



«УТВЕРЖДАЮ»

«1» сентября 2015 г.

Декан факультета фундаментальной  
физико-химической инженерии  
МГУ имени М.В.Ломоносова  
академик С.М. Алдошин

**АННОТАЦИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)  
ООП ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ – ПРОГРАММЫ АСПИРАНТУРЫ  
НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ  
04.06.01 «Химические науки»**

**Направленность программы подготовки научно-педагогических кадров  
в аспирантуре  
«Физическая химия»**

**Аннотация рабочей программы дисциплины  
«Солнечная энергетика»**

**Преподаватель** – профессор ФФФХИ МГУ д.ф.-м.н. Новиков Геннадий Федорович

**Цель дисциплины:** способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в области солнечной энергетике, улучшать конструкцию существующих типов источников солнечной энергии, разрабатывать новые типы комбинированных источников солнечной энергии.

**Задачи:** 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. Уметь находить решения уравнения переноса, рассчитывать КПД преобразования солнечной энергии в различных источниках солнечной энергии, рассчитывать параметры установки кремниевых, органических, тонкопленочных солнечных батарей. Знать основные понятия и определения солнечной энергетике, методы генерации фототока в структуре с р-п переходом, ВАХ элементов с гомогенным переходом, основную и усовершенствованные модели гетероперехода, строение, свойства и особенности различных конструкций солнечных элементов, основные проблемы современной солнечной энергетике.

**Наименование и содержание разделов и тем дисциплины:**

**Тема 1. ОТРАСЛЬ НАУКИ И ТЕХНИКИ «СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА».**

1.1. Солнечное излучение. Его особенности.

- 1.2. Основные понятия и определения солнечной энергетики.
- 1.3. Ресурсы солнечной энергетики. Энергетическое использование солнечного излучения на Земле.
- 1.4. Классификация солнечных энергетических установок, их особенности. СЭУ и СЭС. Солнечные коллекторы. Солнечные фотоэлектрические установки.
- 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. 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.
- 2.4. Специальные вопросы: влияние электрического поля; о постоянстве фототока в области перехода; влияние высокого уровня инжекции; анализ принятых допущений.
- 2.5. 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.

## **Тема 3. ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНЫЕ ПЕРЕХОДЫ.**

- 3.1. Введение.
- 3.2. 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 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.

#### **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. Легирующие примеси. 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 рекомбинация в кристаллическом и аморфном кремнии.

5.6. Тонкопленочные каскадные солнечные батареи с гетеропереходами на основе кремния. Многопереходные солнечные элементы с вертикальными переходами. Тандемный солнечный элемент.

## **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. Каскадные солнечные батареи и модули на основе соединений A3B5. Солнечные концентраторы и системы для космического применения. Солнечные генераторы для космических миссий.

## **Тема 7. ТОНКИЕ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ПЛЕНКИ ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.**

7.1. Оптические явления в тонких пленках.

7.2. Перенос электрического заряда в поликристаллических пленках. Влияние толщины пленок. Границы между зернами в поликристаллических пленках. Электропроводность кристаллических материалов. Электропроводность различных поликристаллических пленок.

7.3. 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.

7.4. Тонкопленочные солнечные батареи на основе халькогенидов. Особенности устройства. Материалы для тонкопленочных солнечных батарей. Факторы, влияющие на эффективность тонкопленочных солнечных батарей.

7.5. Солнечные батареи на основе CdTe: свойства материалов, эффективность и особенности создания. Прямая схема. Инверсная схема.

## **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. Материалы, их особенность и структура. Высокотехнологичные материалы и концепции фотовольтаических модулей. Наноструктуры в фотовольтаике
- 8.3. Солнечные батареи на основе Cu-In-Ga-S(Se). Структура, свойства. Дизайн солнечного преобразователя CIGS. Фотовольтаические характеристики.
- 8.4. Солнечные батареи на основе кестеритов Cu-Zn-Sn-S(Se). Дизайн и фотовольтаические характеристики. Перспективы экологически чистой технологии. Параметры, определяющие эффективность преобразования солнечной энергии.

## **Тема 9. ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ГРЕТЦЕЛЕВСКОГО ТИПА.**

- 9.1. Органические солнечные элементы. История развития. Молекулярные и органические материалы. Устройство и методы получения. Параметры солнечных элементов. Теоретическая модель. Перспективы развития.
- 9.2. Мезоскопические фотопреобразователи гретцелевского типа. История развития. Устройство и методы получения. Параметры солнечных элементов.
- 9.3. Тандемные структуры.

## **Тема 10. КОЛЛОИДНЫЕ КВАНТОВЫЕ ТОЧКИ В СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ.**

- 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. Архитектура и принцип работы. Полимеры и квантовые точки, используемые в гибридных солнечных элементах.
- 10.7. Солнечные элементы на основе гетероперехода полупроводник/полупроводник.
- 10.8. Солнечные элементы, сенсibilизированные квантовыми точками. Принцип действия. Методы изготовления. Квантовые точки, используемые как сенсibilизаторы. Фотоанод

## **Тема 11. ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И НОВЫЕ ПЕСПЕКТИВЫ.**

11.1. Новые идеи и тенденции в фотовольтаике.

11.2. Солнечная энергетика и экономическая целесообразность.