакрилат – их основные свойства и области использования. Компаунды, слоистые пластики – принципы их получения. Пьезокварц. Активные элементы квантовых генераторов: рубин, алюмоиттриевый гранат. Стекла, их структура и принципы получения. Стекла для оптических квантовых генераторов, халькогенидные стекла, стекла для изготовления оптических волокон. Ситаллы. Керамика, особенности технологии изготовления керамических изделий. Сегнетокерамика, пьезокерамика, электроизоляционная керамика, конденсаторная керамика, сверхпроводящая керамика.

5. Полупроводниковые материалы

Классификация полупроводников, особенности зонной структуры полупроводников, их применение. Элементарные полупроводники. Полупроводниковые соединения A₃B₅ и A₂B₆. Другие полупроводники. Дефекты полупроводниковых монокристаллов: вакансии, междоузельные атомы, антиструктурные дефекты, дислокации, границы раздела. Примеси в полупроводниках: примеси замещения, примеси внедрения. Типичные доноры и акцепторы. Методы выращивания кремния, германия и арсенида галлия: метод зонной плавки, метод Чохральского. Обозначения полупроводниковых материалов.

6. Методы получения тонких пленок

Методы получения вакуума: форвакуумный, диффузионный и турбомолекулярный насосы. Приборы для измерения вакуума: термопарный и ионизационный вакуумметры. Основы функционирования и управления установками вакуумного нанесения. Принципы магнетронного метода нанесения тонких пленок материалов электронной техники. Измерение характеристик пленок.

7. Металлы и сплавы

Классификация проводниковых материалов. Сравнение основных характеристик металлов, используемых в электронной технике. Тугоплавкие металлы, благородные металлы и метал-

лы со средней и низкой температурой плавления. Сплавы: сплавы замещения и сплавы внедрения. Понятие фазы и компонента. Правило фаз Гиббса. Диаграммы состояния двойных металлических систем. Построение диаграмм. Диаграммы состояния 1-го рода. Эвтектические сплавы. Правило отрезков. Диаграммы состояния 2-го, 3-го (с эвтектикой и перитектикой) и 4-го рода. Кристаллизационные процессы.

8. *Высокочистые вещества*

Общая характеристика чистоты веществ, используемых в электронной технике. Классификация веществ высокой чистоты. Процессы разделения и очистки веществ. Сорбционные процессы. Физическая и химическая адсорбция, десорбция. Изотермы адсорбции 1-го и 2-го рода. Золь-гель технология. Ионный обмен. Разделение и очистка веществ сублимацией и дистилляцией. Очистка материалов электронной техники кристаллизационным методом.

4. *Образовательные технологии*

Основные виды образовательных технологий: лекции, лабораторный практикум, позволяющий формировать у студентов навыки работы с технологическим оборудованием, и контроль самостоятельной работы.

5. *Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся*

Виды самостоятельной работы. Самостоятельная работа предусмотрена при освоении материала разделов 1 - 8. Самостоятельная работа обучающихся предполагает изучение конспектов лекций, выделенных разделов основной литературы, а также дополнительной литературы, отвечающих изучаемым разделам дисциплины, теоретической подготовкой к допуску, выполнение лабораторных работ и заданий к ним, написанием отчётов по лабораторным работам подготовку к промежуточной аттестации.

Самостоятельная работа может проводиться как в домашних условиях, так и в читальном зале библиотеки, в компьютерных классах, в учебных кабинетах (лабораториях) с доступом к лабораторному оборудованию, приборам, базам данных, к Интернет-ресурсам. Текущий контроль успеваемости сводится к контролю самостоятельной работы и осуществляется путём контрольных опросов по спискам вопросов, приведённым в описаниях лабораторных работ, а также путём проверки протоколов измерений и отчётов по выполненным работам.

Перечень лабораторных работ:

- Получение и измерение вакуума.
- Получение тонких слоев полупроводника методом магнетронного распыления на постоянном токе.

Контрольные вопросы для проведения промежуточной аттестации (зачета) по итогам освоения дисциплины:

1. Агрегатные состояния вещества и их общая характеристика. Различия между кристаллическими и аморфными веществами.
2. Типы межатомных связей. Взаимодействие типа Ван-дер-Ваальса.
3. Характеристики других типов межатомной связи: ионная, ковалентная и металлическая.
4. Электрические характеристики диэлектриков: вектор поляризации, диэлектрическая восприимчивость, диэлектрическая проницаемость.

5. Механизмы поляризации диэлектриков: электронная упругая поляризация, ионная упругая, дипольная упругая.
6. Тепловая поляризация: ионная тепловая, дипольная тепловая.
7. Частотная зависимость диэлектрической проницаемости.
8. Тангенс угла диэлектрических потерь, электропроводность диэлектриков.
9. Пробой диэлектриков: тепловой и электрический пробой.
10. Общее описание пьезоэлектрических материалов. Пьезоэлектрический коэффициент.
11. Температура Кюри для сегнетоэлектриков. Формирование доменной структуры в сегнетоэлектрике.
12. Применения пьезоэлектриков. Как сделать сегнетоэлектрик однодоменным?
13. Пьезоэлектрики, прямой и обратный пьезоэлектрические эффекты.
14. Классификация полупроводников.
15. Методы выращивания монокристаллов кремния и германия.
16. Характеристики чистоты веществ.
17. Ионный обмен и сублимация как методы очистки веществ. Примеры.
18. Адсорбция как процесс очистки вещества. Изотерма адсорбции.
19. Дистилляция. Закон Рауля. Принцип дистилляции на примере диаграммы состояния «состав раствора - температура кипения». Принцип работы ректификационной колонны.
20. Понятия фазы и компонента. Фазовые переходы. Правило фаз Гиббса.
21. Экспериментальное построение диаграмм состояния.
22. Диаграмма состояния 1-го рода для двухкомпонентной системы.
23. Кривые охлаждения для доэвтектического, эвтектического и заэвтектического составов (диаграмма состояния 1-го рода).
24. Правило отрезков.
25. Диаграмма состояния 2-го рода для двухкомпонентной системы.
26. Применение правила отрезков для диаграммы состояния 2-го рода.
27. Кривые охлаждения для диаграммы состояния 2-го рода.
28. Диаграмма состояния 3-го рода для двухкомпонентной системы. Диаграмма с эвтектикой.
29. Кривые охлаждения для диаграммы состояния 3-го рода (с эвтектикой).
30. Диаграмма состояния 3-го рода для двухкомпонентной системы. Диаграмма с перитектикой.
31. Кривые охлаждения для диаграммы состояния 3-го рода (с перитектикой).
32. Диаграмма состояния 4-го рода для двухкомпонентной системы. Диаграмма с устойчивым химическим соединением.
33. Кристаллизационные процессы. Понятие коэффициента распределения. Вычисление величины K из диаграммы состояния.

Дополнительные вопросы на зачете:

1. Дайте определение подвижности носителей заряда. В каких единицах она измеряется?
2. Чему равна ширина запрещенной зоны основных полупроводников (Si, Ge, GaAs)?
3. Приведите примеры прямозонных и непрямозонных полупроводников.

4. Какие примеси являются донорами и акцепторами в элементарных полупроводниках (Si, Ge)?
5. Какие примеси являются донорами и акцепторами в полупроводниковых соединениях A3B5?
6. Приведите примеры промышленных обозначений марок полупроводниковых монокристаллов.
7. Трехуровневая и четырехуровневая системы для лазерных кристаллов.
8. Каковы преимущества твердотельных лазеров на монокристаллах по сравнению с лазерами на стеклах?
9. Принцип работы оптического волновода.
10. Точечные дефекты в монокристаллах.
11. Примеры линейных дефектов.
12. Двумерные дефекты в кристаллах, примеры.

6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине, включающий:

6.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	Не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в пол-	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но неко-	Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественным	Продемонстрированы все основные умения, Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном

	от ответа	ошибки.	ном объеме.	все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	торые с недочетами.	недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Перечень компетенций выпускников образовательной программы, в формировании которых участвует дисциплина, с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений) приведён выше (раздел 2). Ниже приведена таблица образовательных дескрипторов (отличительных признаков уровней освоения компетенций).

Уровень освоения компетенции	Отличительные признаки
Начальный	<ul style="list-style-type: none"> - воспроизводит термины и основные понятия технологии полупроводниковых материалов; - корректно объясняет суть технологических процессов; - способен сопоставлять структурные характеристики и физические свойства полупроводниковых материалов
Базовый	<ul style="list-style-type: none"> - выявляет взаимосвязь между структурой и свойствами; - применяет законы, правила, алгоритмы, теоретические модели и пр.; - знает фундаментальные основы процессов получения и функционирования материалов электроники и наноэлектроники; - знает предельные возможности технологий, применяемых при производстве электронной компонентной базы, материалов и компонентов электроники и наноэлектроники; - знает принципы выбора материалов для проведения технологических процессов.

Высокий	<ul style="list-style-type: none"> - знает современные технологические методы формирования материалов и современные методы контроля и диагностики их свойств; - формулирует выводы; - оценивает соответствие теории и эксперимента; - оценивает научную и прикладную значимость результатов.
---------	--

Промежуточный контроль качества усвоения студентами содержания дисциплины проводится в виде зачета, на котором определяются:

- уровень усвоения студентами основного учебного материала по дисциплине;
- уровень понимания студентами изученного материала;
- способности студентов использовать полученные знания для выполнения конкретных заданий.

Зачет проводится по итогам выполнения лабораторных работ и знания теоретических разделов дисциплины, запланированных для изучения в осеннем семестре. Результаты оформляются в виде отчетов по лабораторным работам.

Критерии выставления оценки при сдаче зачета:

Зачтено	<p>Выполнены все задания лабораторной работы. Отчеты оформлены правильно, полно и аккуратно. Представлены все необходимые рисунки, схемы и графики. Оформление графиков полностью соответствует общепринятым требованиям. Могут присутствовать незначительные недочёты, которые студент после замечания преподавателя способен исправить самостоятельно.</p> <p>Студент отвечает полностью на вопросы зачета, показывая удовлетворительное знание основ курса и базовых понятий. При ответе на дополнительные вопросы допускаются незначительные неточности.</p>
Не зачтено	<p>Не выполнены одно или более заданий лабораторных работ. Отчеты выполнены с ошибками, не все рисунки и схемы представлены. Оформление графиков не соответствует общепринятым требованиям. Требования к оформлению отчетов не соблюдены.</p> <p>Студент показывает неудовлетворительное знание основ курса и базовых понятий.</p>

6.2. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций

Для оценивания результатов обучения в виде знаний, умений и владений используются следующие процедуры и технологии:

- для оценивания результатов обучения в виде **знаний** используются фронтальный опрос на лабораторных работах;

- для оценивания результатов обучения в виде **умений** используются простые задания для выполнения лабораторных работ, включающих несколько вопросов в виде краткой формулировки действий (комплекса действий) для проведения необходимых технологических операций и измерений, которые следует выполнить, или описание результата, который можно считать достоверным.

- для оценивания **навыков** используются комплексные задания лабораторных работ, требующие поэтапного решения в типичной ситуации и развернутого ответа.

Оценочные средства для контроля текущей успеваемости включают в себя контрольные вопросы, содержащиеся в учебно-методических пособиях по лабораторным работам. Эти вопросы используются при допуске к выполнению экспериментальной части работ. По итогам проверки отчётов о выполнении работ заполняется контрольный лист, в котором преподаватели, проводившие лабораторные занятия выставляют отметку о выполнении. Лабораторный практикум по курсу считается пройденным, если в контрольном листе набрано 2 отметки о выполнении лабораторных работ.

6.3. Типовые контрольные задания для оценки сформированности компетенции ПК-3:

Типовые вопросы для фронтальных опросов:

1. Какие методы получения высокочистых материалов вы знаете?
2. Чем различаются металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной структуры?
3. Что такое подвижность носителей тока и каковы единицы ее измерения?
4. Что такое ширина запрещенной зоны и приблизительные значения ее для кремния и германия?
5. В чем состоит метод зонной плавки и для чего она применяется?
6. Чем отличается аморфное вещество от монокристалла с точки зрения ближнего и дальнего порядка в расположении атомов?
7. Какие вакуумные методы нанесения тонких пленок металлических, полупроводниковых и диэлектрических применяются при создании элементов электроники и наноэлектроники?
8. Каковы особенности магнетронного распыления? Преимущества магнетронного метода перед термическим распылением.
9. Как происходит ионизация и возникает тлеющий разряд?
10. Каков механизм ионного распыления вещества?
11. Какими методами наносят диэлектрические пленки?
12. Из каких основных элементов состоят установки вакуумного нанесения?
13. Какова последовательность операций при работе вакуумных установок?
14. Как измеряют толщину наносимых пленок?
15. Принцип измерения толщины пленок методом интерферометрии.
16. Какие типы дефектов кристаллической структуры твердых тел вы можете указать?
17. Приведите примеры нуль-мерного, одномерного, двумерного и трехмерного дефектов в монокристаллах полупроводников.

18. В чем различие трехуровневой и четырехуровневой лазерных схем? Приведите примеры.
19. Каков принцип функционирования волоконно-оптической линии связи?
20. Укажите материалы и методы получения оптических волокон.
21. Для чего применяются диаграммы состояния?
22. Для каких двухкомпонентных систем получается диаграмма с эвтектикой?
23. Что такое компонент и фаза в физической системе?
24. В чем заключается ионный тип межатомной связи? В чем разница (принципиальная и количественная) со связью типа Ва-дер-Ваальса?

Типовые задания лабораторного практикума:

- 1) Ознакомьтесь с понятием вакуум и по какому параметру классифицируется вакуум.
- 2) На образцах вакуумных ламп и на схемах в литературе ознакомьтесь с методами измерения вакуума. Измерьте давление в баллонах вакуумных ламп термпарного и ионизационного типа, хранящихся в лаборатории.
- 3) На наглядных пособиях и в литературе рассмотрите принципы работы форвакуумного и диффузионного насосов.
- 4) На типовой вакуумной установке типа ВУП-4 рассмотрите порядок включения и выключения систем подобного типа, в том числе, в аварийных случаях.
- 5) Поместите подложку и распыляемую мишень в вакуумный объем установки магнетронного нанесения и получите необходимый вакуум. Осуществите напуск рабочего газа (Ar) до необходимого давления, включите напряжение между анодом и катодом. Наблюдайте появление разряда и установите необходимый ток разряда. Выдержите определенное время для нанесения пленки.
- 6) Определите толщину нанесенной пленки (и, соответственно, скорость нанесения) доступным методом, например, на интерференционном микроскопе МИИ-4. Выключите установку.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Таиров Ю.М., Цветков В.Ф. Технология полупроводниковых и диэлектрических материалов. М.: Высшая школа. 1990. 423 с. (10 экз. – ФБ ННГУ).
2. Сорокин В.С., Антипов Б.Л., Лазарева Н.П. Материалы и элементы электронной техники. Активные диэлектрики, магнитные материалы, элементы электронной техники. Лань, 2016 – 384 с. (https://e.lanbook.com/book/71735?category_pk=925#book_name) - доступ с компьютеров ННГУ.
3. Сорокин В.С., Антипов Б.Л., Лазарева Н.П. Материалы и элементы электронной техники. Проводники, полупроводники, диэлектрики. Лань, 2015 – 448 с. (https://e.lanbook.com/book/67462?category_pk=925#book_name) - доступ с компьютеров ННГУ.

4. Раскин А.А. Технология материалов микро-, опто- и наноэлектроники. Ч.1 Лаборатория знаний, 2012. – 164 с. (<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785996314706.html>) - доступ с компьютеров ННГУ.

б) дополнительная литература:

1. Пасынков В.В., Сорокин В.С. Материалы электронной техники. М.: Высшая школа. 1986. - 367 с.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

Для углубленного изучения вопросов науки о материалах электронной техники рекомендуется чтение обзорных статей в журналах, имеющих в открытом доступе для пользователей ННГУ:

- Физика и техника полупроводников: <http://journals.ioffe.ru/ftp/>
- Физика твердого тела: <http://journals.ioffe.ru/ftt/>
- Успехи физических наук: <http://www.ufn.ru/>.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: специализированной мебелью, меловыми или магнитно-маркерными досками для представления учебной информации большой аудитории.

При выполнении лабораторных работ используются лаборатории кафедры физики полупроводников, электроники и наноэлектроники и соответствующее оборудование:

Демонстрационные образцы слитков полупроводниковых материалов (Si, GaAs, InSb); металлических изделий – лодочек, испарителей, прутков, лент – из W, Mo, Ni, In, Sn, Zn; диэлектрических деталей (кварцевые платины и трубки, подложки из сапфира, поликристаллического корунда, ситалла, гетинакса, заготовки из тефлона); стержней из АИГ:Nd, рубина и неодимового стекла для лазеров и др.

Технологическая лаборатория:

- Вакуумная установка ВУП-4 для магнетронного нанесения пленок материалов электронной техники;
- Микроинтерферометр Линника МИИ-4 для измерения толщины нанесенных пленок;
- Демонстрационные вакуумные насосы и измерители вакуума.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями установленного ННГУ образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника».

Автор
доцент кафедры
физики полупроводников и оптоэлектроники
к.ф.м.-н.

Ю.А. Данилов

Рецензент:
заведующий кафедрой
теоретической физики
д.ф.-м.н. профессор

В.А. Бурдов

Заведующий кафедрой физики
Полупроводников, электроники и наноэлектроники
д.ф.-м.н. профессор

Д. А. Павлов

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии физического факультета
ННГУ, протокол б/н от «20» мая 2023 г.

Председатель
Учебно-методической комиссии
физического факультета ННГУ

А.А. Перов