



«1» сентября 2015 г.
 Декан факультета фундаментальной
 физико-химической инженерии
 МГУ имени М.В. Ломоносова
 академик С.М. Алдошин

Рабочая программа дисциплины (модуля)

1. *Наименование дисциплины* - Солнечная энергетика
2. *Уровень высшего образования* - аспирантура.
3. *Направление подготовки* - 04.06.01 «Химические науки»
4. *Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП*: относится к вариативной части ОПОП, является обязательной дисциплиной для освоения в 7 семестре четвертого года обучения, которую учащийся должен освоить для сдачи экзамена кандидатского минимума.
5. *Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)*

Формируемые компетенции (код компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
ПК-6: способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в области солнечной энергетики, улучшать конструкцию существующих типов источников солнечной энергии, разрабатывать новые типы комбинированных источников солнечной энергии.	ВЛАДЕТЬ: методами измерения времени жизни и диффузионной длины неосновных носителей заряда, методами модификации структуры солнечного элемента с гомогенным переходом, теоретическими моделями для разработки и конструирования различных солнечных батарей Шифр: В1 (ПК-6)
	УМЕТЬ: Находить решения уравнения переноса, рассчитывать КПД преобразования солнечной энергии в различных источниках солнечной энергии, рассчитывать параметры установки кремниевых, органических,

	тонкопленочных солнечных батарей
	Шифр: У1 (ПК-6)
	ЗНАТЬ: Основные понятия и определения солнечной энергетики, методы генерации фототока в структуре с p-n переходом, ВАХ элементов с гомогенным переходом, основную и усовершенствованные модели гетероперехода, строение, свойства и особенности различных конструкций солнечных элементов, основные проблемы современной солнечной энергетики Шифр: 31 (ПК-6)

6. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся:

Объем дисциплины составляет 2 зачетных единицы, всего 72 часа, из которых 42 часа составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (22 часа занятия лекционного типа, 10 часов занятия семинарского типа, 5 часов индивидуальные консультации, 5 часов мероприятия аттестации), 30 часа составляет самостоятельная работа обучающегося.

7. Формат обучения: очный

8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических или астрономических часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	В том числе					
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) (часы)				Самостоятельная работа обучающегося (часы)	
		Занятия лек-ного типа	Занятия сем-кого типа	Инд-ные кон-ции	Всего	Домашни е задания	Всего
Тема 1. ОТРАСЛЬ НАУКИ И ТЕХНИКИ «СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА» 1.1. Солнечное излучение. Его особенности. 1.2. Основные понятия и определения солнечной	5	2	1	0	3	2	2

энергетики. 1.3. Ресурсы солнечной энергетики. Энергетическое использование солнечного излучения на Земле. 1.4. Классификация солнечных энергетических установок, их особенности. СЭУ и СЭС. <i>Солнечные коллекторы.</i> <i>Солнечные фотоэлектрические установки</i> 1.5. Вопросы экологии.							
Тема 2. УРАВНЕНИЕ ПЕРЕНОСА 2.1. Общее описание процессов переноса. 2.2. Основные составляющие уравнения переноса. Вывод уравнения переноса 2.3. Решение уравнения переноса <i>Граничные условия</i> <i>Поглощающий слой полубесконечной толщины</i> <i>Поглощающий слой конечной толщины при наличии рекомбинации носителей на тыльной поверхности</i> <i>Генерация фототока в структуре с p-n-переходом</i> 2.4. Специальные вопросы: <i>Влияние электрического поля</i> <i>О постоянстве фототока в области перехода</i> <i>Влияние высокого уровня инжекции</i> <i>Анализ принятых допущений</i> 2.5. Измерение времени жизни и диффузионной длины неосновных носителей заряда <i>Измерения □ методом Хайиса-Шокли при наличии электрического поля</i> <i>Затухание фотопроводимости</i> <i>Поверхностная фото-ЭДС</i> <i>Фотоэлектромагнитный эффект</i> <i>Ток, возбуждаемый электронным и световым пучками</i> <i>Затухание напряжения холостого хода</i> <i>Релаксация емкости структуры металл-диэлектрик-полупроводник</i> <i>Метод микроволновой фотопроводимости</i> <i>Метод широкополосной фотодиэлектрической спектроскопии</i>	7	2	1	1	4	3	3
Тема 3. ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНЫЕ ПЕРЕХОДЫ 3.1. Введение 3.2. Гомогенные переходы <i>Свойства потенциального барьера в области перехода</i>	5	2	1	0	3	2	2

Диффузионный механизм протекания тока в гомопереходах с р- и n-областями бесконечно большой и конечной толщины Положение квазиуровней Ферми в обедненном слое Рекомбинационно-генерационный процесс в обедненном слое Вольт-амперные характеристики элементов с гомогенным переходом при различных механизмах переноса носителей заряда Трехмерные объемные эффекты в гомогенных переходах Модификации структуры солнечного элемента с гомогенным переходом 3.3. Гетеропереходы Основная модель Сродство к электрону и разрывы энергетических зон Справедливость модели резкого перехода 3.4. Усовершенствованные модели гетероперехода Физическая природа энергетических состояний на границе раздела. Влияние поверхностных состояний на электрические свойства гетеропереходов Диполи на границе раздела 3.5. Модели кинетических явлений в гетеропереходах Инжекция и диффузия носителей в квазинейтральных областях Рекомбинация и генерация носителей в обедненном слое Прямая рекомбинация носителей заряда через состояния на границе раздела, определяемая высотой барьера Шоттки Протекание тока, обусловленное рекомбинацией носителей заряда на границе раздела Туннелирование носителей Термическая активация и туннелирование Гетероструктуры 3.6. Барьеры Шоттки, структуры металл-диэлектрик-полупроводник и полупроводник-диэлектрик-полупроводник Исходная модель барьера Шоттки Высота барьера Происхождение состояний на поверхности и границе раздела Приборы со структурой металл-диэлектрик-полупроводник Структуры полупроводник-диэлектрик—полупроводник 3.7. Омические контакты							
---	--	--	--	--	--	--	--

Тема 4. РАСЧЕТ КПД ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ. 4.1. Идеальный солнечный элемент при наличии освещения 4.2. Влияние последовательного и шунтирующего сопротивлений Оценочный расчет потерь мощности на сопротивлениях R_s и R_p Модели с распределенными сопротивлениями Физические явления, обуславливающие последовательное и шунтирующее сопротивления 4.3. Другие способы анализа эффективности преобразования солнечной энергии Анализ коэффициента собирания носителей заряда при протекании тока 4.4. Влияние температуры и облученности на КПД солнечных элементов Тепловые характеристики Эффекты, связанные с высоким уровнем облученности 4.5. Анализ потерь энергии	5	2	1	0	3	2	2
Тема 5. КРЕМНИЕВЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ 5.1. Исторический обзор 5.2. Выращивание монокристаллического кремния Песок для кремния Выращивание кристаллов методом Чохральского Сегрегация примесей Зонная плавка Другие методы выращивания 5.3. Дефектность, легирование и время жизни носителей заряда Легирование примесью Примеси, снижающие время жизни носителей заряда Введение легирующей примеси путем диффузии Другие способы легирования 5.4. Солнечные батареи на основе кремния Устройства на основе моно- и мультикристаллического кремния: общая характеристика и особенности производства. Свойства гетероперехода. Способы создания кремниевых подложек Устройства на основе аморфного кремния: общая характеристика и особенности создания. Свойства гетероперехода. 5.5. Поверхностная и объемная	5	2	1	0	3	2	2

рекомбинация в кристаллическом и аморфном кремнии 5.6. Тонкопленочные каскадные солнечные батареи с гетеропереходами на основе кремния <i>Многопереходные солнечные элементы с вертикальными переходами</i> <i>Тандемный солнечный элемент</i>							
Тема 6. СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ С ГЕТЕРОСТРУКТУРАМИ 6.1. Материалы, используемые для создания гетероструктурных солнечных элементов 6.2. Солнечные элементы на основе структур AlGaAs-GaAs с гетерофазной границей раздела 6.3. Солнечные батареи для космического применения <i>Каскадные солнечные батареи и модули на основе соединений A³B⁵</i> <i>Солнечные концентраторы и системы для космического применения</i> <i>Солнечные генераторы для космических миссий</i>	5	2	1	0	3	2	2
Тема 7. ТОНКИЕ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ПЛЕНКИ ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ 7.1. Оптические явления в тонких пленках 7.2. Перенос электрического заряда в поликристаллических пленках <i>Влияние толщины пленок</i> <i>Границы между зернами в поликристаллических пленках</i> <i>Электропроводность кристаллических материалов</i> <i>Электропроводность различных поликристаллических пленок</i> 7.3. Влияние межкристаллитных границ в солнечных элементах с поликристаллическими слоями <i>Исследования рекомбинации на межкристаллитных границах в бикристалле и поликристалле с большим размером кристаллитов</i> <i>Теоретические исследования поликристаллических солнечных элементов</i> <i>Снижение рекомбинации на межкристаллитной границе</i> 7.4. Тонкопленочные солнечные батареи на основе халькогенидов <i>Особенности устройства. Материалы для тонкопленочных солнечных батарей</i> <i>Факторы, влияющие на эффективность тонкопленочных</i>	6	2	1	1	4	2	2

<i>солнечных батарей</i> 7.5. Солнечные батареи на основе CdTe: свойства материалов, эффективность и особенности создания <i>Прямая схема</i> <i>Инверсная схема</i>							
Тема 8. ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ БАТАРЕИ НА ОСНОВЕ ЧЕТВЕРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МЕДИ 8.1. Комбинации элементов, обладающие фотовольтаическими свойствами. 8.2. Новые материалы и концепции для солнечных батарей и модулей <i>Материалы, их особенность и структура</i> <i>Высокотехнологичные материалы и концепции фотовольтаических модулей</i> <i>Наноструктуры в фотовольтаике</i> 8.3. Солнечные батареи на основе Cu-In-Ga-S(Se). <i>Структура, свойства</i> <i>Дизайн солнечного преобразователя CIGS</i> <i>Фотовольтаические характеристики</i> 8.4. Солнечные батареи на основе кестеритов Cu-Zn-Sn-S(Se) <i>Дизайн и фотовольтаические характеристики</i> <i>Перспективы экологически чистой технологии</i> <i>Параметры, определяющие эффективность преобразования солнечной энергии</i>	5	2	0	1	3	2	2
Тема 9. ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ГРЕТЦЕЛЕВСКОГО ТИПА 9.1. Органические солнечные элементы <i>История развития</i> <i>Молекулярные и органические материалы</i> <i>Устройство и методы получения</i> <i>Параметры солнечных элементов</i> <i>Теоретическая модель</i> <i>Перспективы развития</i> 9.2. Мезоскопические фотопреобразователи гретцелевского типа. <i>История развития</i> <i>Устройство и методы получения</i> <i>Параметры солнечных элементов</i> 9.3. Тандемные структуры	8	2	1	1	4	4	4
Тема 10. КОЛЛОИДНЫЕ КВАНТОВЫЕ ТОЧКИ В СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ	8	2	1	1	4	4	4

10.1. История вопроса. 10.2. Синтез коллоидных квантовых точек 10.3. Зарядово-транспортные свойства слоев квантовых точек. Поверхностная модификация квантовых точек 10.4. Эффект многоэкситонной генерации и роль «горячих» носителей заряда в квантовых точках 10.5. Солнечные элементы на основе контакта Шоттки 10.6. Гибридные солнечные элементы на основе гетероперехода сопряженный полимер/квантовые точки <i>Архитектура и принцип работы</i> <i>Полимеры и квантовые точки,</i> <i>используемые в гибридных солнечных</i> <i>элементах</i> 10.7. Солнечные элементы на основе гетероперехода полупроводник/полупроводник 10.8. Солнечные элементы, сенсibilизированные квантовыми точками <i>Принцип действия</i> <i>Методы изготовления</i> <i>Квантовые точки, используемые как</i> <i>сенсibilизаторы</i> <i>Фотоанод</i>							
<i>Тема 11. ПРОБЛЕМЫ</i> <i>СОВРЕМЕННОЙ СОЛНЕЧНОЙ</i> <i>ЭНЕРГЕТИКИ И НОВЫЕ</i> <i>ПЕРСПЕКТИВЫ.</i> 11.1. Новые идеи и тенденции в фотовольтаике 11.2. Солнечная энергетика и экономическая целесообразность	8	2	1	0	3	5	5
Аттестация	5	0	0	5	5	0	0
Всего	72	22	10	10	42	30	30

**Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций*

*** Промежуточная аттестация может проходить как в традиционных формах (зачет, экзамен), так и в иных формах (балльно-рейтинговая система, портфолио и др.)*

9. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю) и методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля):

1. А. Фаренбрух, Р. Бьюб. Солнечные элементы. Теория и эксперимент. / Пер. с англ. И.П. Гавриловой и А.С. Даревского. Под ред. д.т.н, проф. М.М. Колтуна. М.: Энергоатомиздат, 1987 г.-275 с.
2. В.Ф. Гременок, М.С. Тиванов, В.Б. Залесский. Солнечные элементы на основе полупроводниковых материалов, Минск, изд. БГУ, 2007 г.
3. Л.А. Косяченко. Проблемы эффективности фотоэлектрического преобразования в тонкопленочных солнечных элементах CdS/CdTe. // Физика и техника полупроводников, 2006, том 40, вып. 6, 730-746.
4. S. Abermann. Non-vacuum processed next generation thin film photovoltaics: Towards marketable efficiency and production of CZTS based solar cells // Solar Energy. 2013. Vol. 94. P. 37–70.
5. D.B. Mitzi et al. The path towards a high-performance solution-processed kesterite solar cell // Solar Energy Materials & Solar Cells. 2011. Vol. 95. P. 1421–1436.
6. C. Brabec, V. Dyakonov, J. Parisi and N.S. Sariciftci (eds.). Organic Photovoltaics. // 2003, Berlin, Springer-Verlag Heidelberg GmbH, 311 p. ISBN 3-540-00405X.
7. Л.М. Николенко, В.Ф. Разумов. Коллоидные квантовые точки в солнечных элементах. // Успехи химии 82 (5) 429-448 (2013).
8. V. A. Benderskii and E. I. Kats. Quantum Autoionization of Molecular Excitons and Photovoltaic Conversion. // ISSN 00213640, JETP Letters, 2015, Vol. 101, No. 1, pp. 17–21.

10. Дополнительные результаты обучения по дисциплине (модулю), соотношенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)		КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)	ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНИВАНИЯ
УК -1: способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	ЗНАТЬ: методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях 31(УК-1)	Данная компетенция приобретается в ходе дискуссий семинарских занятий и приобретается аспирантом при самостоятельной работе.	Оценивается работа на семинарах и самостоятельная подготовка путем проведения зачетного занятия.
	УМЕТЬ: анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши	Данная компетенция приобретается путем самостоятельной работы аспирантов.	Оцениваются творческие домашние задания.

	реализации этих вариантов У1.(УК-1)		
	ВЛАДЕТЬ: навыками критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях В2.(УК-1)	Данная компетенция приобретается путем работы на семинарах и анализа рекомендуемой научной литературы в рамках самостоятельной работы	Оценивается путем проведения зачета и экзамена.
УК -4: готовность использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках	ВЛАДЕТЬ: навыками анализа научных текстов на государственном и иностранном языках В1.(УК-4)	Данная компетенция приобретается путем анализа рекомендуемой научной литературы в рамках самостоятельных занятий.	Оценивается путем проведения семинарских и зачетных занятий
	УМЕТЬ: следовать основным нормам, принятым в научном общении на государственном и иностранном языках У3.(УК-4)	Данная компетенция приобретается путем анализа рекомендуемой научной литературы в рамках самостоятельных занятий.	Оценивается путем устного выступления на семинаре.
ПК-6: способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в области солнечной энергетики, улучшать конструкцию существующих типов источников солнечной энергии, разрабатывать новые типы комбинированных источников	ВЛАДЕТЬ: методами измерения времени жизни и диффузионной длины неосновных носителей заряда, методами модификации структуры солнечного элемента с гомогенным переходом, теоретическими моделями для разработки и конструирования различных солнечных батарей Шифр: В1 (ПК-6)	Данная компетенция приобретается путем работы аспиранта на семинарских занятиях, а также в ходе самостоятельной работы,	Оценивается путем проведения контрольных заданий, проведения зачетного и экзаменационного занятия

солнечной энергии.	УМЕТЬ: Находить решения уравнения переноса, рассчитывать КПД преобразования солнечной энергии в различных источниках солнечной энергии, рассчитывать параметры установки кремниевых, органических, тонкопленочных солнечных батарей Шифр: У1 (ПК-6)	Данная компетенция приобретается путем анализа рекомендуемой научной литературы в рамках самостоятельных занятий.	Оценивается путем ответов на вопросы, задания на определение правильной последовательности действий.
	ЗНАТЬ: Основные понятия и определения солнечной энергетики, методы генерации фототока в структуре с p-n переходом, ВАХ элементов с гомогенным переходом, основную и усовершенствованные модели гетероперехода, строение, свойства и особенности различных конструкций солнечных элементов, основные проблемы современной солнечной энергетики Шифр: З1 (ПК-6)	Данная компетенция приобретается путем лекционных и семинарских занятий, а также в ходе самостоятельной работы.	Оценивается путем тестирования, индивидуального собеседования, ответов на вопросы, проведения зачетного и экзаменационного занятия.
ОПК-4 Способность обоснованно выбирать и эффективно использовать современные образовательные технологии, методы и средства обучения с целью обеспечения планируемого уровня личностного и профессионального	УМЕТЬ: осуществлять отбор и использовать оптимальные методы преподавания У (ОПК-4)	Данная компетенция приобретается путем наблюдения за работой преподавателя и в ходе самостоятельной работы	Оценивается путем задания в открытой форме, требующие поэтапного решения.
	ЗНАТЬ: нормативно-правовые основы преподавательской деятельности в системе высшего образования З (ОПК-4)	Данная компетенция приобретается в процессе самостоятельной работы	Оценивается путем собеседования по разработанным вопросам по отдельному учебному элементу программы.

о развитии обучающегося по программам высшего образования			
---	--	--	--

11. Применяемые образовательные технологии для различных видов учебных занятий и для контроля освоения обучающимися запланированных результатов обучения

Календарно-тематический план

Контактные аудиторные часы

Дата	Тема для изучения	Форма проведения занятий	Кол-во часов
06.10.17	Тема 1. Отрасль науки и техники «солнечная энергетика»	лекция	2
06.10.17	Тема 1. Отрасль науки и техники «солнечная энергетика»	семинар	1
13.10.17	Тема 2. Уравнение переноса	лекция	3
13.10.17	Тема 2. Уравнение переноса	семинар	2
20.10.17	Тема 3. Электронно-дырочные переходы	лекция	3
20.10.17	Тема 3. Электронно-дырочные переходы	семинар	2
27.10.17	Тема 4. Расчет КПД преобразования солнечной энергии	лекция	3
27.10.17	Тема 4. Расчет КПД преобразования солнечной энергии	семинар	2
03.11.17	Тема 5. Кремниевые солнечные элементы	лекция	3
03.11.17	Тема 5. Кремниевые солнечные элементы	семинар	2
10.11.17	Тема 6. Солнечные элементы с гетероструктурами	лекция	3
10.11.17	Тема 6. Солнечные элементы с гетероструктурами	семинар	1
17.11.17	Тема 7. Тонкие поликристаллические пленки для солнечных элементов	лекция	3
17.11.17	Тема 7. Тонкие поликристаллические пленки для солнечных элементов	семинар	2
24.11.17	Тема 8. Тонкопленочные солнечные батареи на основе четверных соединений меди	лекция	3
01.12.17	Тема 8. Тонкопленочные солнечные батареи на основе четверных соединений меди	семинар	1
01.12.17	Тема 9. Органические солнечные элементы и солнечные элементы гетцелевского типа	лекция	3
08.12.17	Тема 9. Органические солнечные элементы и солнечные элементы гетцелевского типа	семинар	1
08.12.17	Тема 10. Коллоидные квантовые точки в солнечных элементах	лекция	1
15.12.17	Тема 10. Коллоидные квантовые точки в солнечных элементах	лекция	2

15.12.17	Тема 10. Коллоидные квантовые точки в солнечных элементах	семинар	1
15.12.17	Тема 11. Проблемы современной солнечной энергетики и новые перспективы	лекция	2
22.12.17	Тема 11. Проблемы современной солнечной энергетики и новые перспективы	лекция	1
29.12.17	Тема 11. Проблемы современной солнечной энергетики и новые перспективы	семинар	1
29.12.17		Итого	32

Самостоятельная работа

Сроки выполнения	Тема для изучения	Кол-во часов
06-12.10.17	Тема 1. Отрасль науки и техники «солнечная энергетика»	2
20-26.10.17	Тема 2. Уравнение переноса	5
27.10-02.11.17	Тема 3. Электронно-дырочные переходы	4
10-16.11.17	Тема 4. Расчет КПД преобразования солнечной энергии	4
24-30.11.17	Тема 5. Кремниевые солнечные элементы	4
08-14.12.17	Тема 6. Солнечные элементы с гетероструктурами	4
08-14.12.17	Тема 7. Тонкие поликристаллические пленки для солнечных элементов	4
15-21.12.17	Тема 8. Тонкопленочные солнечные батареи на основе четверных соединений меди	4
15-21.12.17	Тема 9. Органические солнечные элементы и солнечные элементы гретцельевского типа	4
22-28.12.17	Тема 10. Коллоидные квантовые точки в солнечных элементах	4
22-28.12.17	Тема 11. Проблемы современной солнечной энергетики и новые перспективы	5
	Итого	30

Контактные индивидуальные часы

Дата	Тема для изучения	Формы проведения занятий	Кол-во часов
27.10.17	Тема 2. Уравнение переноса	Индивидуальные консультации	1
10.11.17	Тема 4. Расчет КПД преобразования солнечной энергии	Индивидуальные консультации	1
24.11.17	Тема 5. Кремниевые солнечные элементы	Индивидуальные консультации	1
15.12.17	Тема 8. Тонкопленочные солнечные батареи на основе четверных соединений меди	Индивидуальные консультации	1
29.12.17	Тема 10. Коллоидные квантовые точки в солнечных элементах	Индивидуальные консультации	1
	Итого	Итого	5

Итоговое занятие

Сроки выполнения	Тема для изучения	Форма выполнения	Кол-во часов
30.12.2017	Зачетное занятие за 7й семестр	Аттестация с оценкой	5
		итого	5

12. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:

Вопросы и задания текущего, промежуточного и итогового контроля

- Полный перечень вопросов к аттестации с оценкой.
- Солнечное излучение. Его особенности. Основные понятия и определения солнечной энергетики. Ресурсы солнечной энергетики. Энергетическое использование солнечного излучения на Земле. Классификация солнечных энергетических установок, их особенности. СЭУ и СЭС. Солнечные коллекторы. Солнечные фотоэлектрические установки. Вопросы экологии.
- Общее описание процессов переноса. Основные составляющие уравнения переноса. Вывод уравнения переноса. Решение уравнения переноса. Граничные условия. Поглощающий слой полубесконечной толщины. Поглощающий слой конечной толщины при наличии рекомбинации носителей на тыльной поверхности. Генерация фототока в структуре с р-п-переходом. Влияние электрического поля. О постоянстве фототока в области перехода. Влияние высокого уровня инжекции. Анализ принятых допущений. Измерение времени жизни и диффузионной длины неосновных носителей заряда. Измерения методом Хайиса-Шокли при наличии электрического поля. Затухание фотопроводимости. Поверхностная фото-ЭДС. Фотоэлектромагнитный эффект. Ток, возбуждаемый электронным и световым пучками. Затухание напряжения холостого хода. Релаксация емкости структуры металл-диэлектрик-полупроводник. Метод микроволновой фотопроводимости. Метод широкополосной фотодиэлектрической спектроскопии.
- Гомогенные переходы Свойства потенциального барьера в области перехода. Диффузионный механизм протекания тока в гомопереходах с р- и п-областями бесконечно большой и конечной толщины. Положение квазиуровня Ферми в обедненном слое. Рекомбинационно-генерационный процесс в обедненном слое. Вольт-амперные характеристики элементов с гомогенным переходом при различных механизмах переноса носителей заряда. Трехмерные объемные эффекты в гомогенных переходах. Модификации структуры солнечного элемента с гомогенным переходом. Гетеропереходы. Основная модель. Сродство к электрону и разрывы энергетических зон. Справедливость модели резкого перехода. Усовершенствованные модели гетероперехода. Физическая природа энергетических состояний на границе раздела. Влияние поверхностных состояний на электрические свойства гетеропереходов. Диполи на границе раздела. Модели кинетических явлений в гетеропереходах. Инжекция и диффузия носителей в квазинейтральных областях. Рекомбинация и генерация носителей в обедненном слое. Прямая рекомбинация носителей заряда через состояния на границе раздела, определяемая высотой барьера Шоттки. Протекание тока, обусловленное рекомбинацией носителей заряда на границе раздела. Туннелирование носителей. Термическая активация и туннелирование. Гетероструктуры. Барьеры Шоттки, структуры металл-диэлектрик-полупроводник и полупроводник-диэлектрик-полупроводник. Исходная модель барьера Шоттки. Высота барьера. Происхождение состояний на

поверхности и границе раздела. Приборы со структурой металл-диэлектрик-полупроводник. Структуры полупроводник-диэлектрик—полупроводник. Омические контакты.

- Идеальный солнечный элемент при наличии освещения. Влияние последовательного и шунтирующего сопротивлений. Оценочный расчет потерь мощности на сопротивлениях R_s и R_p . Модели с распределенными сопротивлениями. Физические явления, обуславливающие последовательное и шунтирующее сопротивления. Другие способы анализа эффективности преобразования солнечной энергии. Анализ коэффициента собирания носителей заряда при протекании тока. Влияние температуры и облученности на КПД солнечных элементов. Тепловые характеристики. Эффекты, связанные с высоким уровнем облученности. Анализ потерь энергии
- Выращивание монокристаллического кремния. Песок для кремния. Выращивание кристаллов методом Чохральского. Сегрегация примесей. Зонная плавка. Другие методы выращивания. Дефектность, легирование и время жизни носителей заряда. Легирующие примеси. Примеси, снижающие время жизни носителей заряда. Введение легирующей примеси путем диффузии. Другие способы легирования. Солнечные батареи на основе кремния. Устройства на основе моно- и мульткристаллического кремния: общая характеристика и особенности производства. Свойства гетероперехода. Способы создания кремниевых подложек. Устройства на основе аморфного кремния: общая характеристика и особенности создания. Свойства гетероперехода. Поверхностная и объемная рекомбинация в кристаллическом и аморфном кремнии. Тонкопленочные каскадные солнечные батареи с гетеропереходами на основе кремния. Многопереходные солнечные элементы с вертикальными переходами. Тандемный солнечный элемент.
- Материалы, используемые для создания гетероструктурных солнечных элементов. Солнечные элементы на основе структур AlGaAs-GaAs с гетерофазной границей раздела. Солнечные батареи для космического применения. Каскадные солнечные батареи и модули на основе соединений A^3B^5 . Солнечные концентраторы и системы для космического применения. Солнечные генераторы для космических миссий.
- Оптические явления в тонких пленках. Перенос электрического заряда в поликристаллических пленках. Влияние толщины пленок. Границы между зернами в поликристаллических пленках. Электропроводность кристаллических материалов. Электропроводность различных поликристаллических пленок. Влияние межкристаллитных границ в солнечных элементах с поликристаллическими слоями. Исследования рекомбинации на межкристаллитных границах в бикристалле и поликристалле с большим размером кристаллитов. Теоретические исследования поликристаллических солнечных элементов. Снижение рекомбинации на межкристаллитной границе. Тонкопленочные солнечные батареи на основе халькогенидов. Особенности устройства. Материалы для тонкопленочных солнечных батарей. Факторы, влияющие на эффективность тонкопленочных солнечных батарей. Солнечные батареи на основе CdTe : свойства материалов, эффективность и особенности создания. Прямая схема. Инверсная схема.
- Комбинации элементов, обладающие фотовольтаическими свойствами. Новые материалы и концепции для солнечных батарей и модулей. Материалы, их особенность и наноструктуры в фотовольтаике. Солнечные батареи на основе Cu-In-Ga-S(Se) . Структура, свойства. Дизайн солнечного преобразователя CIGS. Фотовольтаические характеристики. Солнечные батареи на основе кестеритов Cu-Zn-Sn-S(Se) . Дизайн и фотовольтаические характеристики. Перспективы экологически чистой технологии. Параметры, определяющие эффективность преобразования солнечной энергии.

- Органические солнечные элементы. История развития. Молекулярные и органические материалы. Устройство и методы получения. Параметры солнечных элементов. Теоретическая модель. Перспективы развития. Мезоскопические фотопреобразователи гетцелевского типа. История развития. Устройство и методы получения. Параметры солнечных элементов. Тандемные структуры.
- Синтез коллоидных квантовых точек. Зарядово-транспортные свойства слоев квантовых точек. Поверхностная модификация квантовых точек. Эффект многоэкситонной генерации и роль «горячих» носителей заряда в квантовых точках. Солнечные элементы на основе контакта Шоттки. Гибридные солнечные элементы на основе гетероперехода сопряженный полимер/квантовые точки. Архитектура и принцип работы. Полимеры и квантовые точки, используемые в гибридных солнечных элементах. Солнечные элементы на основе гетероперехода полупроводник/полупроводник. Солнечные элементы, сенсibilизированные квантовыми точками. Новые идеи и тенденции в фотовольтаике. Солнечная энергетика и экономическая целесообразность.

13. Ресурсное обеспечение:

- Перечень основной и дополнительной учебной литературы,
- Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»
- Перечень используемых информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса, включая программное обеспечение, информационные справочные системы (при необходимости):
- Описание материально-технической базы.

14. Язык преподавания: Русский.

15. Преподаватель: профессор ФФФХИ МГУ д.ф.-м.н. Новиков Геннадий Федорович.