

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального
образования

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
"ЛЭТИ" (СПбГЭТУ))

Факультет переподготовки и повышения квалификации специалистов

СОГЛАСОВАНО

Генеральный директор
ООО «Солнечный поток»

_____ Когновицкий С.О.

«__» 2010 г.

УТВЕРЖДАЮ

Проректор
по учебной работе

_____ Лысенко Н.В.

«__» 2010 г.

УЧЕБНЫЙ ПЛАН

модуля 1 «Основы физики, технологии и диагностики полупроводниковых наногетероструктур и солнечных элементов на их основе» модульной программы опережающей профессиональной переподготовки, ориентированной на инвестиционные проекты ГК «РоснаноТех» по организации серийного производства нового поколения солнечных электрических установок с использованием нанотехнологий в регионах Российской Федерации

Количество часов – 112 часов

№ п/п	Дисциплина, автор программы дисциплины, раздела	Количество часов
1.	Основы физики наногетероструктур и солнечных элементов на их основе К.ф.-м.н., доцент каф. ОЭ Берт Н.А., к.ф.-м.н. Власов А.С., д.ф.м.н., профессор Румянцев В.Д.	18
	1.1 Основы физики полупроводниковых наногетероструктур	8
	Темы лекций (8 часов).	
	1.1.1 Введение в физику полупроводников	2

1.1.2 Наногетероструктуры	2
1.1.3 Оптические явления в полупроводниках. Транспорт носителей	2
1.1.4 Электрические и фотоэлектрические свойства p-n переходов	2
1.2 Физика солнечных элементов на основе наногетероструктур	10
Темы лекций (10 часов).	
1.2.1 Введение	1
1.2.2 Свойства солнечного излучения.	1
1.2.3 Эффективность фотоэлектрического преобразования	1
1.2.4 Физические методы снижения оптических и рекомбинационных потерь в структурах солнечных элементов	1
1.2.5 Фотопреобразователи на основе аморфного, микрокристаллического, поли и монокристаллического кремния, CdS-CdTe, Cu(In,Ga)Se ₂ .	1
1.2.6 Каскадные наногетероструктурные фотопреобразователи на основе материалов A ₃ B ₅	1
1.2.7 Омические потери в солнечных элементах	1
1.2.8 Особенности конструирования и применения солнечных элементов для преобразования концентрированного солнечного излучения	1
1.2.9 Люминесцентные явления в солнечных элементах на основе прямозонных полупроводников	1
1.2.10 Надежность функционирования и срок службы солнечных элементов и систем	1

В результате изучения дисциплины «**Основы физики наногетероструктур и солнечных элементов на их основе**» слушатели будут обладать следующими базовыми компетенциями (знания):

- Введение в физику наногетероструктур. Основные понятия, термины, определения в области наногетероструктур.
- Гетеропереходы металл/полупроводник и диэлектрик / полупроводник.
- Свойства низкоразмерных гетероструктур.
- Многопереходные полупроводниковые гетероструктуры.
- Механизмы протекания тока в гетероструктурах.
- Вольтамперные характеристики полупроводниковых гетероструктур.

- Распространение света в гетероструктурах.
- Распространение света в низкоразмерных полупроводниковых структурах.
- Физические основы работы наногетероструктурных солнечных фотоэлементов.
- Материалы для солнечных элементов.
- Структуры и свойства солнечных элементов различных типов.
- Солнечные элементы на основе кремния, α -Si, CdTe, CuGaInSe₂ и других материалов.
- Каскадные солнечные элементы на основе полупроводников А3В5.
- Солнечные элементы для концентрированного солнечного излучения.
- Пути повышения эффективности гетероструктурных солнечных элементов.

№ п/п	Дисциплина, автор программы дисциплины	Количество часов
2.	Основы технологий и диагностики наногетероструктур Д.ф.-м.н., профессор каф. ОЭ Андреев В.М., д.ф.-м.н., профессор Бобыль А.В.	32
	2.1 Научные основы технологий полупроводниковых наногетероструктур для концентраторных солнечных элементов	12
	Темы лекций (8 часов).	
	2.1.1 Введение. Физико-химические основы технологии полупроводниковых приборов	2
	2.1.2 Материалы, используемые в производстве наногетероструктур	2
	2.1.3 Эпитаксиальные методы в технологии	2
	2.1.4 Технология оптоэлектронных приборов. Заключение.	2
	Темы практических занятий (4 часа)	
	Практическое занятие по теме 3. Эпитаксиальные и диффузионные методы создания р-п и гетеропереходов в наногетероструктурах, методы обработки и защиты поверхности приборных структур, методы нанесения металлических и диэлектрических пленок.	2

Практическое занятие по теме 4. Методы постростовой обработки гетероструктур: технология получения металлических и диэлектрических пленок материалов, используемых для изготовления омических контактов, просветляющих и защитных покрытий к солнечным элементам на основе наногетероструктур. Основные сведения о процессе фотолитографии, фоторезисты, фотошаблоны, методы проведения процесса фотолитографии, химическая и электрохимическая обработка наногетероструктур.	2
2.2 Диагностика наногетероструктур	20
Темы лекций (6 часов).	6
2.2.1 Введение. Рентгеновская дифрактометрия.	1
2.2.2 Электронно-зондовые методы диагностики.	1
2.2.3 Микрорентгеноспектральный анализ.	1
2.2.4 Сканирующая электронная микроскопия.	1
2.2.5 Вторично-ионная масс-спектрометрия.	1
2.2.6 Холловский метод измерения концентрации и подвижности носителей тока. Фотолюминесценция и электролюминесценция гетероструктур. Заключение	1
Темы практических занятий (8 часов)	8
Практическое занятие к теме 1 - Рентгеновские методы исследования параметров наногетероструктур	2
Практическое занятие к теме 2 - Методы зондовой микроскопии для исследования наногетероструктур	2
Практическое занятие к темам 3,6 - Специфика оптической и электронной микроскопии наногетероструктур	2
Практическое занятие к теме 5 - Возможности ВИМС для характеристики наногетероструктур	2
Темы лабораторных работ (6 часов)	6
Характеризация полупроводниковой структуры с помощью метода анализа спектров фотолюминесценции и электролюминесценции	2
Измерение параметров полупроводникового материала с помощью эффекта Холла	2
Измерение проводимости полупроводниковой пластины с помощью четырёхзондового метода. Определение контактного сопротивления	2

В результате изучения дисциплины «**Основы технологий и диагностики наногетероструктур**» слушатели будут обладать следующими базовыми компетенциями:

Знания

- Введение в технологию наногетероструктур.
- Диаграммы состояния полупроводниковых материалов.
- Методы выращивания объёмных полупроводниковых кристаллов, используемых в качестве подложек для наногетероструктур.
- Легирующие примеси в полупроводниках.
- Механизмы дефектообразования в наногетероструктурах.
- Изготовление полупроводниковых подложек для выращивания гетероструктур.
- Эпитаксиальные методы выращивания полупроводниковых гетероструктур.
- Молекулярно-пучковая эпитаксия.
- МОС-гидридная эпитаксия.
- Физико-химические основы технологии оптоэлектронных приборов, основные материалы, используемые в технологии полупроводниковых приборов.
- Методы получения *p-n* переходов в полупроводниках (методы диффузии, ионной имплантации, эпитаксиального выращивания).
- Основные тенденции в развитии технологий концентраторных солнечных элементов.
- Рентгеновская дифрактометрия.
- Электронно-зондовые методы диагностики.
- Микрорентгеноспектральный анализ.
- Сканирующая электронная микроскопия.
- Оптические методы измерения планарности поверхности.
- Вторично-ионная масс-спектрометрия.

- Холловский метод измерения концентрации и подвижности носителей тока.
- Фотолюминесценция и электролюминесценция гетероструктур.

Умения и навыки

- работать на специальном измерительном и диагностическом оборудовании;
- проводить исследование качества изготавливаемых структур;
- оценивать возможные практические применения методик диагностики.
- работать на специальном технологическом оборудовании;
- уметь выбирать оптимальные технологические приемы для изготовления концентраторных солнечных элементов на основе наногетероструктур.

№ п/п	Дисциплина, автор программы дисциплины	Количество часов
3.	Основы конструирования фотоэлектрических модулей, фотоэнергоустановок и солнечных электростанций К.ф.-м.н., с.н.с. Садчиков , к.т.н., Аронова Е.С., Малевский Д.А. ,.	32
	Темы лекций (6 часов)	
	3.1 Введение. Концентраторы в фотовольтаике. Обзор.	1
	3.2 Основы конструирования концентраторных фотоэлектрических модулей	1
	3.3 Основы конструирования и функционирования солнечных фотоэлектрических установок и электростанций	2
	3.4 Элементы маркетингового анализа солнечной энергетики	2
	Темы практических занятий (10 часов)	10
	Практическое занятие к теме 1 - Ознакомление с технологией изготовления концентраторной оптики.	2
	Практическое занятие к теме 2 - Ознакомление с технологией изготовления электрогенерирующих плат	2
	Практическое занятие к теме 2 - Ознакомление с технологией сборки концентраторных фотоэлектрических модулей	2
	Практическое занятие к теме 3 Расчет поступления солнечного излучения	4

В результате изучения дисциплины **«Основы конструирования фотоэлектрических модулей, фотоэнергоустановок и солнечных электростанций»** слушатели будут обладать следующими компетенциями:

Базовые компетенции (Знания)

- Оптические системы концентрирования солнечного излучения.
- Конструкции «первичных» и «вторичных» концентраторов излучения.
- Конструкции концентраторных фотоэлектрических модулей.
- КПД концентраторных фотоэлектрических модулей.
- Оборудование для изготовления модулей.
- Принципы построения конструкторской и технологической документации
- Структура комплексов стандартов ЕСКД и ЕСТД
- Системы слежения за Солнцем для ориентации фотоэлектрических модулей.
- Характеризация и мониторинг работы солнечных фотоэнергоустановок.
- Солнечные электростанции, ведомые сетью и автономные.
- Географическое распределение инсоляции в мире.
- Маркетинговый анализ солнечной энергетики в мире.

Базовые компетенции (Умения)

- конструировать концентраторные фотоэлектрические модули
- осуществлять маркетинговый анализ в области солнечной фотоэнергетики;
- оценивать патентоспособность разрабатываемых приборов;
- оформлять технологическую документацию в соответствии с ЕСТД;
- оформлять конструкторскую документацию в соответствии с ЕСКД;
- оценивать возможные практические применения солнечных энергоустановок.

Специальные компетенции (знания)

– Оптимизация размещения солнечных фотоэнергоустановок.

№ п/п	Дисциплина, автор программы дисциплины	Количество часов
4.	«Метрология солнечных элементов, модулей и фотоэнергоустановок» К.ф.-м.н. Власов, к.ф.-м.н. доцент Шварц М.З.	30
	Темы лекций (8 часов).	
	4.1 Введение. Солнечное излучение и его характеристики.	1
	4.2 Эталонные солнечные элементы.	1
	4.3 Спектральные и вольт-амперные характеристики многопереходных СЭ.	3
	4.4 Пара «Линза Френеля – солнечный элемент».	1
	4.5 Методы подобия и моделирования при экспериментальных исследованиях в лабораторных условиях.	1
	4.6 Измерения на натурном Солнце. Заключение.	1
	Лабораторные работы (10 часов)	
	Измерение спектральных характеристик многопереходных солнечных элементов (измерительный комплекс для исследования спектральных характеристик солнечных элементов)	4
	Измерение ВАХ СЭ в условиях неконцентрированного солнечного излучения (установка для измерения ВАХ СЭ в условиях неконцентрированного солнечного)	2
	Измерение ВАХ СЭ в условиях концентрированного солнечного излучения (установка для измерения ВАХ СЭ в условиях концентрированного солнечного излучения)	2
	Измерение ВАХ многопереходных СЭ в условиях варьируемого спектрального состава излучения (установка для измерения ВАХ СЭ в условиях варьируемого спектрального состава излучения)	2
	Темы практических занятий (4 часа)	
	Практическое занятие к теме 3 «Освоение специального программного обеспечения «Программа управления спектральной	2
	Практическое занятие к теме 3 «Освоение специального программного обеспечения «Программа управления импульсным имитатором»	2
	Мастер классы(10 часов)	

	Эксплуатация измерительного комплекса для исследования спектральных характеристик солнечных элементов	2
	Эксплуатация установки для измерения ВАХ СЭ в условиях неконцентрированного солнечного	2
	Эксплуатация установки для измерения ВАХ СЭ в условиях концентрированного солнечного излучения	2
	Эксплуатация установки для измерения ВАХ СЭ в условиях варьируемого спектрального состава излучения	2
	Эксплуатация установки для измерения спектрального состава солнечного излучения и излучения импульсных имитаторов	2

В результате изучения дисциплины «**Метрология солнечных элементов, модулей и фотоэнергоустановок**» слушатели будут обладать следующими базовыми компетенциями:

Знания

Солнечное излучение и его характеристики.

- Эталонные солнечные элементы.
- Измерение оптико-энергетических характеристик концентраторов солнечного излучения.
- Измерение спектральных характеристик солнечных элементов.
- Измерение характеристик солнечных элементов и фотоэлектрических модулей.
- Характеризация и мониторинг работы солнечных фотоэнергоустановок.
- Моделирование параметров солнечного излучения на имитаторах, методы контроля параметров солнечного излучения.
- Способы калибровки и эталонирования солнечных элементов.
- Основы актинометрических наблюдений, организация измерений солнечных элементов на натурном Солнце.

Умения

- работать на специальном измерительном и диагностическом оборудовании;

- проводить измерения характеристик концентраторов и солнечных элементов;
- проводить измерения характеристик фотоэлектрических модулей;
- использовать полученные знания при организации системы метрологического сопровождения процессов разработки, создания и испытаний элементов фотоэлектрической продукции

–

Научный руководитель программы

д.ф.-м..н

В.М.Андреев

Зав кафедрой ОЭ СПбГЭТУ

д.ф.-м.н..

В.И.Кучинский

Декан факультета повышения

квалификации и подготовки

кадров СПбГЭТУ

В.В. Шнайдер