

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной работе

Дата подписания: 12.10.2023 12:49:17

Уникальный идентификатор документа:

d7a26b9e8ca85e98ec3de2eb454b4659d061f249

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования**

«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Технология наногетероструктур

Закреплена за подразделением

Кафедра ППЭ и ФПП

Направление подготовки

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Профиль

Квалификация

Инженер-исследователь

Форма обучения

очная

Общая трудоемкость

5 ЗЕТ

Часов по учебному плану

180

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

экзамен 10

аудиторные занятия

68

самостоятельная работа

76

часов на контроль

36

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	10 (5.2)		Итого	
	Неделя 18			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	34	34	34	34
Лабораторные	17	17	17	17
Практические	17	17	17	17
Итого ауд.	68	68	68	68
Контактная работа	68	68	68	68
Сам. работа	76	76	76	76
Часы на контроль	36	36	36	36
Итого	180	180	180	180

Программу составил(и):

к.х.н., доц., Вагапова Наргиза Тухтамышевна; ст.преп., Лебедев Андрей Александрович

Рабочая программа

Технология наногетероструктур

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» по направлению подготовки 11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА (приказ от 28.06.2023 г. № 292 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА, 11.03.04-БЭН-23_6-ПП.plx , утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.06.2023, протокол № 5-23

Утверждена в составе ОПОП ВО:

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА, , утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.06.2023, протокол № 5-23

Рабочая программа одобрена на заседании

Кафедра ППЭ и ФПП

Протокол от 21.06.2023 г., №11

Руководитель подразделения Диденко Сергей Иванович, к.ф.-м.н., доцент

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ

1.1	На примере процессов изготовления современных солнечных элементов или фотопреобразователей (преимущественно, на основе материалов АПВВ) сформировать представление о базовых технологических операциях, используемых в производстве полупроводниковых приборов. Сформировать представление об основных стадиях технологического процесса изготовления солнечных элементов и их критических параметрах.
-----	--

2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Блок ОП:		Б1.В.ДВ.15
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося:	
2.1.1	Методы математического моделирования	
2.1.2	Методы характеристики полупроводниковых материалов и структур	
2.1.3	Моделирование процессов и устройств полупроводниковой электроники	
2.1.4	Силовые полупроводниковые приборы	
2.1.5	Физика квантоворазмерных полупроводниковых композиций	
2.1.6	Физика наноструктур	
2.1.7	Физико-химия и технология наноструктур	
2.1.8	Магнитные измерения	
2.1.9	Математические модели технологических процессов получения магнитоэлектроники и радиокерамики	
2.1.10	Моделирование технологических процессов получения материалов электронной техники	
2.1.11	Нанoeлектроника полупроводниковых приборов и устройств	
2.1.12	Оборудование производства ферритовых материалов и радиокерамики	
2.1.13	Основы радиационной стойкости изделий электронной техники	
2.1.14	Основы технологии электронной компонентной базы	
2.1.15	Приборы квантовой и оптической электроники	
2.1.16	Физика взаимодействия частиц и излучений с веществом	
2.1.17	Элементы и устройства магнитоэлектроники	
2.1.18	Дефекты в оптоэлектронных полупроводниковых приборах на широкозонных материалах	
2.1.19	Ионно-плазменная обработка материалов	
2.1.20	Компьютерные технологии проектирования процессов нанoeлектроники	
2.1.21	Материаловедение ферритов и родственных магнитных систем	
2.1.22	Методы исследования материалов и структур электроники	
2.1.23	Основы проектирования электронной компонентной базы. Пакеты прикладных программ	
2.1.24	Основы технологии электронной компонентной базы. Технология тонких пленок	
2.1.25	Полевые полупроводниковые приборы	
2.1.26	Полупроводниковая нанoeлектроника	
2.1.27	Приемники оптического излучения	
2.1.28	Физика импульсного отжига	
2.1.29	Физико-математические модели процессов нанoeлектроники	
2.1.30	Физические основы электроники	
2.1.31	Функциональная нанoeлектроника	
2.1.32	Биполярные полупроводниковые приборы	
2.1.33	Инженерная математика	
2.1.34	Квантовая и оптическая электроника	
2.1.35	Материаловедение полупроводников и диэлектриков	
2.1.36	Технология материалов электронной техники	
2.1.37	Физика диэлектриков	
2.1.38	Физика магнитных явлений	
2.1.39	Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники	
2.1.40	Физические свойства кристаллов	
2.1.41	Электроника	
2.1.42	Практическая кристаллография	
2.1.43	Физика	
2.1.44	Физическая химия	

2.1.45	Математика
2.1.46	Органическая химия
2.1.47	Химия
2.2	Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:
2.2.1	Основы надежности элементной базы электроники в условиях ионизирующего излучения космического пространства
2.2.2	Проектирование и технология электронной компонентной базы
2.2.3	Радиационно-технологические процессы в электронике
2.2.4	Технологии материалов для радиопоглощения и электромагнитного экранирования
2.2.5	Физика и техника магнитной записи
2.2.6	Электроника органических полупроводников (материалы, технологии, приборы)
2.2.7	Электронные и оптические свойства широкозонных соединений А2В6
2.2.8	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы
2.2.9	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

ПК-5: Способность проводить анализ и выбор перспективных технологических процессов при производстве изделий микроэлектроники

Знать:

ПК-5-31 Принципиальное устройство современных солнечных элементов, принципы подбора используемых в их структуре материалов, основные принципы построения технологии

ПК-2: Способность контролировать соблюдение режимов технологических операций, процессов производства изделий микроэлектроники

Знать:

ПК-2-31 Физические основы, область применения, варианты реализации, требования к экспериментальным образцам и методику обработки данных методов характеризации эпитаксиальных полупроводниковых структур: рефлектометрия, пирометрия, дефлектометрия, фотолюминесценция, рентгеновская дифрактометрия, электро-химическая (вольт-фарадная) профилометрия и др.

ОПК-1: Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности

Знать:

ОПК-1-31 Физические основы методов формирования приборной структуры изделий микроэлектроники (на примере солнечных элементов): диффузия, эпитаксия, литография и др.

ПК-5: Способность проводить анализ и выбор перспективных технологических процессов при производстве изделий микроэлектроники

Уметь:

ПК-5-У1 Исходя из описания приборной структуры солнечных элементов (и др. родственных полупроводниковых приборов) выявлять критерии и на их основе предлагать оптимальные технологические способы и режимы создания таких структур

ПК-2: Способность контролировать соблюдение режимов технологических операций, процессов производства изделий микроэлектроники

Уметь:

ПК-2-У1 Применять совместно in-sute и др. методы характеризации к полупроводниковым приборным структурам

ОПК-1: Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности

Уметь:

ОПК-1-У1 На основе технологических параметров проводить расчет состава парогазовой фазы метода МОСГЭ, а также давать оценку скорости роста эпитаксиальных слоев методами МЛЭ, ЖФЭ, МОСГЭ

ПК-5: Способность проводить анализ и выбор перспективных технологических процессов при производстве изделий микроэлектроники

Владеть:

ПК-5-В1 Пониманием причин практической реализации промышленной технологии солнечных элементов космического применения, выбора способов создания солнечных элементов, их режимов и применяемых расходных материалов

ПК-2: Способность контролировать соблюдение режимов технологических операций, процессов производства изделий микроэлектроники

Владеть:

ПК-2-В1 Навыками анализа экспериментальных данных на предмет выявления основных параметров приборной полупроводниковой структуры, установления их корреляции с технологическими параметрами, выявления отклонений и выдачи рекомендаций по их корректировке

ОПК-1: Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности

Владеть:

ОПК-1-В1 Навыками проведения расчетов состава парогазовой смеси метода МОСГЭ и скорости роста для современного автоматизированного оборудования промышленного типа

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Формируемые индикаторы компетенций	Литература и эл. ресурсы	Примечание	КМ	Выполняемые работы
	Раздел 1. Основы полупроводниковой технологии							

1.1	Основы полупроводниковой технологии и ретроспектива полупроводниковых фотопреобразователей /Лек/	10	3	ПК-5-31	Л1.1Л2.2Л3. 3	<p>Нашельский А.Я. Технология полупроводниковых материалов / Пособие для повышения квалификации и ИТР – М.: Металлургия, 1987. – 336 с.</p> <p>Курносов, А.И., Юдин В.В. Технология производства полупроводниковых приборов / Учебное пособие для вузов – М.: Высшая школа, 1974 . – 400 с.</p> <p>Энциклопедия технологии полупроводниковых материалов / под ред. К. А. Джексона и В. Шретера. - Воронеж : Водолей, 2004 - Т. 1 : Электронная структура и свойства полупроводников / пер. с англ. под ред. проф. Э.П. Домашевско й. - 2004. - 967 с.</p> <p>Колтун М.М. Оптика и метрология солнечных элементов. – М.: Наука, 1985.</p> <p>Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей / Пер. с англ. – М.: Энергоатоми</p>		
-----	--	----	---	---------	------------------	--	--	--

						здат, 1983. – 360 с. Васильев А.М. Ландсман А.П. Полупроводниковые фотопреобразователи. – М.:Изд-во «Советское радио», 1971. – 248 с.		
1.2	Технологический цикл изготовления полупроводниковых приборов на примере фотопреобразователя /Лек/	10	2	ОПК-1-31 ПК-5-31	Л1.1	Нашельский А.Я. Технология полупроводниковых материалов / Пособие для повышения квалификации и ИТР – М.: Металлургия, 1987. – 336 с. Курносов, А.И., Юдин В.В. Технология производства полупроводниковых приборов / Учебное пособие для вузов – М.: Высшая школа, 1974. – 400 с. Энциклопедия технологии полупроводниковых материалов / под ред. К. А. Джексона и В. Шретера. - Воронеж : Водолей, 2004 - Т. 1 : Электронная структура и свойства полупроводников / пер. с англ. под ред. проф. Э. П. Домашевский . - 2004. - 967 с		
1.3	Полупроводниковые соединения АПВВ /Лек/	10	2	ПК-5-31	Л1.1Л2.2			

1.4	Расчет производительности технологической линии /Пр/	10	4	ОПК-1-31 ПК-5-31 ПК-5-В1	Л1.1	Нашельский А.Я. Технология полупроводниковых материалов / Пособие для повышения квалификации и ИТР – М.: Metallurgia, 1987. – 336 с. Курносов, А.И., Юдин В.В. Технология производства полупроводниковых приборов / Учебное пособие для вузов – М.: Высшая школа, 1974 . – 400 с.		
1.5	Расчет расхода сопутствующих изготовлению ФЭП газовых смесей (азот, водород, формовочный газ) /Пр/	10	4	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-5-31 ПК-5-В1	Л1.1	Маслов А.А. Технология и конструкции полупроводниковых приборов. М.: «Энергия», 1970. 296 с.	КМ1	

1.6	Самостоятельное изучение литературы /Ср/	10	18	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-5-31 ПК-5-В1	Л1.1Л2.2Л3. 3 Э1	<p>Нашельский А.Я. Технология полупроводниковых материалов / Пособие для повышения квалификации и ИТР – М.: Металлургия, 1987. – 336 с.</p> <p>Курносов, А.И., Юдин В.В. Технология производства полупроводниковых приборов / Учебное пособие для вузов – М.: Высшая школа, 1974 . – 400 с.</p> <p>Энциклопедия технологии полупроводниковых материалов / под ред. К.А. Джексона и В. Шретера. - Воронеж : Водолей, 2004 - Т. 1 : Электронная структура и свойства полупроводников / пер. с англ. под ред. проф. Э.П. Домашевско й. - 2004. - 967 с.</p> <p>Колтун М.М. Оптика и метрология солнечных элементов. – М.: Наука, 1985.</p> <p>Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей / Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1983. –</p>		
-----	--	----	----	--	------------------------	--	--	--

						360 с. Васильев А.М. Ландсман А.П. Полупроводн иковые фотопреобра зователи. – М.: Изд-во «Советское радио», 1971. – 248 с. Маслов А.А. Технология и конструкции полупроводн иковых приборов. М.: «Энергия», 1970. 296 с.		
	Раздел 2. Монокристаллы и формирование эпитаксиальных слоев							
2.1	Монокристаллы, эпитаксия, критерии и условия эпитаксии, методы эпитаксии /Лек/	10	4	ОПК-1-31 ПК- 5-31	Л1.1Л2.1 Л2.3Л3.2			
2.2	Метод МОС-гидридной эпитаксии /Лек/	10	3	ОПК-1-31 ПК- 5-31	Л1.1Л3.2	Маслов А.А. Технология и конструкции полупроводн иковых приборов. М.: «Энергия», 1970. 296 с.		
2.3	Технология производства монокристаллических германиевых и кремниевых подложек для осаждения гетероструктур /Лек/	10	4	ОПК-1-31 ПК- 5-31	Л1.1	Нашельский А.Я. Технология полупроводн иковых материалов / Пособие для повышения квалификаци и ИТР – М.: Металлургия , 1987. – 336 с. Курносов, А.И., Юдин В.В. Технология производства полупроводн иковых приборов / Учебное пособие для вузов – М.: Высшая школа, 1974 . – 400 с.		

2.4	Очистка поверхности подложек для эпитаксиального роста полупроводниковой гетероструктуры фотопреобразователей /Лек/ /	10	2	ОПК-1-31 ПК-5-31	Л1.1	Нашельский А.Я. Технология полупроводниковых материалов / Пособие для повышения квалификации и ИТР – М.: Металлургия, 1987. – 336 с. Курносов, А.И., Юдин В.В. Технология производства полупроводниковых приборов / Учебное пособие для вузов – М.: Высшая школа, 1974. – 400 с.		
2.5	Расчет количества компонентов газовой фазы ректоров эпитаксиального роста МОСГЭ /Пр/	10	3	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1	Л1.1Л2.2Л3.1			Р1
2.6	Расчет скорости роста по показаниям рефлектометра /Пр/	10	3	ПК-2-31 ПК-2-У1 ПК-2-В1	Л1.1Л3.1			КМ2
2.7	Рентгеновская дифрактометрия /Лек/	10	1	ПК-2-31	Л1.1Л2.1 Л2.3	Боуэн Д.К., Таннер Б.К. Высокоразрешающая рентгеновская дифрактометрия и топография / Перевод с англ. – СПб. Наука, 2002.		
2.8	Рентгеновская дифрактометрия, определение состава и дефектности слоев /Лаб/	10	3	ПК-2-31 ПК-2-У1 ПК-2-В1	Л1.1Л2.1 Л2.3Л3.4 Э1	Боуэн Д.К., Таннер Б.К. Высокоразрешающая рентгеновская дифрактометрия и топография / Перевод с англ. – СПб. Наука, 2002.		
2.9	Фотолюминесценция, Спектрофотометрия /Лек/	10	1	ПК-2-31	Л1.1 Л1.2Л2.4			
2.10	Фотолюминесценция, построение карты равномерности по составу слоя /Лаб/	10	3	ПК-2-31 ПК-2-У1 ПК-2-В1	Л1.1 Л1.2Л2.4Л3.4 Э1 Э2			

2.11	Спектрофотометрия, построение карты равномерности по толщине слоев /Лаб/	10	3	ПК-2-31 ПК-2-У1 ПК-2-В1	Л1.1 Л1.2Л2.4Л3. 4 Э1 Э2			
2.12	Электрохимическая профилометрия, определение профиля распределения концентрации основных носителей заряда по глубине полупроводниковой структуры /Лаб/	10	3	ПК-2-31 ПК-2-У1 ПК-2-В1	Л1.1Л2.4Л3. 4 Э1	Маслов А.А. Технология и конструкции полупроводниковых приборов. М.: «Энергия», 1970. 296 с. Брук В.А., Гаршенин В.В., Курносов А.И. Производство полупроводниковых приборов. – М. Профтехиздат, 1963.		
2.13	Измерение электросопротивления слоя бесконтактным методом /Лаб/	10	3	ПК-2-31 ПК-2-У1 ПК-2-В1	Л1.1Л2.4Л3. 4 Э1			
2.14	Изучение эффекта Холла в полупроводниках /Лаб/	10	2	ПК-2-31 ПК-2-У1 ПК-2-В1	Л1.1Л2.4Л3. 4 Э1			

2.15	Самостоятельное изучение литературы; Подготовка к семинарам. /Ср/	10	24	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-У1 ПК-2-В1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1 Л3.2 Л3.4 Э1 Э2	Нашельский А.Я. Технология полупроводниковых материалов / Пособие для повышения квалификации и ИТР – М.: Металлургия, 1987. – 336 с. Курносов, А.И., Юдин В.В. Технология производства полупроводниковых приборов / Учебное пособие для вузов – М.: Высшая школа, 1974 . – 400 с. Маслов А.А. Технология и конструкции полупроводниковых приборов. М.: «Энергия», 1970. 296 с. Боуэн Д.К., Таннер Б.К. Высокораэшающая рентгеновская дифрактометрия и топография / Перевод с англ. – СПб. Наука, 2002. Брук В.А., Гаршенин В.В., Курносов А.И. Производство полупроводниковых приборов. – М. Профтехиздат, 1963.		
Раздел 3. Формирование контактов								

3.1	Применение фотолиграфии в процессе изготовления гетероструктурных полупроводниковых приборов (на примере солнечных элементов) /Лек/	10	5	ОПК-1-31 ПК-5-31	Л1.1	У. Моро Микролитография Принципы, методы, материалы / в 2-х частях, Ч. 1, – М.: Мир, 1990. У. Моро Микролитография Принципы, методы, материалы / в 2-х частях, Ч. 2, – М.: Мир, 1990		
3.2	Нанесение металлических контактов /Лек/	10	3	ОПК-1-31 ПК-5-31	Л1.1Л3.1	Нашельский А.Я. Технология полупроводниковых материалов / Пособие для повышения квалификации и ИТР – М.: Металлургия, 1987. – 336 с. Курносов, А.И., Юдин В.В. Технология производства полупроводниковых приборов / Учебное пособие для вузов – М.: Высшая школа, 1974. – 400 с.		
3.3	Расчет состава растворов жидкостного химического травления применяемого в операциях изготовления ФЭП /Пр/	10	1	ПК-5-31 ПК-5-У1	Л1.1	Маслов А.А. Технология и конструкции полупроводниковых приборов. М.: «Энергия», 1970. 296 с. Брук В.А., Гаршенин В.В., Курносов А.И. Производство полупроводниковых приборов. – М. Профтехиздат, 1963.		

3.4	Расчет верхней границы температурного режима обработки заготовок ФЭП на постростовых операциях /Пр/	10	0,5	ПК-5-31 ПК-5-У1	Л1.1	Маслов А.А. Технология и конструкции полупроводниковых приборов. М.: «Энергия», 1970. 296 с.		
3.5	Расчет толщины фоторезиста при фотолитографической подготовке заготовок ФЭП к нанесению металлических контактов /Пр/	10	0,5	ПК-5-31 ПК-5-У1	Л1.1	У. Моро Микролитография Принципы, методы, материалы / в 2 -х частях, Ч. 1, – М.: Мир, 1990. У. Моро Микролитография Принципы, методы, материалы / в 2 -х частях, Ч. 2, – М.: Мир, 1990.	КМЗ	

3.6	Самостоятельное изучение литературы /Ср/	10	15	ОПК-1-31 ПК-5-31 ПК-5-У1	Л1.Л3.1 Э1	<p>Нашельский А.Я. Технология полупроводниковых материалов / Пособие для повышения квалификации и ИТР – М.: Металлургия, 1987. – 336 с.</p> <p>Куросов А.И., Юдин В.В. Технология производства полупроводниковых приборов / Учебное пособие для вузов – М.: Высшая школа, 1974 . – 400 с.</p> <p>Маслов А.А. Технология и конструкции полупроводниковых приборов. М.: «Энергия», 1970. 296 с.</p> <p>Брук В.А., Гаршенин В.В., Куросов А.И. Производство полупроводниковых приборов. – М. Профтехиздат, 1963.</p> <p>У. Моро Микролитография Принципы, методы, материалы / в 2 -х частях, Ч. 1, – М.: Мир, 1990.</p> <p>У. Моро Микролитография Принципы, методы, материалы / в 2 -х частях, Ч. 2, – М.: Мир, 1990.</p>		
-----	--	----	----	--------------------------	---------------	---	--	--

	Раздел 4. Формирование защитных слоев							
4.1	Формирование габаритных параметров фотопреобразователей и др. постростовые операции /Лек/	10	2	ОПК-1-31 ПК-5-31	Л1.1	Нашельский А.Я. Технология полупроводниковых материалов / Пособие для повышения квалификации и ИТР – М.: Metallurgia, 1987. – 336 с. Курносов А.И., Юдин В.В. Технология производства полупроводниковых приборов / Учебное пособие для вузов – М.: Высшая школа, 1974 . – 400 с.		
4.2	Нанесение защитных оптических покрытий /Лек/	10	2	ОПК-1-31 ПК-5-31	Л1.1	Нашельский А.Я. Технология полупроводниковых материалов / Пособие для повышения квалификации и ИТР – М.: Metallurgia, 1987. – 336 с. Курносов А.И., Юдин В.В. Технология производства полупроводниковых приборов / Учебное пособие для вузов – М.: Высшая школа, 1974 . – 400 с. Колтун М.М. Селективные оптические поверхности преобразователей солнечной энергии. – М.: Наука, 1979. – 215 с.		

4.3	Расчет верхней границы температурного режима обработки заготовок ФЭП на постростовых операциях /Пр/	10	1	ПК-5-31 ПК-5-У1	Л1.1	Маслов А.А. Технология и конструкции полупроводниковых приборов. М.: «Энергия», 1970. 296 с.	КМ4	
-----	---	----	---	-----------------	------	--	-----	--

4.4	Самостоятельное изучение литературы; Подготовка к экзамену /Ср/	10	19	ОПК-1-31 ПК-5-31 ПК-5-У1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4 Э1	Нанозлектроника. Элементы, приборы, устройства: учебное пособие / Г.Г. Шишкин, И.М. Агеев. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 408 с. Нашельский А.Я. Технология полупроводниковых материалов / Пособие для повышения квалификации и ИТР – М.: Металлургия, 1987. – 336 с. Курносов А.И., Юдин В.В. Технология производства полупроводниковых приборов / Учебное пособие для вузов – М.: Высшая школа, 1974 . – 400 с. Маслов А.А. Технология и конструкции полупроводниковых приборов. М.: «Энергия», 1970. 296 с. У. Моро Микролитография Принципы, методы, материалы / в 2 -х частях, Ч. 1, – М.: Мир, 1990. У. Моро Микролитография Принципы, методы, материалы / в 2 -х частях, Ч. 2, – М.: Мир, 1990.	КМ5
-----	--	----	----	--------------------------	---	---	-----

						<p>Колтун М.М. Селективные оптические поверхности преобразоват елей солнечной энергии. – М.: Наука, 1979. – 215 с.</p> <p>Боуэн Д.К., Таннер Б.К. Высокоразре шающая рентгеновска я дифрактомет рия и топография / Перевод с англ. – СПб. Наука, 2002. Энциклопед ия технологии полупроводн иковых материалов / под ред. К.А. Джексона и В. Шретера. - Воронеж : Водолей, 2004 - Т. 1 : Электронная структура и свойства полупроводн иков / пер. с англ. под ред. проф. Э.П. Домашевско й. - 2004. - 967 с.</p> <p>Колтун М.М. Оптика и метрология солнечных элементов. – М.: Наука, 1985.</p> <p>Раушенбах Г. Справочник по проектирова нию солнечных батарей / Пер. с англ. – М.: Энергоатоми здат, 1983. – 360 с.</p> <p>Васильев А.М., Ландсман А.П.</p>		
--	--	--	--	--	--	--	--	--

						Полупроводниковые фотопреобразователи. – М.: Изд-во «Советское радио», 1971. – 248 с. Брук В.А., Гаршенин В.В., Курносов А.И. Производство полупроводниковых приборов. – М. Профтехиздат, 1963		
--	--	--	--	--	--	--	--	--

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

5.1. Контрольные мероприятия (контрольная работа, тест, коллоквиум, экзамен и т.п), вопросы для самостоятельной подготовки

Код КМ	Контрольное мероприятие	Проверяемые индикаторы компетенций	Вопросы для подготовки
КМ1	Коллоквиум №1 по разделу "Основы полупроводниковой технологии"	ОПК-1-31;ОПК-1-У1;ОПК-1-В1;ПК-5-31;ПК-5-В1	<ul style="list-style-type: none"> - Основные элементы полупроводниковых приборов на примере фотопреобразователя (перечислить с пояснением их назначения, изобразить, указать основные параметры). - Технологический цикл изготовления полупроводниковых приборов на примере фотопреобразователя (перечислить стадии с пояснением их назначения, принципов реализации и т.п.). - Легирование полупроводниковых слитков. - Механическая обработка полупроводниковых слитков. - Химическая обработка полупроводниковых материалов. - Методы резки полупроводниковых слитков различных диаметров. - Внешний вид полупроводниковой пластины. - Для чего на пластине создается фаска. - Шлифовка и полировка полупроводниковых пластин. - Базовый и дополнительные срезы. - Последовательность технологических процессов изготовления солнечных элементов. - Резка полупроводниковых пластин на кристаллы: назначение операции, способы реализации. - Резка полупроводниковых пластин на кристаллы: скрайбирование – достоинства и недостатки методов. - Резка пластин в размер кристалла – достоинства и недостатки методов. - Маркировка кристаллов: методы реализации, их достоинства и недостатки. - Вольт-амперная характеристика солнечного элемента. Способы измерений. - Чистые помещения.

КМ2	Коллоквиум №2 по разделу "Монокристаллы и формирование эпитаксиальных слоев"	ПК-2-31;ПК-2-У1;ПК-2-В1	<ul style="list-style-type: none"> - Определение эпитаксии (что это, где применяется, встречается в природе). - Виды эпитаксии (перечислить, объяснить разницу, указать применение). - Стадии эпитаксиального роста (перечислить по порядку, указать критические параметры). - Дефекты кристаллов (перечислить основные виды, дать классификацию, изобразить, указать критическую величину для эпитаксиального роста и т.д.). - Дефекты эпитаксиального роста (перечислить, описать, указать причины возникновения). - Критерии эпитаксиального роста (перечислить, пояснить). - Условия эпитаксиального роста (перечислить, пояснить). - Виды эпитаксиального роста по его реализации (перечислить, пояснить). - Принципиальная схема установки эпитаксиального роста из газовой фазы (изобразить, указать основные элементы, пояснить принцип работы). - Принципиальная схема установки эпитаксиального роста из жидкой фазы (изобразить, указать основные элементы, пояснить принцип работы). - Принципиальная схема установки молекулярно-лучевой эпитаксии (изобразить, указать основные элементы, пояснить принцип работы). - Сравнение способов реализации эпитаксиального роста (перечислить, назвать принципиальные отличия, преимущества и недостатки). - Типы реакторов эпитаксиального роста из газовой фазы (перечислить, пояснить различия, привести изображение). - Устройства контроля параметров эпитаксиального роста (перечислить, пояснить принцип работы и указать контролируемый параметр, назвать преимущества и недостатки). - Химические методы очистки полупроводниковых материалов. - Физические методы очистки материалов. - Получение поликристаллического германия (схема получения высокочистого германия). - Получение поликристаллического кремния (схема получения высокочистого кремния). - Способы получения поликристаллических слитков бинарных полупроводниковых соединений (на примере GaAs). - Методы получения монокристаллических слитков простых полупроводников. - Методы получения монокристаллических слитков бинарных полупроводниковых соединений (на примере GaAs).
-----	--	-------------------------	--

КМ3	Коллоквиум №3 по разделу "Формирование контактов"	ОПК-1-31;ПК-5-31;ПК-5-У1	<ul style="list-style-type: none"> - Постростовая стадия изготовления солнечных элементов: операции, их назначение, очередность. - Литография. Классификация литографии по различным источникам излучения. Требования к литографии. - Литография. Классификация литографии по способу реализации рисунка. Требования к оборудованию для литографии. - Литография. Виды резистов. Виды фотошаблонов для различных резистов. - Литография. Последовательность операций фотолитографии. - Фоторезисты. Светочувствительность фоторезиста. - Фоторезисты. Разрешающая способность фоторезиста. - Фоторезисты. Кислотостойкость фоторезиста. - Фоторезисты. Адгезия фоторезиста. - Фотолитография. Подготовка подложек к процессу фотолитографии. Способы нанесения фоторезиста, достоинства и недостатки. - Фотолитография. Сушка фоторезиста: назначение операции, способы реализации. - Фотолитография. Совмещение и экспонирование: описание процесса, необходимая оснастка и оборудование. - Фотолитография. Проявление: назначение операции, способы реализации. - Фотолитография. Задубливание: назначение операции, способы реализации. - Фотолитография. Процессы после создания маски из фоторезиста. - Фотолитография. Снятие маски: описать процесс, метод реализации. - Отмывка: назначение операции, способы реализации. - Металлизация. Создание металлических контактов: способы реализации процесса, требования к металлам и поверхности нанесения. - Металлизация. Вакуумное напыление и гальваническое осаждение металлов на поверхности полупроводников достоинства и недостатки методов. - Металлизация. Впекание металлов: назначение операции, способы реализации. - Металлизация. Тыльный контакт.
КМ4	Коллоквиум №4 по разделу "Формирование защитных слоёв"	ОПК-1-31;ПК-5-31;ПК-5-У1	<ul style="list-style-type: none"> - Просветляющее покрытие: функции, виды покрытия, способы создания покрытий. - Просветляющее покрытие. Стабилизация просветляющего покрытия: назначение операции, способы реализации.

КМ5	Экзамен	ОПК-1-31;ОПК-1-У1;ОПК-1-В1;ПК-2-31;ПК-2-У1;ПК-2-В1;ПК-5-31;ПК-5-У1;ПК-5-В1	<ul style="list-style-type: none"> - Основные элементы полупроводниковых приборов на примере фотопреобразователя (перечислить с пояснением их назначения, изобразить, указать основные параметры). - Технологический цикл изготовления полупроводниковых приборов на примере фотопреобразователя (перечислить стадии с пояснением их назначения, принципов реализации и т.п.). - Определение эпитаксии (что это, где применяется, встречается в природе). - Виды эпитаксии (перечислить, объяснить разницу, указать применение). - Стадии эпитаксиального роста (перечислить по порядку, указать критические параметры). - Дефекты кристаллов (перечислить основные виды, дать классификацию, изобразить, указать критическую величину для эпитаксиального роста и т.д.). - Дефекты эпитаксиального роста (перечислить, описать, указать причины возникновения). - Критерии эпитаксиального роста (перечислить, пояснить). - Условия эпитаксиального роста (перечислить, пояснить). - Виды эпитаксиального роста по его реализации (перечислить, пояснить). - Принципиальная схема установки эпитаксиального роста из газовой фазы (изобразить, указать основные элементы, пояснить принцип работы). - Принципиальная схема установки эпитаксиального роста из жидкой фазы (изобразить, указать основные элементы, пояснить принцип работы). - Принципиальная схема установки молекулярно-лучевой эпитаксии (изобразить, указать основные элементы, пояснить принцип работы). - Сравнение способов реализации эпитаксиального роста (перечислить, назвать принципиальные отличия, преимущества и недостатки). - Типы реакторов эпитаксиального роста из газовой фазы (перечислить, пояснить различия, привести изображение). - Устройства контроля параметров эпитаксиального роста (перечислить, пояснить принцип работы и указать контролируемый параметр, назвать преимущества и недостатки). - Химические методы очистки полупроводниковых материалов. - Физические методы очистки материалов. - Получение поликристаллического германия (схема получения высокочистого германия). - Получение поликристаллического кремния (схема получения высокочистого кремния). - Способы получения поликристаллических слитков бинарных полупроводниковых соединений (на примере GaAs). - Методы получения монокристаллических слитков простых полупроводников. - Методы получения монокристаллических слитков бинарных полупроводниковых соединений (на примере GaAs). - Легирование полупроводниковых слитков. - Механическая обработка полупроводниковых слитков. - Химическая обработка полупроводниковых материалов. - Методы резки полупроводниковых слитков различных диаметров. - Внешний вид полупроводниковой пластины. - Для чего на пластине создается фаска. - Шлифовка и полировка полупроводниковых пластин. - Базовый и дополнительные срезы. - Последовательность технологических процессов изготовления солнечных элементов. - Постростовая стадия изготовления солнечных элементов: операции, их назначение, очередность. - Литография. Классификация литографии по различным источникам излучения. Требования к литографии. - Литография. Классификация литографии по способу реализации рисунка. Требования к оборудованию для литографии. - Литография. Виды резистов. Виды фотошаблонов для различных резистов.
-----	---------	--	--

		<ul style="list-style-type: none"> - Литография. Последовательность операций фотолитографии. - Фоторезисты. Светочувствительность фоторезиста. - Фоторезисты. Разрешающая способность фоторезиста. - Фоторезисты. Кислотостойкость фоторезиста. - Фоторезисты. Адгезия фоторезиста. - Фотолитография. Подготовка подложек к процессу фотолитографии. Способы нанесения фоторезиста, достоинства и недостатки. - Фотолитография. Сушка фоторезиста: назначение операции, способы реализации. - Фотолитография. Совмещение и экспонирование: описание процесса, необходимая оснастка и оборудование. - Фотолитография. Проявление: назначение операции, способы реализации. - Фотолитография. Задубливание: назначение операции, способы реализации. - Фотолитография. Процессы после создания маски из фоторезиста. - Фотолитография. Снятие маски: описать процесс, метод реализации. - Отмывка: назначение операции, способы реализации. - Металлизация. Создание металлических контактов: способы реализации процесса, требования к металлам и поверхности нанесения. - Металлизация. Вакуумное напыление и гальваническое осаждение металлов на поверхности полупроводников достоинства и недостатки методов. - Металлизация. Впекание металлов: назначение операции, способы реализации. - Металлизация. Тыльный контакт. - Резка полупроводниковых пластин на кристаллы: назначение операции, способы реализации. - Резка полупроводниковых пластин на кристаллы: скрайбирование – достоинства и недостатки методов. - Резка пластин в размер кристалла – достоинства и недостатки методов. - Просветляющее покрытие: функции, виды покрытия, способы создания покрытий. - Просветляющее покрытие. Стабилизация просветляющего покрытия: назначение операции, способы реализации. - Маркировка кристаллов: методы реализации, их достоинства и недостатки. - Вольт-амперная характеристика солнечного элемента. Способы измерений. - Чистые помещения.
--	--	--

5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.)

Код работы	Название работы	Проверяемые индикаторы компетенций	Содержание работы
P1	Домашняя работа "Расчет состава парогазовой смеси реакторов МОСГЭ"	ОПК-1-31;ОПК-1-У1;ОПК-1-В1	Расчет количества компонентов газовой фазы реакторов эпитаксиального роста МОСГЭ

5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.)

По курсу предусмотрен устный экзамен.

Экзаменационный билет состоит из 3 заданий, типовые вопросы экзамена приведены в вопросах самоподготовки.

Задание 1 – теоретический вопрос;

Задание 2 – теоретический вопрос;

Задание 3 – теоретический вопрос.

5.4. Методика оценки освоения дисциплины (модуля, практики. НИР)

По дисциплине предполагается следующая шкала оценок:

- а) «отлично» – студент показывает глубокие, исчерпывающие знания в объеме пройденной программы, уверенно действует по применению полученных знаний на практике, грамотно и логически стройно излагает материал при ответе, умеет формулировать выводы из изложенного теоретического материала, знает дополнительно рекомендованную литературу;
- б) «хорошо» – студент показывает твердые и достаточно полные знания в объеме пройденной программы, допускает незначительные ошибки при освещении за-данных вопросов, правильно действует по применению знаний на практике, четко излагает материал;
- в) «удовлетворительно» – студент показывает знания в объеме пройденной программы, ответы излагает хотя и с ошибками, но уверенно исправляемыми после дополнительных и наводящих вопросов, правильно действует по применению знаний на практике;
- г) «неудовлетворительно» – студент допускает грубые ошибки в ответе, не понимает сущности излагаемого вопроса, не умеет применять знания на практике, дает неполные ответы на дополнительные и наводящие вопросы.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**6.1. Рекомендуемая литература****6.1.1. Основная литература**

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.1	Кожитов Л. В., Косушкин В. Г., Крапухин В. В., Пархоменко Ю. Н.	Технология материалов микро- и нанoeлектроники	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2007
Л1.2	Пархоменко Юрий Николаевич, Полисан Андрей Андреевич	Физика и технология приборов фотоники. Солнечная энергетика и нанотехнологии: учеб. пособие	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2014

6.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Шаскольская М. П.	Кристаллография: учеб. пособие для студ. высш. техн. учеб. заведений	Библиотека МИСиС	М.: Высш. шк., 1984
Л2.2	Горелик С. С., Дашевский М. Я.	Материаловедение полупроводников и диэлектриков: учебник для студ. вузов по напр. 'Материаловедение и технология новых материалов', 'Материаловедение, технологии материалов и покрытий'	Электронная библиотека	М.: Изд-во МИСиС, 2003
Л2.3	Розин К. М.	Практическая кристаллография: учеб. пособие для студ. вузов напр. 150700(651800)-Физическое материаловедение и 150100 (651300)-Металлургия	Электронная библиотека	М.: Изд-во МИСиС, 2005
Л2.4	Мартынов В. Н., Кольцов Г. И.	Полупроводниковая оптоэлектроника: Учеб. пособие для студ. вузов, обучающихся по направл. 'Электроника и микроэлектроника' и спец. 'Микроэлектроника и полупроводниковые приборы'	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 1999

6.1.3. Методические разработки

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
--	---------------------	----------	------------	-------------------

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
ЛЗ.1	Соколов И. А.	Расчеты процессов полупроводниковой технологии: Учеб. пособие для вузов	Библиотека МИСиС	М.: Металлургия, 1994
ЛЗ.2	Кожитов Лев Васильевич, Крапухин Всеволод Валерьевич, Улыбин Владимир Анатольевич	Технология эпитаксиальных слоев и гетерокомпозиций: Учебно-метод. пособие для студ. спец. 200100	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 2001
ЛЗ.3	Мурашев Виктор Николаевич, Леготин Сергей Александрович, Корольченко Алексей Сергеевич, Орлова Марина Николаевна	Физика фотопреобразователей: курс лекций	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2011
ЛЗ.4	Лебедев А. А., Вагапова Н. Т., Наумова А. А., Смирнов А. А.	Технология и оборудование для производства наногетероструктурных солнечных элементов (N 3504): лаб. практикум	Электронная библиотека	М.: [МИСиС], 2019

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Э1	Курс "Технология наногетероструктур" на платформе LMS Canvas	https://lms.misis.ru
Э2	Тематическая база данных ФТИ им. А.Ф. Иоффе	www.matprop.ru

6.3 Перечень программного обеспечения

6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных

И.1	Тематическая база данных ФТИ им. А.Ф. Иоффе по физическим свойствам полупроводниковых соединений (http://www.matprop.ru/)	
-----	--	--

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Ауд.	Назначение	Оснащение
Любой корпус Мультимедийная	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus
Читальный зал электронных ресурсов		комплект учебной мебели на 55 мест для обучающихся, 50 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus.

К-510	Учебная аудитория	комплект лабораторного оборудования по ФТТ (АПК ТАУМЕР, установка "ВИК УЭС", компьютер с ПО); электромагнит ФЛ-1; установка для измерения Эффекта Холла, ноутбук с ПО, установка измерения сопротивления полупроводника в магнитном поле (электромагнит, прибор универсальный, источник питания универсальный, источник тока Э378, вольтметр В7-21А); установка определения удельного сопротивления двухзондовым методом (вольтметр В7-21А, источник питания Б5-50, стенд для измерения УЭС 2-зондовым методом с освещением и эталонным сопротивлением); установка изучения поглощения света в полупроводниках (монохроматор УМ-2, фотоприемник, вольтметр В7-16А, пульт питания с лампой ЭПС-112); установка измерения собственной и примесной проводимости полупроводниковых материалов (монохроматор МДР-3, вольтметр В7-138, источник питания с лампой ВК7-7); установка измерения температурной зависимости электропроводности (компьютер с лицензионным ПО, нагреватель, приставка для измерения ширины запрещенной зоны, источник питания Б5-30)
Любой корпус Мультимедийная	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Дисциплина относится к точным наукам и требует значительного объема самостоятельной работы. Отдельные учебные вопросы выносятся на самостоятельную проработку и контролируются посредством текущей аттестации. При этом организуются групповые и индивидуальные консультации. Качественное освоение дисциплины возможно только при систематической самостоятельной работе, что поддерживается системой текущей и рубежной аттестации.