

*Международный Конгресс «Возобновляемая энергетика XXI век:
Энергетическая и экономическая эффективность»*

REENCON - XXI

**ПРОБЛЕМЫ ОПЕРЕЖАЮЩЕЙ ПОДГОТОВКИ И
ПЕРЕПОДГОТОВКИ КАДРОВ В ОБЛАСТИ
ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

[¹Афанасьев В.П.](#), ¹Гудовских А.С., ²Орехов Д.Л., ²Теруков Е.И.

**¹Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ», e-mail: VPAfanasjev@mail.ru**

**²ООО «НТЦ тонкопленочных технологий в энергетике
при ФТИ им. А.Ф.Иоффе», Санкт-Петербург**

28 октября 2015 г.

г. Москва

В 2010 году ГК «РоснаноТех» объявила конкурс на оказание услуг по разработке и апробации программы опережающей профессиональной переподготовки и учебно-методического комплекса, ориентированных на инвестиционные проекты ГК «РоснаноТех» по производству солнечных модулей на базе технологии «тонких пленок» Oerlikon в регионах Российской Федерации.

В результате конкурсного отбора исполнителем программы переподготовки стал Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ», который приступил к работе в тесном контакте с ФТИ им. А.Ф.Иоффе РАН и ООО «Хевел».

Разработка образовательной программы строилась на основе Концепции образовательной деятельности ГК «РоснаноТех», базирующейся на:

- выявлении кадровых потребностей проектных компаний;**
- разработке и адаптации образовательных программ опережающей переподготовки под кадровые потребности проектных компаний;**
- организации обучения сотрудников проектных компаний.**

ООО «НТЦ тонкопленочных технологий в энергетике при ФТИ им.А.Ф.Иоффе»



Установка плазмо-химического осаждения КАИ-1-1200



Установка для измерения спектров вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР)

Технологическое и метрологическое оборудование в ООО «НТЦ тонкопленочных технологий в энергетике при ФТИ им.А.Ф.Иоффе» в Санкт-Петербурге

*Программа опережающей профессиональной переподготовки
«Физико-технологические, исследовательские и
управленческие аспекты производства солнечных модулей
на базе технологии «тонких пленок» Oerlikon» (590 часов)*

Программа предусматривает переподготовку специалистов по двум существенно отличным образовательным траекториям:

- инженера-технолога (производственника);**
- инженера-исследователя.**

Особенностью программы переподготовки являлся тот факт, что требовалось подготовить специалистов для работы по технологиям, не имеющим аналогов в России.

На основании анализа технологических процессов, а также задач, связанных с проведением научных исследований на базе современного оборудования, был предложен модульный принцип подготовки.

**«Физика, технология и диагностика тонкопленочных солнечных модулей на основе аморфного и микрокристаллического кремния»
трудоёмкостью 380 часов, из них 192 часов ауд. нагрузки**

(Санкт-Петербург, Новочебоксарск, 25 слушателей)

- × Физика и оптика материалов фотоэнергетики – 24 часа;**
- × Физика аморфного и микрокристаллического кремния – 16 часов;**
- × Оптические свойства твердых тел – 18 часов;**
- × Фотоэлектрические тонкопленочные преобразователи солнечной энергии – 24 часа;**
- × Технологические основы формирования тонкопленочных солнечных модулей на основе кремния – 16 часов;**
- × Лазерные технологии и лазерная обработка в производстве тонкопленочных солнечных модулей – 24 часа;**
- × Зондовая диагностика фотовольтаических материалов и структур – 24 часа;**
- × Оптико-физические методы исследования материалов и структур солнечной энергетики – 30 часов;**
- × Метрология тонкопленочных солнечных модулей и энергоустановок – 10 часов;**
- × Оборудование для производства тонкопленочных солнечных модулей на основе кремния – 24 часа.**

Магистерская программа

«Солнечная гетероструктурная фотоэнергетика»

Для решения задачи подготовки кадров для ООО «Хевел» на кафедре квантовой электроники и оптико-электронных приборов СПбГЭТУ «ЛЭТИ» в рамках направления «Электроника и наноэлектроника» в 2011 году была открыта магистерская программа «Солнечная гетероструктурная фотоэнергетика».

С 2011 по 2015 годы ежегодно формировалась группы магистерской подготовки, в составе которых обучались— представители Чувашии, выпускники бакалавриата Чувашского государственного университета имени И.Н.Ульянова (ЧувГУ). Сегодня выпускники 2013, 2014, 2015 годов (16 человек) успешно работают в ООО «Хевел».

Проблема – слабое знание английского языка.

Поэтому с 2016 году планирует начать подготовку по этой программе на английском языке

Дисциплины учебного плана магистерской программы «Солнечная гетероструктурная фотоэнергетика»

× 1. Базовая часть:

- × Современные проблемы электроники; Микропроцессорная техника; Компьютерные технологии и моделирование в электронике; Процессы микро- и нанотехнологии;
- × Методология и логика научных исследований; Иностранный язык.

× 2. Специальные дисциплины:

- × Физика и оптика материалов фотоэнергетики; Диагностика материалов и структур микро и оптоэлектроники; История и методология электроники; Диагностика материалов и структур микро и оптоэлектроники. Междисциплинарный проект "Проектирование, технология и метрология солнечных фотопреобразователей.

× 3. Дисциплины по выбору студентов:

- × Фотоэлектрические тонкопленочные преобразователи солнечной энергии
- × Оптико-физические методы исследования материалов и структур; Метрология тонкопленочных солнечных модулей и энергоустановок; Оборудование для производства тонкопленочных солнечных модулей на основе кремния; Технологические основы формирования тонкопленочных солнечных модулей; Лазерные технологии и лазерная обработка в производстве тонкопленочных солнечных модулей.



ОРГАНИЗАЦИЯ ОБУЧЕНИЯ МАГИСТРОВ

Магистры, обучающиеся по этой программе, имеют доступ к современному технологическому и метрологическому оборудованию, размещенному в ООО «НТЦ тонкопленочных технологий в энергетике при ФТИ им. А.Ф.Иоффе», проводят реальные научные исследования в интересах работодателя.



Следует отметить высокую заинтересованность ребят в усвоении теоретических и практических знаний, их хорошую успеваемость.

ПРОГРАММЫ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедрой КЭОП совместно с ООО «НТЦ тонкопленочных технологий при ФТИ им. А.Ф. Иоффе» и при участии других кафедр университета реализуется ряд программ переподготовки и повышения квалификации как специалистов, работающих в области солнечной энергетики, так и преподавателей вузов, в которых планируется или проводится подготовка кадров по этому направлению.

За последние три года реализованы следующие программы переподготовки и повышения квалификации:



*Лекцию технологическим
основам формирования
тонкопленочных солнечных
модулей читает проф. Теруков
Е.И.*

Программа повышения квалификации для преподавателей ЧувГУ по «Тонкопленочной солнечной фотоэнергетике»

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Число слушателей – 12 человек

Категория слушателей – преподаватели Чувашского государственного университета им. И.Н.Ульянова

График обучения:

Модуль №1:

Продолжительность обучения – 6 дней; вводные лекции, предоставление раздаточных материалов для самостоятельной работы

Число аудиторных часов – 36

Место проведения : г. Чебоксары, выезд преподавателей СПбГЭТУ

Модуль №2:

Продолжительность обучения – 6 дней (Самостоятельная работа – 36 часов

Место проведения: г. Чебоксары

Модуль №3:

Продолжительность обучения – 12 дней; лекции, практики, лабораторные работы, согласование тем выпускных работ Число аудиторных часов – 48

Место проведения: г. Санкт-Петербург СПбГЭТУ, выезд слушателей в Санкт-Петербург

Модуль №4:

Продолжительность обучения – 6 дней Самостоятельная работа; подготовка выпускных работ – 36 часов

Место проведения : г. Чебоксары

Модуль №5 (заключительный):

Продолжительность обучения –5 дней

Число аудиторных часов – 30 (консультации, защита выпускных работ)

Место проведения: г. Чебоксары, выезд преподавателей СПбГЭТУ

Продолжительность программы – 186 часов, в т.ч. 72 часа самостоятельной работы.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
 Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
 профессионального образования
 "Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
 "ЛЭТИ" им. В.И. Ульянова (Ленина)"
 (СПбГЭТУ)

СОГЛАСОВАНО
 Ректор ЧувГУ им. И.Н. Ульянова
 В.Г. Агахов
 3 октября 2011 г.

УТВЕРЖДАЮ
 Ректор СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
 В.М. Кутузов
 3 сентября 2011 г.

УЧЕБНО-ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН
«Тонкопленочная солнечная фотоэнергетика»

Цель: повышение квалификации
 Категория слушателей: преподаватели Чувашского государственного университета
 им. И.Н. Ульянова
 Срок обучения: с 3.10.2011 г. по 14.11.2011г. (186 часов, в т.ч. 72 часа сам. работа)
 Форма обучения: очно-заочная

| № | Наименование разделов, дисциплин и тем | Все-го, час. | в том числе | | | Форма контроля |
|-----|--|--------------|-------------|--------------------------------------|--------------------------------------|----------------|
| | | | Лекции | Выезд-ные занятия деловые игры и др. | Практи-ческие, лабора-торные занятия | |
| 1 | Физика и оптика материалов фотоэнергетики | 16 | 10 | – | 6 | Зачет |
| 1.1 | . Структура кристаллических и аморфных твердых тел. | | 2 | | | |
| 1.2 | Электронные спектры кристаллов. Разрешенные и запрещенные зоны. | | 2 | | | |
| 1.3 | Типы заполнения разрешенных зон. Диэлектрики, полупроводники, металлы. | | 2 | | 2 | |





Преподаватели, прошедшие повышение квалификации по программе «Тонкопленочная солнечная отоэнергетика», смогут активно участвовать в становлении бакалаврского профиля подготовки студентов по солнечной энергетика» в ЧувГУ им. И.Н.Ульянова.



2. В 2011 году была реализована программа повышения квалификации для преподавателей ЧГУ им. И.Н.Ульянова по «Тонкопленочной солнечной фотоэнергетике», на которой обучалось 12 человек.



Защита выпускных работ преподавателями ЧГУ им. И.Н.Ульянова, обучавшимся по программе «Тонкопленочная солнечная фотоэнергетика». 12 ноября 2011 года, г. Чебоксары

3. В рамках «Президентской программы повышения квалификации инженерных кадров на 2012 - 2014 годы» в 2012 году подготовлена и реализована в пилотной группе из 15 человек программа повышения квалификации инженерных кадров по направлению «Тонкопленочная солнечная гетероструктурная фотовольтаика».



4. В 2013 году с 07 по 18 октября повышение квалификации по программе «Тонкопленочная солнечная фотоэнергетика» проходили уже 19 преподавателей, представлявших более 10 регионов России, включая Чувашию.

5. В 2013 году повышение квалификации по новой программе «Альтернативные источники энергии» прошла группа из 8 преподавателей Горно-Алтайского государственного университета, которая была направлена в Санкт-Петербург по программе «Кадры регионов» в связи необходимостью подготовки специалистов непосредственно в Республике Алтай, где в настоящее время развернуто строительство солнечных электростанций.



6. В марте 2014, 2015 года 25 казахских студентов-магистрантов прошли стажировку в СПбГЭТУ.

***Программа дополнительного профессионального образования
в режиме e-Learning
«Технология и диагностика тонкопленочных солнечных модулей
на основе кремния»***

Объем – 72 академических часа, в том числе:

18 часов – лекции,

24 часа - практические и лабораторные занятия,

30 часов – самостоятельная работа.

Продолжительность обучения – 4 недели

Форма обучения – очная в режиме *e-Learning* (без отрыва от производства)

Целевая аудитория – инженеры-технологи (производственники)
и инженеры-метрологи (исследователи)

СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

- ✘ структура и свойства аморфных и микрокристаллических материалов;
- ✘ принцип работы, конструкции и характеристики солнечных элементов на основе аморфного гидрогенизированного кремния;
- ✘ многопереходные фотоэлементы на основе гетероструктур аморфный гидрогенизированный кремний – микрокристаллический кремний;
- ✘ методы получения тонких пленок гидрогенизированного аморфного и микрокристаллического кремния;
- ✘ особенности формирования тонкопленочных систем гидрогенизированный аморфный кремний – микрокристаллический кремний для солнечных элементов;
- ✘ применение лазерных технологий в производстве тонкопленочных солнечных модулей;
- ✘ оборудование для производства тонкопленочных солнечных модулей на основе кремния;
- ✘ оптико-физические методы исследования материалов и структур солнечной фотоэнергетики;
- ✘ метрология тонкопленочных солнечных модулей и энергоустановок.

СТРУКТУРА ПРОГРАММЫ

- **Фотоэлектрические тонкопленочные преобразователи солнечной энергии (6 часов лекций, 8 часов практических занятий)**

- ✓ Основные материалы фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии
- ✓ Принцип работы, конструкции и характеристики фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии
- ✓ Основные направления повышения эффективности фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии на основе кремния

- **Диагностика материалов и структур микро- и оптоэлектроники (6 часов лекций, 8 часов лабораторных работ)**

- ✓ Оптико-физические методы исследования материалов и структур солнечной фотоэнергетики
- ✓ Метрология тонкопленочных солнечных модулей и энергоустановок

- **Технологические основы формирования тонкопленочных солнечных модулей (8 часов лекций, 8 часов лабораторных и практических занятий)**

- ✓ Методы получения тонких пленок гидрогенизированного аморфного кремния. Метод химического разложения силана в плазме тлеющего разряда.
- ✓ Методы получения тонких пленок микрокристаллического кремния
- ✓ Особенности формирования тонкопленочных систем гидрогенизированный аморфный кремний – микрокристаллический кремний для солнечных элементов
- ✓ Лазерные технологии и лазерная обработка в производстве тонкопленочных солнечных модулей
- ✓ Оборудование для производства тонкопленочных солнечных модулей на основе кремния



Технология и диагностика тонкопленочных солнечных модулей на основе кремния

Общая информация

Сегодня
Объявления
О программе

Учебные материалы:

Вступление
Раздел 1
Раздел 2
Раздел 3
Заключение

Дополнительные материалы

Инструменты:

Онлайновые инструменты
Форумы
Справка

Диагностика материалов и структур микро- и оптоэлектроники



Лекционные занятия 3.1

Оптико-физические методы исследования материалов и тонкопленочных структур



Лекционные занятия 3.2

Диагностика микро и наносистем



Лекционные занятия 3.3

Метрология тонкопленочных солнечных модулей и энергоустановок



Виртуальная лабораторная работа №1

Виртуальная лабораторная работа "Методика градуировки многоканального спектроанализатора по шкале длин волн"



Виртуальная лабораторная работа №2

Виртуальная лабораторная работа "Исследование спектров оптического поглощения аморфных полупроводников"



Виртуальная лабораторная работа №3

Виртуальная лабораторная работа "Исследование ВАХ солнечных элементов"



Оценка компетенций

Оценивание компетенций, приобретенных по разделу "Диагностика материалов и структур микро- и оптоэлектроники"

ЛЕКЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ В ФОРМЕ МУЛЬТИМЕДИЙНОЙ ПРЕЗЕНТАЦИИ

The screenshot displays a web browser window titled "Blackboard ADL-SCORM Run-Time Environment - Windows Internet Explorer". The address bar shows the URL: https://bb.vpgroup.ru/webapps/bb-cntplayer-BBLEARN/adl/launchCourseFrame.jsp?course_id=_258_1&content_id=_9064_1&crsmoniker=TIDTC&contr. The page header includes the Blackboard logo, the course title "Основы лазерных технологий и лазерная микрообработка материалов", and the text "Проигрыватель, совместимый с SCORM 1.2". A "Выход" (Exit) link is visible in the top right corner.

The main content area features a slide titled "ТРЕБУЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЛАЗЕРОВ ДЛЯ МИКРООБРАБОТКИ" (Required laser parameters for microprocessing). The slide lists six parameters:

1. [Мощность излучения лазера](#)
2. [Длина волны \$\lambda\$](#)
3. [Длительность импульса](#)
4. [Частота следования импульсов \$f\$](#)
5. [Пространственные характеристики модовой структуры \(TEM_{mn}\) лазерного пучка](#)
6. [Расходимость пучка](#)

On the left side of the slide, there is a navigation pane with a table of contents. The current slide is highlighted in blue. The table of contents includes:

| Содержание | Слайды | Поиск |
|---|--------|-------|
| Какие основные процессы явления органи... | | |
| Какие основные процессы явления органи... | | |
| Выводы из рассмотрения физических проц... | | |
| Лазеры для микрообработки | | |
| Какой режим работы лазера с энергетическ... | | |
| Какой режим работы лазера с энергетическ... | | |
| Какой режим работы лазера пучке с топки... | | |
| Требуемые параметры лазеров для микро... | | |
| Мощность излучения лазера | | |
| Длина волны λ | | |
| Длительность импульса (1) | | |
| Длительность импульса (2) | | |
| Частота следования импульсов | | |
| Пространственные характеристики модо... | | |
| Расходимость пучка | | |
| Расходимость пучка. Параметр M2 | | |
| Типичные параметры лазеров для микрооб... | | |
| Дополнительные требования | | |
| Сканирующие системы для ЛМ А-типа | | |
| Точность сканирующих систем А-типа | | |
| Сканирующие системы для ЛМ В-типа | | |

At the bottom of the slide, there is a navigation bar with the text "СЛАЙД 29 ИЗ 33" (Slide 29 of 33), "НАЖМИТЕ ДАЛЕЕ" (Click next), and a timer "00:19 / 00:15". The bottom of the browser window shows the status bar with "Интернет | Защищенный режим: выкл." and a zoom level of "100%".

Дисциплина «Технологические основы формирования тонкопленочных солнечных модулей»

ПРИМЕРЫ ИНТЕРАКТИВНОСТЕЙ

Blackboard ADL-SCORM Run-Time Environment - Windows Internet Explorer

https://bb.vpgroup.ru/webapps/bb-ctrlplayer-BBLEARN/adl/launchCourseFrame.jsp?course_id=258.3&content_id=9062.3&commonkey=TBTC&controlkey=

Bb **Перспективы солнечной энергетики. Классификация ФЭП солнечной энергии.**
Проигрыватель, совместный с SCORM 1.2
Blackboard Авторское право ADL и Blackboard

Перспективы солнечной энергетики. Классификация ФЭП солнечной энергии.

Классификация ФЭП солнечной энергии

- Классификация по типу используемых материалов
- По принципу преобразования солнечной энергии в электричество
- По типу используемых материалов
- В зависимости от структуры используемой технологии

По типу используемых материалов

По типу используемых материалов:

- элементарные полупроводники (Si, Ge);
- полупроводники типа AIIIBV (например, GaAs);
- полупроводники типа AIIIBVI (например, CdS);
- органические материалы.

В зависимости от структуры используемого полупроводника солнечные элементы подразделяются на СЭ на основе кристаллических, поликристаллических, микрокристаллических, аморфных материалов.

| Кристаллические материалы | | Поликристаллические материалы | |
|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| Монокристаллический кремний (Si) | Монокристаллический германий (Ge) | Монокристаллический кремний (Si) | Монокристаллический германий (Ge) |
| Монокристаллический кремний (Si) | Монокристаллический германий (Ge) | Монокристаллический кремний (Si) | Монокристаллический германий (Ge) |
| Монокристаллический кремний (Si) | Монокристаллический германий (Ge) | Монокристаллический кремний (Si) | Монокристаллический германий (Ge) |

artcuilite

Готово Интернет | Защищенный режим выкл. 100%

Blackboard ADL-SCORM Run-Time Environment - Windows Internet Explorer

https://bb.vpgroup.ru/webapps/bb-ctrlplayer-BBLEARN/adl/launchCourseFrame.jsp?course_id=258.3&content_id=9062.3&commonkey=TBTC&controlkey=

Bb **Потери энергии в солнечном элементе**
Проигрыватель, совместный с SCORM 1.2
Blackboard Авторское право ADL и Blackboard

Потери энергии в солнечном элементе

Механизмы потерь в кремниевых солнечных элементах

Потери 1
не возможность поглощения фотонов с энергией, меньшей ширины запрещенной зоны

artcuilite

Готово Интернет | Защищенный режим выкл. 100%

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИДЕОМАТЕРИАЛОВ

Метрология тонкопленочных солнечных модулей и энергоустановок ВЫХОД

Гудовских Александр Сергеевич Био...

Содержание Слайды Поиск

- Метрология тонкопленочных солнечных мод...
- Введение (1)
- Введение (2)
- ▶ Тема 1. Солнечное излучение и его характер...
- ▶ Тема 2. Спектральные характеристики СЭ
- ▶ Тема 3. Эталонные солнечные элементы
- ▶ Тема 4. Вольт-амперные характеристики СЭ
- Импульсный имитатор солнечного излучени...**
- Литература

Импульсный имитатор солнечного излучения



17:12 75

articulāte
POWERED PRESENTATION

СЛАЙД 75 ИЗ 76 ПАУЗА 00:30 / 01:08

◀ ▶ ⏪ ⏩

ON-LINE ЛЕКЦИЯ В ФОРМЕ ВЕБИНАРА

The screenshot shows a Blackboard Collaborate webinar window. On the left, there is a video feed of a male presenter and a list of participants including Александр Тимофеев, Валентин Афанасьев 1, Александр Васильевский, Александр Сеников, and Алексей Кривой #4. The main area displays a slide titled "Поляризационные измерения" (Polarization Measurements). The slide contains a definition of polarization, two 3D diagrams of electromagnetic waves, and mathematical formulas for the electric field vector.

Поляризационные измерения

Поляризация электромагнитных волн – свойство поперечных волн, связанное с преимущественным колебанием векторов \mathbf{E} и \mathbf{H} в одном из направлений, перпендикулярных к линии их распространения. Поляризация обстоятельно описывается электромагнитной теорией Максвелла.

В плоской электромагнитной волне, распространяющейся в свободном пространстве вдоль оси z , отличны от нуля компоненты E_x , E_y , H_x и H_y . Каждая из этих волн удовлетворяет волновому уравнению. В общем случае у плоской электромагнитной волны отличны от нуля обе компоненты, а вектор электрического поля имеет вид:

$$\vec{E} = \vec{A} \cos(\omega t - kz)$$
$$\vec{E}(t, z) = \vec{x}_0 E_x(t, z) + \vec{y}_0 E_y(t, z)$$

Дисциплина «Диагностика материалов и структур микро- и оптоэлектроники»

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

The screenshot shows a web interface for practical assignments. At the top, there is a breadcrumb trail: "Фотоэлектрические тонкопленочные преобразователи солнечной энергии > Практические работы". Below this is a navigation bar with icons for home, menu, folder, mail, and refresh. A left sidebar contains a navigation menu with the following sections: "Технология и диагностика тонкопленочных солнечных модулей на основе кремния", "Общая информация" (with sub-items: "Сегодня", "Объявления", "О программе"), "Учебные материалы:" (with sub-items: "Вступление", "Раздел 1", "Раздел 2", "Раздел 3", "Заключение", "Дополнительные материалы"), and "Инструменты:" (with sub-items: "Онлайновые инструменты", "Форумы", "Справка"). The main content area is titled "Практические работы" and contains three task cards. Each card has a document icon, a title, a list of attached files, and a description of the task.

Фотоэлектрические тонкопленочные преобразователи солнечной энергии > Практические работы

Практические работы

Задание №1

Прикрепленные файлы: [Modelling_practical.pdf](#) (1,101 Мб)
[p-i-n_a-SiH.het](#) (20,305 Кб)
[Задание 1.pdf](#) (169,045 Кб)

Ознакомление с программой моделирования AFORS-HET (интерфейс, описание структуры, параметры слоев, основные функции: расчет характеристик, параметры расчета, настройки. и др.). Введение параметров слоев a-Si:H (n, p, i). Характеристики оптических слоев. Моделирование p-i-n структуры (зонная диаграмма; распределение носителей заряда; расчет ВАХ; расчет спектральных характеристик и др.).

Задание №2

Прикрепленные файлы: [Modelling_practical.pdf](#) (1,101 Мб)
[Задание 2.pdf](#) (172,511 Кб)

Необходимо самостоятельно провести расчет параметров СЭ для различных параметров слоев в соответствии с индивидуальным заданием. Влияние ПС на характеристики p-i-n солнечных элементов (в n-слое; в i-слое; в p-слое). Влияние уровня легирования (в n-слое; в p-слое). Влияние толщины слоев n,i,p. Оптический расчет структуры (многократное отражение); отражение, пропускание; ВАХ.

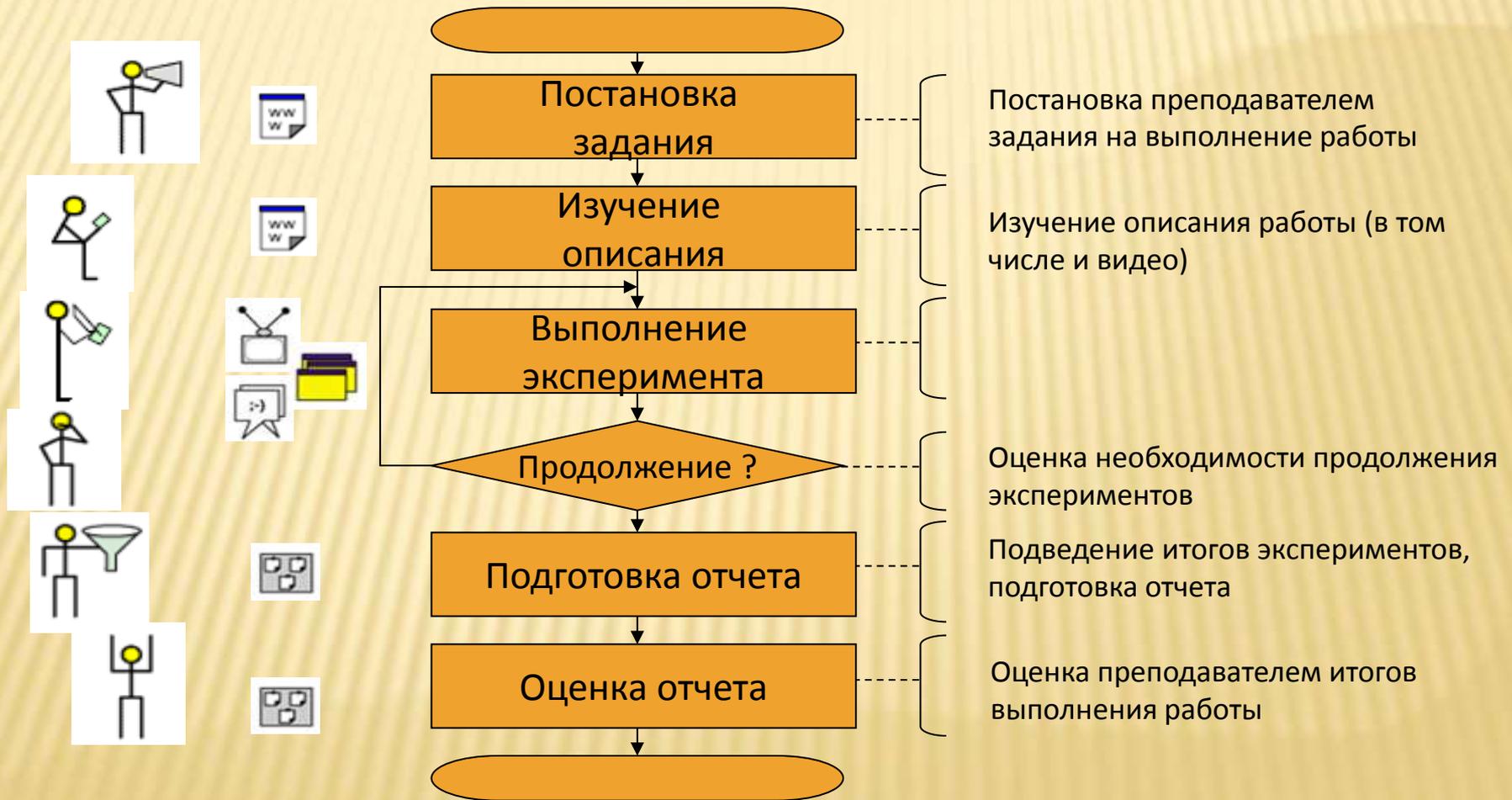
Задание №3

Прикрепленные файлы: [Modelling_practical.pdf](#) (1,101 Мб)
[Задание 3.pdf](#) (172,846 Кб)

Необходимо самостоятельно провести расчет параметров СЭ для различных параметров слоев в соответствии с индивидуальным заданием. Введение параметров $\mu\text{-Si}$. Расчет $\mu\text{-Si}$ СЭ: ВАХ, спектральные характеристики. Вариация параметров (легирование и толщина). Расчет $\mu\text{-Si}$ СЭ с верхним оптическим фильтром (ВАХ, спектральные характеристики). Сравнительный анализ ВАХ и спектральных характеристик СЭ на a-Si:H и $\mu\text{-Si}$ (согласование по току; построение суммарной ВАХ).

Дисциплина «Фотоэлектрические тонкопленочные преобразователи солнечной энергии»

СХЕМА ВИРТУАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ С УДАЛЕННЫМ ДОСТУПОМ



ВИРТУАЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

The screenshot displays a virtual laboratory environment titled "ВИРТУАЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ 3 - Blackboard Collaborate". The interface includes a top menu bar with options like "Файл", "Редактировать", "Просмотр", "Инструменты", "Создать", and "Справка". Below the menu, there are buttons for "Зарядка материалов" and "Записать".

The main workspace is divided into several sections:

- Left Panel:** Contains a video feed of a physical solar panel, a "PARTICIPANTS" list showing users like "Сергей Иванов 3" and "Иван Сергеев 2 #2", and a "ЧАТ" (chat) window with messages.
- Control Panel:** Features a "Эксперимент" section with input fields for "Индуктивность" (0.000 мГн), "Сопротивление" (0.00 Ом), and "Исходное напряжение" (0.000 В). It also includes buttons for "Имя", "Открыть", "Формат", "Настройка", "Сохранить", and "Режим Б".
- Graphs:** A large graph at the top right shows "Напряжение на клеммах" (Voltage across terminals) vs "Время (мс)" (Time in ms). Below it are four smaller graphs labeled "I_н vs Сопротивление", "I_к vs Сопротивление", "I_н vs Сопротивление", and "I_к vs Сопротивление".
- Bottom Panel:** A table with columns for "Элемент", "Емкость", "k_н(H)", "k_д(H)", "k_в(H)", "Сигн(В)", "Фаз(В)", "T_н(H)", "k_н(В)", "k_д(В)", "k_в(В)", and "U_н(В)".

«Исследование ВАХ солнечных элементов»

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ АПРОБАЦИИ ПРОГРАММЫ

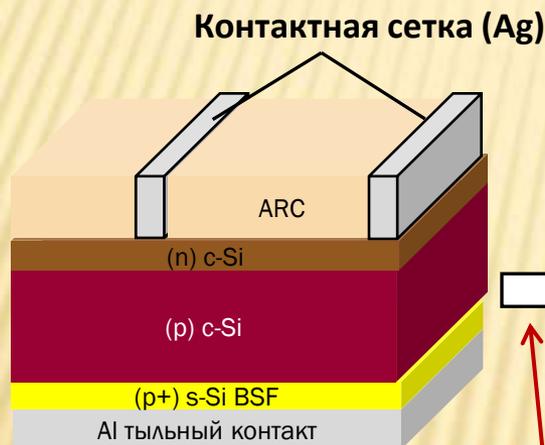
- ✘ В ходе апробации была сформирована пилотная группа, включающая сотрудников ООО «НТЦ тонкопленочных технологий при ФТИ им. А.Ф.Иоффе». Между СПбГЭТУ «ЛЭТИ» и ООО «НТЦ тонкопленочных технологий при ФТИ им. А.Ф.Иоффе» был заключен договор о софинансировании обучения по программе, учебно-тематический план модуля и компетентностная модель приведены в соответствие с требованиями заказчика.
- ✘ Все слушатели полностью выполнили и защитили отчеты по лабораторным и практическим работам, включенным в дисциплины модуля. По итогам обучения были выданы удостоверения государственного образца об успешном прохождении программы повышения квалификации.
- ✘ В ходе апробации и анкетирования слушателями отмечался недостаток времени на самостоятельную работу в части подготовки к лабораторным и практическим занятиям, оформления отчетов и выполнения расчетов по ним. Поэтому для реализации программы пришлось на четыре дня увеличить продолжительность обучения.

ОСОБЕННОСТИ E-LEARNING РЕАЛИЗАЦИИ

- ✘ Слушатели, преподаватели и сотрудники, обеспечивающие методическое и техническое сопровождение учебного процесса были зарегистрированы в системе Blackboard и получили учетные данные для доступа в систему.
- ✘ Было проведено предварительное тестирование (входной контроль), которое показало существенные различия в уровне базовой подготовки слушателей.
- ✘ Все лабораторные и практические занятия были реализованы в режиме удаленного доступа, при этом используемая платформа электронного обучения Blackboard позволила в полной мере задействовать возможности лабораторного оборудования и соответствующего программного обеспечения.
- ✘ По каждой дисциплине была прочитаны on-line лекции в форме вебинара. Освоение лекционного материала проходило в процессе самостоятельной работы с использованием презентаций и учебных пособий размещенных в системе. По лекционному материалу проводились консультации в режиме on-line (вебинары).
- ✘ Со слушателями проводились как off-line (форумы) так и on-line консультации по практическим и лабораторным занятиям.

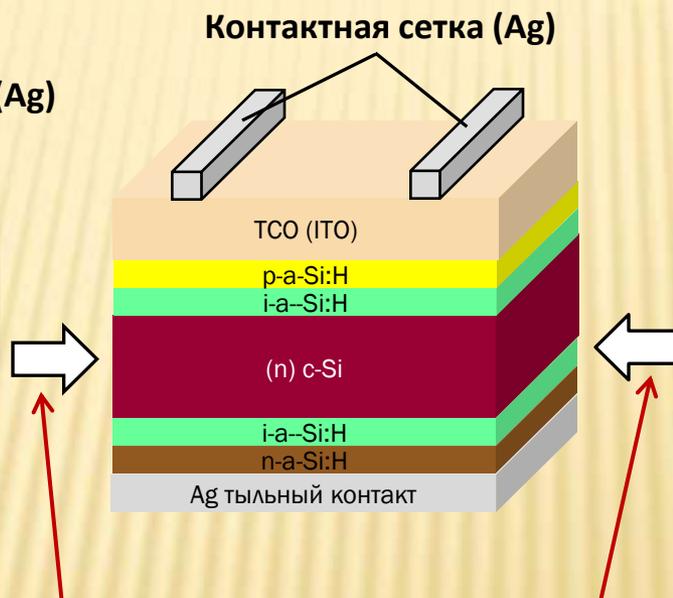
Технология НІТ: общая концепция

Классическая конструкция
на основе c-Si
КПД 17-19 %



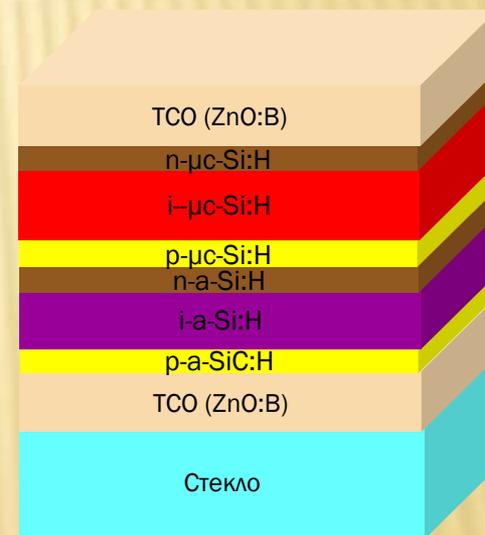
На основе гетероперехода
a-Si:H/c-Si (НІТ)

КПД 18-20 %



Тонкопленочные
на основе a-Si:H/ μ c-Si:H

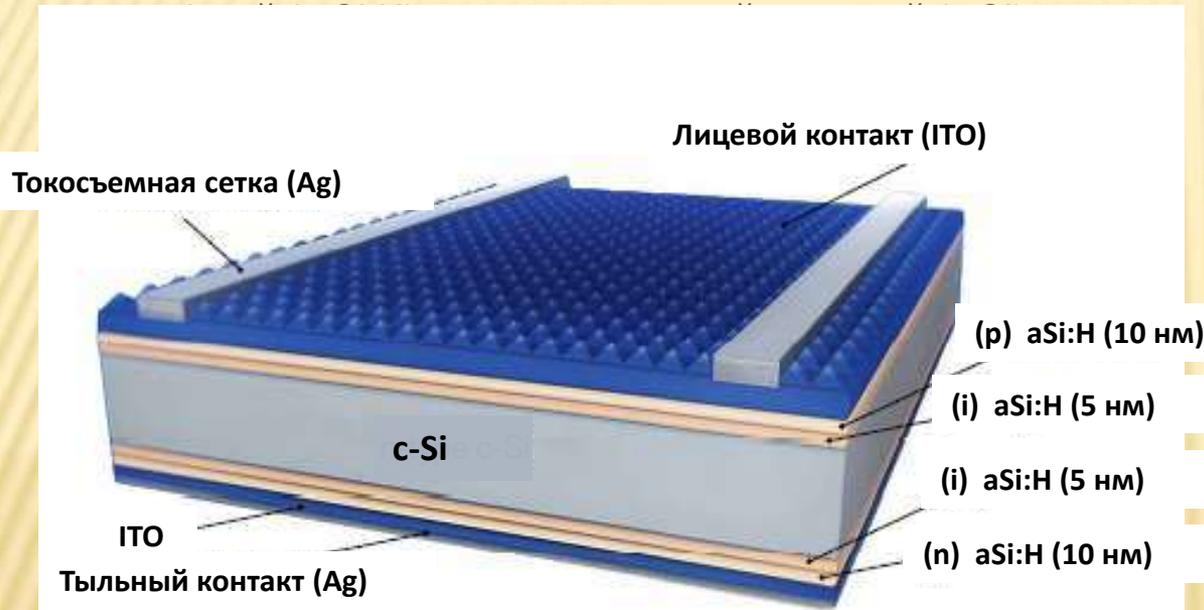
КПД 9-11 %



**НІТ: c-Si подложки + тонкопленочная технология →
высокая эффективность + низкий температурный коэффициент**

ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НІТ

Основа технологии НІТ – формирование солнечных элементов на основе гетероперехода



Мировой рекорд 2014 г среди солнечных ячеек на основе кремния – 25.6 %



НІТ технология: c-Si подложка + тонкопленочная технология = высокая эффективность + низкий температурный коэффициент

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

СПбГЭТУ «ЛЭТИ» совместно с ООО «НТЦ тонкопленочных технологий в энергетике при ФТИ им. А.Ф. Иоффе ставит задачу и решает проблему опережающей подготовки реализует комплексный подход в развитии образовательных программ подготовки и переподготовки специалистов для производства тонкопленочных солнечных модулей.

Сегодня эти программы ориентированы на решение следующих проблем:

- переподготовку и повышение квалификации научно-технического персонала с учетом нового оборудования и технологий;**
- подготовку специалистов по магистерской программе «Солнечная гетероструктурная фотоэнергетика» в рамках направления электроника и наноэлектроника; в 2016 году планирует начать подготовку по этой программе на английском языке;**
- повышение квалификации преподавателей вузов по программе «Тонкопленочная солнечная фотоэнергетика»;**
- расширение и модернизацию программы ДПО в режиме e-Learning «Технология и диагностика солнечных модулей на основе кремния»**

Спасибо за внимание

