

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по безопасности и общим вопросам

Дата подписания: 28.04.2023 13:07:51

Уникальный программный ключ:

d7a26b9e8ca85e98ac3de2ab454b4659d961f749

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

«Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

## Рабочая программа дисциплины (модуля)

# Перспективная фотовольтаика

Закреплена за подразделением

Кафедра ППЭ и ФПП

Направление подготовки

11.04.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Профиль

Квалификация

**Магистр**

Форма обучения

**очная**

Общая трудоемкость

**4 ЗЕТ**

Часов по учебному плану

144

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

зачет с оценкой 3

аудиторные занятия

68

курсовая работа 3

самостоятельная работа

76

### Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	3 (2.1)		Итого	
	19			
Неделя	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
Итого	144	144	144	144

Программу составил(и):

*к.т.н., Ст.преп., Саранин Данила Сергеевич*

Рабочая программа

**Перспективная фотовольтаика**

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - магистратура Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по направлению подготовки 11.04.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА (приказ от 05.03.2020 г. № 95 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

11.04.04 ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЭНЕРГИИ, 11.04.04-МЭН-22-2.plx , утвержденного Ученым советом ФГАОУ ВО НИТУ "МИСиС" в составе соответствующей ОПОП ВО 22.09.2022, протокол № 8-22

Утверждена в составе ОПОП ВО:

11.04.04 ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЭНЕРГИИ, , утвержденной Ученым советом ФГАОУ ВО НИТУ "МИСиС" 22.09.2022, протокол № 8-22

Рабочая программа одобрена на заседании

**Кафедра ШЭ и ФШ**

Протокол от 17.06.2021 г., №11

Руководитель подразделения Диденко Сергей Иванович

**1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ**

1.1	Цель – формирование знаний и компетенций в области фотовольтаических приборов (солнечных батарей) для наземного использования.
-----	--

**2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Блок ОП:		Б1.В.ДВ.06
<b>2.1</b>	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>	
2.1.1	Иностранный язык	
2.1.2	Планирование научной деятельности	
2.1.3	Приборные структуры на некристаллических материалах	
2.1.4	Приборные структуры на широкозонных полупроводниках	
2.1.5	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности	
2.1.6	Силовые полупроводниковые приборы	
2.1.7	Физика наноструктур	
2.1.8	Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники	
2.1.9	История и методология науки и техники в области электроники	
2.1.10	Методы математического моделирования	
2.1.11	Методы характеристики полупроводниковых материалов и структур	
2.1.12	Перспективные технологии и материалы для поиска новых физических эффектов	
<b>2.2</b>	<b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b>	
2.2.1	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.2	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы	

**3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ**

<b>ПК-2: Способность оптимизировать параметры технологических операций</b>	
<b>Знать:</b>	
ПК-2-31 Базовые принципы технологии полупроводниковых пластин и тонких пленок для фотопреобразователей	
<b>ПК-4: Способность анализировать и выбирать перспективные материалы, технологические процессы и оборудование производства изделий микроэлектроники</b>	
<b>Знать:</b>	
ПК-4-31 Современные тенденции и перспективные подходы по созданию фотопреобразователей для различных сфер применения.	
ПК-4-31 Современные тенденции и перспективные подходы по созданию фотопреобразователей для различных сфер применения.	
<b>ОПК-1: Способен представлять современную научную картину мира, выявлять естественнонаучную сущность проблем, определять пути их решения и оценивать эффективность сделанного выбора, применять в профессиональной деятельности глубокие знания фундаментальных наук, знания в междисциплинарных областях</b>	
<b>Знать:</b>	
ОПК-1-31 физические основы фотоэлектрических преобразователей	
<b>Уметь:</b>	
ОПК-1-У1 Анализировать спектральные характеристики материалов и приборных структур на их основе	
<b>ПК-4: Способность анализировать и выбирать перспективные материалы, технологические процессы и оборудование производства изделий микроэлектроники</b>	
<b>Уметь:</b>	
ПК-4-У1 Объективно оценивать применимость различных перспективных подходов и материалов для решения задач современной оптоэлектроники.	
ПК-4-У1 Объективно оценивать применимость различных перспективных подходов и материалов для решения задач современной оптоэлектроники.	
<b>ПК-2: Способность оптимизировать параметры технологических операций</b>	
<b>Уметь:</b>	
ПК-2-У1 Проектировать фотопреобразователи заданного спектрального диапазона	

<b>ПК-4: Способность анализировать и выбирать перспективные материалы, технологические процессы и оборудование производства изделий микроэлектроники</b>
<b>Владеть:</b>
ПК-4-В1 Методами поиска актуальной информацией о проблемах оптоэлектронных устройств и наиболее перспективных подходов их решений.
ПК-4-В2 Навыками работы в современной среде коммуникации и обмена данными по научной и технической тематики в сфере полупроводниковых фотопреобразователей.
ПК-4-В2 Навыками работы в современной среде коммуникации и обмена данными по научной и технической тематики в сфере полупроводниковых фотопреобразователей.
<b>ПК-2: Способность оптимизировать параметры технологических операций</b>
<b>Владеть:</b>
ПК-2-В1 Современными средствами анализа характеристик фотовольтаических приборов
<b>ОПК-1: Способен представлять современную научную картину мира, выявлять естественнонаучную сущность проблем, определять пути их решения и оценивать эффективность сделанного выбора, применять в профессиональной деятельности глубокие знания фундаментальных наук, знания в междисциплинарных областях</b>
<b>Владеть:</b>
ОПК-1-В1 Методами анализа выходных характеристик различных структур и типов полупроводниковых фотопреобразователей.
<b>ПК-4: Способность анализировать и выбирать перспективные материалы, технологические процессы и оборудование производства изделий микроэлектроники</b>
<b>Владеть:</b>
ПК-4-В1 Методами поиска актуальной информацией о проблемах оптоэлектронных устройств и наиболее перспективных подходов их решений.

#### 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
	<b>Раздел 1. Базовые принципы фотовольтаики</b>							
1.1	Принципы работы и классификация твердотельных фотопреобразователей. Часть 1 /Лек/	3	1	ОПК-1-31 ПК-4-31 ПК-4-31	Л1.4 Л1.1 Л1.1Л3.7 Л3.9 Л3.10 Э1			
1.2	Выходные характеристики полупроводниковых фотопреобразователей. Основные уравнения, описывающие работу устройств. /Ср/	3	9	ОПК-1-У1	Л1.1 Л1.4 Л1.1 Л1.6		КМ1	Р1
1.3	Подготовка к расчетной части курсовой работы (Расчет выходных характеристик). /Ср/	3	9	ОПК-1-В1 ПК-2-В1	Л1.5			
1.4	Ознакомление с актуальной научной литературой, поисковыми сервисами и методическими материалами. /Ср/	3	10	ПК-4-31 ПК-4-31	Л1.2 Л1.1 Л1.1 Л1.1 Л1.3 Л1.7Л3.10 Л3.12 Э1 Э3			
1.5	Работа с имитаторами солнечного излучения. Часть 1 /Лаб/	3	1	ОПК-1-31	Л1.1Л1.1 Э2			
1.6	Принципы работы и классификация твердотельных фотопреобразователей. Часть 2 /Лек/	3	1	ОПК-1-В1	Л1.2Л1.1 Э4		КМ1	

1.7	Принципы работы и классификация твердотельных фотопреобразователей. Часть 3 /Лек/	3	1	ОПК-1-В1				
1.8	Принципы работы и классификация твердотельных фотопреобразователей. Часть 4 /Лек/	3	1	ПК-2-31				
1.9	Принципы работы и классификация твердотельных фотопреобразователей. Часть 5 /Лек/	3	1	ОПК-1-В1			КМ1	
1.10	Принципы работы и классификация твердотельных фотопреобразователей. Часть 6 /Лек/	3	1	ОПК-1-31				
1.11	Работа с имитаторами солнечного излучения. Часть 2 /Лаб/	3	1	ПК-2-31				
	<b>Раздел 2. Кремниевые фотовольтаические приборы</b>							
2.1	Кремниевые диоды и гетероструктуры. Часть 1. /Лек/	3	1	ОПК-1-31	Л1.3 Л1.1 Л1.1 Л1.6 Л1.1Л2.1 Л1.1			
2.2	Сферы применения кремниевый фотодиодов и гетероструктур. /Ср/	3	4	ПК-2-В1	Л1.1 Л1.5 Л1.7Л3.9 Л3.10		КМ1	Р1,Р2
2.3	Спектральные характеристики полупроводниковых фотопреобразователей. Часть 1 /Пр/	3	1	ПК-2-В1	Л1.5Л3.9 Э1			
2.4	Расчет выходных параметров различных структур твердотельных фотопреобразователей. Часть 1. /Пр/	3	1	ПК-2-31	Л1.5Л3.9 Э2			
2.5	Гетероструктуры АЗВ5 для фотопреобразователей. Технология производства. Часть 1 /Лек/	3	1	ОПК-1-В1	Л1.7Л2.1 Л1.1Л3.9 Э1 Э3			
2.6	Сферы применения АЗВ5 гетероструктурных фотопреобразователей. /Ср/	3	4	ОПК-1-31	Л1.1 Э3		КМ1	
2.7	Фотоумножение в полупроводниковых структурах. Часть 1 /Пр/	3	1	ОПК-1-У1	Л1.6 Л1.7Л3.9 Э5			
2.8	Проработка методического материала для подготовки к контрольной работе. /Ср/	3	4	ПК-2-31	Л1.5 Л1.7Л1.1Л3. 9		КМ1	Р1,Р2
2.9	Перспективные направления развития кремниевых и АЗВ5 фотодиодных структур. /Ср/	3	4	ПК-4-31 ПК-4-31 ПК-4-В1 ПК-4-В1	Л1.7Л3.9 Э6		КМ1	Р1,Р2
2.10	Наноструктурные эффекты в Si, АШВV структурах /Ср/	3	4	ОПК-1-У1	Л1.1 Л1.6 Э6		КМ1	
2.11	Кремниевые диоды и гетероструктуры. Часть 2. /Лек/	3	1	ОПК-1-31				

2.12	Кремниевые диоды и гетероструктуры. Часть 3. /Лек/	3	1	ПК-4-31				
2.13	Кремниевые диоды и гетероструктуры. Часть 4. /Лек/	3	1	ПК-4-У1				
2.14	Кремниевые диоды и гетероструктуры. Часть 5. /Лек/	3	1	ОПК-1-31				
2.15	Кремниевые диоды и гетероструктуры. Часть 6. /Лек/	3	1	ОПК-1-31				
2.16	Спектральные характеристики полупроводниковых фотопреобразователей. Часть 2 /Пр/	3	1	ПК-2-В1				
2.17	Спектральные характеристики полупроводниковых фотопреобразователей. Часть 3 /Пр/	3	1	ПК-4-В1				
2.18	Спектральные характеристики полупроводниковых фотопреобразователей. Часть 4 /Пр/	3	1	ПК-2-31				
2.19	Спектральные характеристики полупроводниковых фотопреобразователей. Часть 5 /Пр/	3	1	ПК-4-У1				
2.20	Расчет выходных параметров различных структур твердотельных фотопреобразователей. Часть 2. /Пр/	3	1	ОПК-1-У1				
2.21	Расчет выходных параметров различных структур твердотельных фотопреобразователей. Часть 3. /Пр/	3	1	ПК-4-У1				
2.22	Расчет выходных параметров различных структур твердотельных фотопреобразователей. Часть 4. /Пр/	3	1	ОПК-1-В1				
2.23	Расчет выходных параметров различных структур твердотельных фотопреобразователей. Часть 5. /Пр/	3	1	ПК-2-31				
2.24	Расчет выходных параметров различных структур твердотельных фотопреобразователей. Часть 6 /Пр/	3	1	ОПК-1-31				
2.25	Расчет выходных параметров различных структур твердотельных фотопреобразователей. Часть 7. /Пр/	3	1	ПК-2-31				

2.26	Расчет выходных параметров различных структур твердотельных фотопреобразователей. Часть 8. /Пр/	3	1	ОПК-1-31				
2.27	Фотоумножение в полупроводниковых структурах. Часть 2 /Пр/	3	1	ПК-4-31				
2.28	Фотоумножение в полупроводниковых структурах. Часть 3 /Пр/	3	1	ПК-4-31				
2.29	Фотоумножение в полупроводниковых структурах. Часть 4 /Пр/	3	1	ПК-4-31				
2.30	Гетероструктуры АЗВ5 для фотопреобразователей. Технология производства. Часть 2 /Лек/	3	1	ОПК-1-31				
2.31	Гетероструктуры АЗВ5 для фотопреобразователей. Технология производства. Часть 3 /Лек/	3	1	ПК-4-31				
2.32	Гетероструктуры АЗВ5 для фотопреобразователей. Технология производства. Часть 4 /Лек/	3	1	ПК-4-31				
<b>Раздел 3. Фотовольтаика на основе тонких пленок</b>								
3.1	Принципы работы фотопреобразователей на красителях - сенсбилизаторах. Часть 1 /Лек/	3	1	ПК-4-В1	Л1.7Л3.6 Э2 Э4			
3.2	Принципы работы фотопреобразователей на органических полупроводниках. Часть 1 /Лек/	3	1	ОПК-1-У1	Л1.7Л2.1 Л3.9Л3.8 Э1 Э3			
3.3	Принципы работы фотопреобразователей на основе галогенидных перовскитов. Часть 1. /Лек/	3	1	ПК-4-31 ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У1 ПК-4-В1 ПК-4-В1 ПК-4-В2 ПК-4-В2	Л1.7Л1.1Л3. 13 Э4			
3.4	Технологические особенности фотопреобразователей новых поколений. Часть 1. /Лаб/	3	1	ПК-2-31 ПК-2-У1	Л1.5 Э4			
3.5	Технологические аспекты производства тонкопленочных фотопреобразователей на основе галогенидных перовскитов. Часть 1. /Лаб/	3	1	ПК-2-У1	Л1.5Л1.1 Э3 Э4			
3.6	Альтернативные архитектуры полупроводниковых фотопреобразователей. /Ср/	3	5	ПК-4-31 ПК-4-31 ПК-4-У1 ПК-4-У1 ПК-4-В1 ПК-4-В1	Л1.5 Э3			
3.7	Мета-структуры полупроводниковых фотопреобразователей. /Ср/	3	4	ПК-4-В1 ПК-4-В1	Л1.5 Э3			

3.8	Особенности оптоэлектронных устройств на основе галогенидных полупроводников /Ср/	3	5	ПК-4-У1 ПК-4-У1 ПК-4-В1 ПК-4-В1 ПК-4-В2 ПК-4-В2	Л1.5 Э4			
3.9	Технологические аспекты производства тонкопленочных фотопреобразователей на основе галогенидных перовскитов. Часть 1. /Лаб/	3	1	ОПК-1-В1				
3.10	Технологические аспекты производства тонкопленочных фотопреобразователей на основе галогенидных перовскитов. Часть 2. /Лаб/	3	1	ПК-4-31				
3.11	Технологические аспекты производства тонкопленочных фотопреобразователей на основе галогенидных перовскитов. Часть 3. /Лаб/	3	1	ОПК-1-У1				
3.12	Технологические аспекты производства тонкопленочных фотопреобразователей на основе галогенидных перовскитов. Часть 4. /Лаб/	3	1	ПК-4-У1				
3.13	Технологические аспекты производства тонкопленочных фотопреобразователей на основе галогенидных перовскитов. Часть 5. /Лаб/	3	1	ОПК-1-31				
3.14	Технологические аспекты производства тонкопленочных фотопреобразователей на основе галогенидных перовскитов. Часть 6. /Лаб/	3	1	ОПК-1-У1				
3.15	Технологические особенности фотопреобразователей новых поколений. Часть 2. /Лаб/	3	1	ПК-4-В2				
3.16	Технологические особенности фотопреобразователей новых поколений. Часть 3. /Лаб/	3	1	ОПК-1-31				
3.17	Технологические особенности фотопреобразователей новых поколений. Часть 4. /Лаб/	3	1	ОПК-1-31				
3.18	Технологические особенности фотопреобразователей новых поколений. Часть 5. /Лаб/	3	1	ПК-4-В1				
3.19	Принципы работы фотопреобразователей на основе галогенидных перовскитов. Часть 2. /Лек/	3	1	ПК-4-В1				

3.20	Принципы работы фотопреобразователей на основе галогенидных перовскитов. Часть 3. /Лек/	3	1	ОПК-1-В1				
3.21	Принципы работы фотопреобразователей на основе галогенидных перовскитов. Часть 4. /Лек/	3	1	ПК-4-В2				
3.22	Принципы работы фотопреобразователей на основе галогенидных перовскитов. Часть 5. /Лек/	3	1	ОПК-1-31				
3.23	Принципы работы фотопреобразователей на основе галогенидных перовскитов. Часть 6. /Лек/	3	1	ОПК-1-31				
3.24	Принципы работы фотопреобразователей на органических полупроводниках. Часть 2 /Лек/	3	1	ОПК-1-31				
3.25	Принципы работы фотопреобразователей на органических полупроводниках. Часть 3 /Лек/	3	1	ОПК-1-В1				
3.26	Принципы работы фотопреобразователей на органических полупроводниках. Часть 4 /Лек/	3	1	ОПК-1-У1				
3.27	Принципы работы фотопреобразователей на красителях - сенсibilизаторах. Часть 2 /Лек/	3	1	ПК-2-В1				
3.28	Принципы работы фотопреобразователей на красителях - сенсibilизаторах. Часть 3 /Лек/	3	1	ПК-4-31				
3.29	Принципы работы фотопреобразователей на красителях - сенсibilизаторах. Часть 4 /Лек/	3	1	ОПК-1-В1				
	<b>Раздел 4. Альтернативные архитектуры солнечных батарей</b>							
4.1	Каскадные структуры фотопреобразователей и взаимодействие полупроводниковых структур с концентрированным потоком фотонов. Часть 1. /Лек/	3	1	ПК-4-31	Л1.6 Л1.7Л2.2Л1. 1 Л3.11 Э1 Э2 Э3			
4.2	Спектральное разделение в каскадных структурах, тандемные светодиоды. Часть 1. /Лаб/	3	1	ПК-4-31	Л1.1 Л1.5Л1.1 Э3			
4.3	Новые перспективные гетероструктуры для современных задач оптоэлектроники. /Ср/	3	7	ОПК-1-31	Л1.1 Л1.5Л1.1		КМ1	Р1,Р2

4.4	Особенности использование гетероструктур фотопреобразователей в космосе. /Ср/	3	7	ПК-2-В1	Л1.1 Л1.5 Л3.12		КМ1	Р2,Р1
4.5	Спектральное разделение в каскадных структурах, тандемные светодиоды. Часть 2. /Лаб/	3	1	ОПК-1-В1				
4.6	Спектральное разделение в каскадных структурах, тандемные светодиоды. Часть 3. /Лаб/	3	1	ОПК-1-31				
4.7	Каскадные структуры фотопреобразователей и взаимодействие полупроводниковых структур с концентрированным потоком фотонов. Часть 2. /Лек/	3	1	ПК-2-У1				
4.8	Каскадные структуры фотопреобразователей и взаимодействие полупроводниковых структур с концентрированным потоком фотонов. Часть 3. /Лек/	3	1	ОПК-1-У1				
4.9	Каскадные структуры фотопреобразователей и взаимодействие полупроводниковых структур с концентрированным потоком фотонов. Часть 4. /Лек/	3	1	ПК-4-В1				

### 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	Итоговый тест	ПК-4-31	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ключевые особенности получение микротекстур и «черных» покрытий для снижения влияния паразитных эффектов отражения света для солнечных элементов.</li> <li>2. Ключевые принципы создания мета-морфных структур каскадных фотопреобразователей АПБВ.</li> <li>3. Особенности архитектур PERC и «back contact» для кремниевых ФЭП.</li> <li>4. Влияние использования прозрачных проводящих оксидных полупроводников на спектральные характеристики фотодиодов.</li> <li>5. Особенности влияния легирования аморфных слоев и методов их нанесения на приборные характеристики НТТ - Si солнечных ФЭП.</li> <li>6. Особенности применения магнетронного напыления для фотопреобразователей сложного профиля.</li> <li>7. Недостатки и преимущества лучевых методов нанесения контактов на фотодиодные структуры.</li> <li>8. Методы определения однородности транспорта фотоносителей на широкоформатных ФЭП.</li> <li>9. Ключевые особенности применения релаксационной спектроскопии глубоких уровней для анализа численных параметров заряженных дефектов.</li> <li>10. Использование методов фото- и – электролюминесцентной спектроскопии для анализа вкладов процессов безызлучательной рекомбинации.</li> <li>11. Печатные технологии для пр-ва тонкопленочных фотопреобразователей.</li> <li>12. Особенности полупроводниковых свойств полимеров, низкомолекулярных материалов и галогенидных перовскитов.</li> </ol>
<b>5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.)</b>			
Код работы	Название работы	Проверяемые индикаторы компетенций	Содержание работы
P1	Контрольная работа 1	ОПК-1-У1;ОПК-1-В1	Анализ приборных характеристик фотодиодов

P2	Курсовая работа "Расчет основных параметров солнечного элемента"	ОПК-1-31;ОПК-1-У1;ОПК-1-В1;ПК-4-У1;ПК-4-В1;ПК-4-В2	<p>Часть 1</p> <p>Дано:</p> <p>Данные ВАХ солнечного элемента, снятые при спектре 1.5 AM G, мощности падающего излучения xxx мВт/см<sup>2</sup>. Площадь солнечного элемента.</p> <p>Требуется:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Построить ВАХ.</li> <li>2. Определить основные выходные параметры: <math>J_{кз}</math>, <math>U_{хх}</math>, ФФ, КПД, <math>R_s</math>, <math>R_{sh}</math>.</li> <li>3. Описать принцип работы солнечного элемента.</li> <li>4. Построить эквивалентную цепь солнечного элемента с указанием расчетных сопротивлений.</li> </ol> <p>Методические указания</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Изучить различные типы принцип работы солнечного элемента и уравнение фототока. Описывающего ВАХ.</li> <li>2. Нарисовать эквивалентную схему фотопреобразователя с пояснением назначения ее элементов.</li> <li>3. На графике выходных характеристик построить линию мощности с указанием точки максимального значения</li> <li>4. Рассчитать шунтирующее и последовательное сопротивление в окрестностях <math>J_{sc}</math> и <math>U_{xx}   U_2-U_1 / I_1-I_2   = R</math>, т.е. рассчитать тангенс угла наклона касательной к характеристике на линейных участках.</li> </ol> <p>ЧАСТЬ 2</p> <p>Дано: Спектр внешней квантовой эффективности фотопреобразователя, снятый при излучении света спектром (в заметках указано).</p> <p>Рассчитать: ширину запрещенной зоны фотоглотящего материала и плотность тока короткого замыкания.</p>
----	---	--	---

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

Экзамен по данной дисциплине не предусмотрен

### 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 заданных 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	Туркулец В. И., Удалов Н. П., Тищенко Н. М.	Фотодиоды и фототриоды	Электронная библиотека	Москва, Ленинград: Государственное энергетическое издательство, 1962

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.2	Соболева Н. А., Берковский А. Г., Чечик Н. О., Елисеев Р. Е., Зернов Д. В.	Фотоэлектронные приборы: монография	Электронная библиотека	Москва: Наука, 1965
Л1.3	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
Л1.4	Бублик В. Т., Дубровина А. Н.	Методы исследования структуры полупроводников и металлов: учеб. пособие для вузов по спец.- Технология спец. материалов электрон. техники	Библиотека МИСиС	М.: Metallургия, 1978
Л1.5	Бонч-Бруевич В. Л., Звягин И. П., Карпенко И. В., Мионов А. Г.	Сборник задач по физике полупроводников: учеб. пособие для физ. спец. вузов	Библиотека МИСиС	М.: Наука, 1987
Л1.6	Киреев П. С.	Физика полупроводников: учеб. пособие для студ. вузов	Библиотека МИСиС	М.: Высш. шк., 1969
Л1.7	Горбачев В. В., Спицына Л. Г.	Физика полупроводников и металлов: учебник для вузов по спец. 'Технология спец. материалов электрон. техники'	Библиотека МИСиС	М.: Metallургия, 1982

#### 6.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Неменов Л. М., Наследов Д. Н.	Твердые выпрямители и фотоэлементы: монография	Электронная библиотека	Ленинград, Москва: Государственное издательство технико- теоретической литературы, 1933
Л2.2	Кузнецов Г. Д., Сушков В. П., Ованесов А. Е.	Определение параметров гетероструктур, используемых в оптоэлектронике: Лаб. практикум для студ. направления 550700 и спец. 654100	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 2002
Л2.3	Ковалев А. Н.	Транзисторы на основе полупроводниковых гетероструктур: монография	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2011

#### 6.1.3. Методические разработки

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л3.1	Гумерман Л. А.	Фотоэлемент и его применения	Электронная библиотека	Москва, Ленинград: ОНТИ НКТП СССР, 1934
Л3.2	Клементьев С. Д., Карусь А. П.	Фотоэлектроника и ее применение: научно- популярное издание	Электронная библиотека	Москва: Военное издательство Министерства Обороны Союза ССР, 1954
Л3.3	Рывкин С. М., Жданов Г. С.	Фотоэлектрические явления в полупроводниках: монография	Электронная библиотека	Москва: Государственное издательство физико- математической литературы, 1963

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
ЛЗ.4	Павлов Л. П.	Методы определения основных параметров полупроводниковых материалов: учеб. пособие для студ. вузов спец. 'Полупроводниковые приборы'	Библиотека МИСиС	М.: Высш. шк., 1975
ЛЗ.5	Юрчук С. Ю., Диденко С. И., Кольцов Г. И., Мартынов В. Н.	Полупроводниковые оптоэлектронные приборы: Курс лекций	Электронная библиотека	М.: Учеба, 2004
ЛЗ.6	Мартынов В. Н., Спицына Л. Г.	Физика твердого тела: Разд.: Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках: Лаб. практикум для студ. спец. 2001, 2002, 0710 и направл. 5507, 5516, 5531	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 2000
ЛЗ.7	Полистанский Ю. Г., Александрова Е. А.	Физическая химия и технология полупроводниковых материалов и элементов микроэлектроники: Метод. пособие по курсовому и дипломному проектированию для студ. спец. 0643, 0604	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1986
ЛЗ.8	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
ЛЗ.9	Спицына Л. Г.	Физика полупроводников и диэлектриков: метод. указания к выполнению дом. заданий и курсовых работ для студ. спец. 20.02	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1989
ЛЗ.10	Кожитов Л. В., Крапухин В. В., Улыбин В. А.	Технология эпитаксиальных слоев и гетерокомпозиций: Учебно-метод. пособие для студ. спец. 200100	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 2001
ЛЗ.11	Ковалев А. Н.	Гетероструктурная нанозлектроника: учеб. пособие	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2009
ЛЗ.12	Мурашев В. Н., Леготин С. А., Корольченко А. С., Орлова М. Н.	Физика фотопреобразователей: курс лекций	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2011
ЛЗ.13	Ковалев А. Н., Рабинович О. И., Тимошина М. И.	Физика и технология наноструктурных гетерокомпозиций: учебник	Электронная библиотека	М.: Изд-во МИСиС, 2015

#### 6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Э1	Физика и технология приборов фотоники : солнечная энергетика и нанотехнологии : учеб. пособие / Ю.Н. Пархоменко, А.А. Полисан. - М. : Изд. Дом МИСиС, 2013. - 142 с. - ISBN 978-5-87623-707-1.	<a href="https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785876237071.html">https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785876237071.html</a>
----	--	---

Э2	Физика фотопреобразователей: Курс лекций / В.Н. Мурашев, С.А. Леготин, Корольченко А.С., М.Н. Орлова. - М.: Изд. Дом МИСиС, 2011. - 137 с.	<a href="https://misis.ru/business/publishing/catalogid/educationalliterature/">https://misis.ru/business/publishing/catalogid/educationalliterature/</a>
Э3	Physics of Solar Cells: From Basic Principles to Advanced Concepts . Wiley Physics of Solar Cells: From Basic Principles to Advanced Concepts, 3rd Edition, Peter Würfel , Uli Würfel ISBN: 978-3-527-41309-6, Jun 2016 288 pages.	<a href="https://www.wiley-vch.de/en/areas-interest/natural-sciences/physics-11ph/solid-state-physics-11ph6/physics-of-solar-cells-978-3-527-41312-6">https://www.wiley-vch.de/en/areas-interest/natural-sciences/physics-11ph/solid-state-physics-11ph6/physics-of-solar-cells-978-3-527-41312-6</a>
Э4	Solar Cells and Light Management Materials, Strategies and Sustainability 2020, Pages 163-228 <a href="https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102762-2.00005-7">https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102762-2.00005-7</a>	<a href="https://www.sciencedirect.com/book/9780081027622/solar-cells-and-light-management">https://www.sciencedirect.com/book/9780081027622/solar-cells-and-light-management</a>
Э5	Silicon photomultipliers (SiPM), Photodetectors Materials, Devices and Applications 2016, Pages 255-294 <a href="https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-445-1.00008-7">https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-445-1.00008-7</a>	<a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781782424451000087">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781782424451000087</a>
Э6	Joe C. Campbell, Recent Advances in Avalanche Photodiodes, March 2006 Journal of Lightwave Technology 34(2), DOI: 10.1109/OFC.2006.215989	<a href="https://ieeexplore.ieee.org/document/1637020">https://ieeexplore.ieee.org/document/1637020</a>

### 6.3 Перечень программного обеспечения

П.1	Microsoft Office
П.2	LMS Canvas
П.3	Adobe Connect
П.4	CAD
П.5	MATLAB
П.6	Microsoft Excel

### 6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных

И.1	<a href="https://lms.misis.ru">https://lms.misis.ru</a> - Электронный образовательный ресурс «НИТУ МИСиС» Canvas.
-----	---

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Ауд.	Назначение	Оснащение
К-506	Учебная лаборатория/ "Проектирование компонентной базы": Лаборатория электронной	автоматизированный лабораторный стенд п/п приборов в комплекте (Agilent3420A, Textronix AFG3252, Keithley 2401, Textronix TDS3054C); осциллограф C1-93; измеритель параметров пп Л2-56; вольтметр В7-77; вольтметр GDM-8145; междисциплинарная лабораторная платформа с комплектом ПО NI ELVIS II+ (3 шт.); учебные платы "Цифровые элементы информационно-измерительной техники" (5 шт.); платы по изучению и программированию микроконтроллеров NI Frecale (5шт.); плата "Основы цифровой техники и программирования ПЛИС" (5 шт.); учебный комплекс по технологии изготовления печатных плат; ПК; пакет лицензионных программ MS Office, компьютеры с ПО для проведения лабораторных работ (4 шт.)
К-506	Учебная лаборатория/ "Проектирование компонентной базы": Лаборатория электронной	автоматизированный лабораторный стенд п/п приборов в комплекте (Agilent3420A, Textronix AFG3252, Keithley 2401, Textronix TDS3054C); осциллограф C1-93; измеритель параметров пп Л2-56; вольтметр В7-77; вольтметр GDM-8145; междисциплинарная лабораторная платформа с комплектом ПО NI ELVIS II+ (3 шт.); учебные платы "Цифровые элементы информационно-измерительной техники" (5 шт.); платы по изучению и программированию микроконтроллеров NI Frecale (5шт.); плата "Основы цифровой техники и программирования ПЛИС" (5 шт.); учебный комплекс по технологии изготовления печатных плат; ПК; пакет лицензионных программ MS Office, компьютеры с ПО для проведения лабораторных работ (4 шт.)

## 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. Расчетно-графические работы выполняются с помощью компьютерных программ: Microsoft Excel; MathCad, MATLAB, Electronics Workbench (MultiSim); Micro-Cap (microcap).