

Министерство образования и науки РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Национальный исследовательский университет «МЭИ»
Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова

факультет Электронной техники

Направление подготовки: 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Профиль подготовки: Микроэлектроника и твердотельная электроника

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

Форма обучения: очная

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИРЭ

И.Н. Мирошникова

« ____ » _____ 2016 г.

Учебная программа по дисциплине
**ФИЗИКА И ТЕХНОЛОГИЯ НЕУПОРЯДОЧЕННЫХ
ПОЛУПРОВОДНИКОВ**

Блок:	1
Часть блока:	вариативная, по выбору
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.В.ДВ.2.4.7
Трудоемкость в зачетных единицах:	7 семестр – 4 всего - 7
Часов (всего) по учебному плану:	252
Лекции	7 семестр - 18 часов; всего 32 часа
Практические занятия	7 семестр - 18 часов; всего 34 часа
Лабораторные работы	8 семестр - 16 часов; всего 16 часов
Аудиторные консультации по курсовым проектам (работам)	<i>учебным планом не предусмотрены</i>
Самостоятельная работа	7 семестр – 72 часа, всего –98 часов
включая: расчетные задания	<i>учебным планом не предусмотрены</i>
рефераты	<i>учебным планом не предусмотрены</i>
курсовые проекты (работы)	<i>учебным планом не предусмотрены</i>
Экзамены	7 семестр – 36 часов; 8 семестр – 36 часов

Москва 2016

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является изучение особенностей физики материалов, у которых отсутствует дальний порядок в расположении атомов (аморфных, стеклообразных и нанокристаллических полупроводников), для последующего применения полученных знаний при конструировании и исследовании приборов на основе этих материалов.

Задачами дисциплины являются:

- освоение способности учитывать особенности физики неупорядоченного конденсированного состояния вещества, атомной и электронной структуры неупорядоченных полупроводников,
- освоение методов исследования и моделирования структуры и свойств различных классов неупорядоченных полупроводников, а также методов управления свойствами этих материалов;
- развитие способности эффективно использовать особенности свойств и эффекты, наблюдающиеся в неупорядоченных полупроводниках, при последующих разработках и исследованиях приборов и устройств на основе этих материалов.

В процессе освоения дисциплины формируются следующие **компетенции:**

- способность учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности (ОПК-7);
- способность к профессиональной разработке полупроводниковых приборов и интегральных схем (ПК-19).

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина относится к дисциплинам по выбору вариативной части блока 1 основной профессиональной образовательной программы (ОПОП) по профилю "Микроэлектроника и твердотельная электроника" направления 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника».

Дисциплина базируется на следующих дисциплинах: «Физика конденсированного состояния», «Твердотельная электроника», «Основы технологии электронной компонентной базы». Для освоения дисциплины обучающийся должен:

знать:

- атомную структуру полупроводниковых монокристаллов;
- основы зонной теории полупроводников;
- свойства полупроводниковых материалов;

уметь:

- получать информацию из результатов структурных исследований;
- устанавливать взаимосвязь между природой атомов и зонной структурой материала;

владеть:

- методами исследования структуры и свойств монокристаллических полупроводников.

Результаты образования, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении бакалаврской выпускной квалификационной работы и программы магистерской подготовки по направлению «Электроника и наноэлектроника».

3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения учебной дисциплины обучающиеся должны демонстрировать следующие результаты образования:

знать:

- классификацию твердых тел с точки зрения атомной структуры и зонной теории (ОПК-7);
- классификацию приборов и устройств на основе неупорядоченных полупроводников (ОПК-7);
- особенности электронной структуры, электрических, оптических и фотоэлектрических свойств неупорядоченных полупроводников (ОПК-7);
- методы исследования атомной структуры и управления свойствами неупорядоченных полупроводников (ОПК-7);
- физику работы приборов и устройств на основе неупорядоченных полупроводников (ПК-19);
- методы расчета и проектирования приборов и устройств на основе неупорядоченных полупроводников (ПК-19);
-

уметь:

- применять методы и средства измерений физических свойств неупорядоченных полупроводников (ПК-19);
- применять методы расчета и моделирования атомной структуры неупорядоченных полупроводников (ОПК-7);
- собирать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по неупорядоченным полупроводникам (ОПК-7);
- аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментальных исследований неупорядоченных полупроводников (ПК-19);

владеть:

- терминологией в области приборов и устройств на основе неупорядоченных полупроводников (ОПК-7);
- методами исследования атомной структуры и свойств неупорядоченных полупроводников (ПК-19);
- методами исследования и технологическими методами изготовления приборов и устройств на основе неупорядоченных полупроводников (ПК-19).

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 7зачетных единицы, 252 часов.

№ п/п	Раздел дисциплины. Форма промежуточной аттестации (по семестрам)	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы				Содержание самостоятельной работы (с указанием № источника по рабочей программе и страниц или § в нем)	
				контактная			СР		
				лк	пр	лаб			С
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
7 семестр									
1	Определение и классификация неупорядоченных материалов. Стеклообразование.	10	7	2	2		6	<i>Изучение литературы</i> [1] § 1.4 или [2] § 1.2 Копирование раздаточного материала с сайта http://ftemk.mpei.ac.ru/ncs	
2	Атомная структура некристаллических полупроводников.	16	7	4	2		10	<i>Изучение литературы</i> [1] § 2.2.1 и 2.2.2 или [2] § 2.3 и 2.5.2	
3	Электронная структура и дефекты в неупорядоченных полупроводниках.	28	7	4	4		20	<i>Изучение литературы</i> [1] § 3.2 и 3.3 или [2] § 3.1.3 и 3.1.4	
4	Методы управления свойствами неупорядоченных полупроводников	12	7	2	4		6	<i>Изучение литературы</i> [1] § 4.4 или [2] § 4.4	
5	Электрофизические, оптические и фотоэлектрические свойства неупорядоченных полупроводников	20	7	4	4		12	<i>Изучение литературы</i> [1] § 3.4.3 или [2] § 3.2.3. [1] § 5.1 или [2] § 3.3	
6	Фотоиндуцированные изменения свойств неупорядоченных полупроводников	22	7	2	2		18	<i>Изучение литературы</i> [1] § 6 или [2] § 6.2	
	Экзамен	36	7	--	--	--	36	Согласно экзаменационной программе	
	Итого 7 семестр:	144		18	18		108		

8 семестр								
7	Технологические особенности получения пленок неупорядоченных полупроводников.	7	8	3	3		1	<i>Изучение литературы</i> [1] § 7.1-7.5 или [2] § 5.1-5.5 Копирование раздаточного материала с сайта http://femk.mpei.ac.ru/ncs
8	Носители оптической информации на основе неупорядоченных полупроводников.	17	8	4	4	4	5	<i>Изучение литературы подготовка к лаб. раб</i> [1] § 8.1.1 – 8.1.3 или [2] § 6.1.1 – 6.1.3
9	Тонкопленочные фотоэлектрические преобразователи	13	8	2	2	4	5	<i>Изучение литературы подготовка к лаб. раб</i> [1] § 8.2 или [2] § 7.1
10	Электронные приборы на основе неупорядоченных полупроводников.	13	8	2	2	4	5	<i>Изучение литературы подготовка к лаб. раб</i> 1] § 8.5 или [2] § 7.3
11	Память на фазовых переходах в неупорядоченных полупроводниках.	15	8	2	4	4	5	<i>Изучение литературы подготовка к лаб. раб</i> [1] § 8.4 или [2] § 7.2
12	Приборы на основе органических полупроводников	7	8	1	1		5	<i>Изучение литературы</i> [1] § 8 или [2] § 7
	Экзамен	36	8	--	--	--	36	Согласно экзаменационной программе
	Итого 8 семестр:	108		14	16	16	62	
	Итого:	252		32	34	16	170	

4.2 Краткое содержание разделов

7 семестр

1. Определение и классификация неупорядоченных материалов. Стеклообразование.

Место дисциплины в подготовке бакалавров по направлению «Электроника и наноэлектроника». Определение неупорядоченного состояния вещества. Классификации неупорядоченных материалов. Термодинамические уровни стабильности неравновесных систем. Стеклообразные материалы и стеклообразование. Изготовление халькогенидных стекол.

2. Атомная структура некристаллических полупроводников.

Атомная структура материалов. Понятие ближнего, среднего и дальнего порядка в расположении атомов. Геометрические и энергетические характеристики упорядочения. Модели среднего порядка. Методы исследования атомной структуры неупорядоченных полупроводников. Прямые методы (дифракционные и метод тонкой структуры края собственного рентгеновского поглощения – EXAFS). Функция радиального распределения атомов. Методы колебательной спектроскопии (метод спектроскопии инфракрасного поглощения и метод комбинационного рассеяния). Косвенные методы исследования атомной структуры некристаллических полупроводников. Моделирование атомной структуры некристаллических полупроводников. Физическое и компьютерное моделирование. Методы компьютерного моделирования: топологический метод, метод молекулярной динамики, метод Монте-Карло, градиентный метод. Результаты структурных исследований неупорядоченных полупроводников. Некристаллический селен. Молекулярные модели стеклообразного селена. Атомная структура некристаллического селена, бинарных халькогенидных стеклообразных полупроводников, аморфного кремния и гидrogenизированного аморфного кремния.

3. Электронная структура и дефекты в неупорядоченных полупроводниках.

Электронная структура неупорядоченных полупроводников. Локализованные состояния – определения и природа. Строение энергетических зон. Модели Губанова, Коуэна-Фриче-Овшинского, Мотта-Дэвиса. Запрещенная зона подвижности. Фиксация уровня Ферми. Дефекты в неупорядоченных полупроводниках. Гипотеза Андерсона. Модель D^+ - D^- центров. Модель пар с переменной валентностью. Квазимолекулярные дефекты. Дефекты на атомах халькогенов и пниктидов. Дефекты на атомах кремния и в гидrogenизированном аморфном кремнии.

4. Методы управления свойствами неупорядоченных полупроводников.

Причины слабой чувствительности свойств неупорядоченных полупроводников к донорным и акцепторным примесям. Легирование гидrogenизированного аморфного кремния. Роль водорода. Зависимость свойств от уровня легирования. Механизм легирования. Химическая модификация свойств пленок халькогенидных стеклообразных полупроводников. Инверсия знака проводимости в объемных халькогенидных стеклообразных полупроводниках. Структурная модификация свойств некристаллических полупроводников. Четыре уровня структурной модификации. Модификация свойств на уровне ближнего порядка в расположении атомов. Модификация свойств на уровне среднего порядка. Критерий эффективности структурной модификации. Модификация на уровнях морфологии и подсистемы дефектов. Структурная модификация и стабильность свойств неупорядоченных полупроводников.

5. Электрофизические, оптические и фотоэлектрические свойства неупорядоченных полупроводников.

Электрофизические свойства некристаллических полупроводников. Механизмы электрической проводимости. Прыжковая проводимость. Проводимость с переменной длиной прыжка. ТермоЭДС и эффект Холла. Дрейфовая подвижность носителей заряда.

Оптические свойства Спектральные зависимости оптических констант некристаллических полупроводников. Край Урбаха. Фотоэлектрические свойства. Квантовый выход. Зависимость фотопроводимости от температуры, длины волны излучения, интенсивности светового потока и электрического поля.

6. Фотоиндуцированные изменения свойств неупорядоченных полупроводников.

Фотоструктурные превращения в халькогенидных стеклообразных полупроводниках. Фотоиндуцированные изменения оптических констант и химических свойств халькогенидных стеклообразных полупроводников. Реверсивная и нереверсивная составляющие изменения свойств. Зависимости эффекта от химического состава, длины волны излучения и температуры. Конфигурационная модель эффекта. Фотостимулированное ускорение диффузии металлов в халькогенидные стеклообразные полупроводники. Механизм и разрешающая способность процесса. Фотокристаллизация и фотоаморфизация.

8 семестр

7. Технологические особенности получения пленок неупорядоченных полупроводников.

Технологические особенности получения пленок халькогенидных стеклообразных полупроводников (ХСП). Получение пленок а – Si:H методом разложения силана в плазме тлеющего разряда. Получение пленок твердых растворов на основе а – Si:H. Другие методы получения пленок а – Si:H.

8. Носители оптической информации на основе неупорядоченных полупроводников.

Приборы на основе некристаллических полупроводников. Носители оптической информации. Электрофотографические носители информации. Фототермопластические носители, видиконы. Носители оптической информации на основе фотоструктурных превращений в ХСП и фотостимулированной диффузии металлов в ХСП. Фото-, электроно- и рентгенорезисты. Носители оптической информации на основе фазовых переходов 1-го рода. Оптические диски.

9. Тонкопленочные фотоэлектрические преобразователи.

Нетрадиционные методы преобразования энергии. Место фотоэлектрики. Фотоэлектрические преобразователи на основе а – Si:H: особенности конструирования и пути повышения КПД. Эффект Стеблера- Вронского.

10. Электронные приборы на основе неупорядоченных полупроводников.

Тонкопленочные транзисторы на основе гидrogenизированного аморфного кремния. Конструкции, основные характеристики и области применения.

11. Память на фазовых переходах в неупорядоченных полупроводниках.

Эффекты переключения и памяти в халькогенидных стеклообразных полупроводниках. Механизмы порогового и бистабильного переключения. Первое и второе поколения интегральных схем энергонезависимой памяти на фазовых переходах. Достигнутые характеристики. Перспективы и проблемы.

12. Приборы на основе органических полупроводников.

Особенности применения органических полупроводников в различных устройствах. Достоинства и недостатки. Перспективы.

4.3. Темы практических занятий / семинаров

7 семестр

Термодинамические уровни стабильности неравновесных систем.

Определение параметров ближнего и среднего порядка в расположении атомов из результатов дифракционного анализа и спектров Раммановского рассеяния.

Анализ энергетического состояния дефектов на атомах халькогенов, пниктидов и на атомах кремния в гидрогенизированном аморфном кремнии.

Контрольная работа 1.

Анализ различных уровней структурной модификации: уровни ближнего и среднего порядка в расположении атомов, уровни морфологии и подсистемы дефектов.

Методы определения оптической ширины запрещенной зоны некристаллических полупроводников.

Анализ влияния внешних факторов на фотоэлектрические свойства неупорядоченных полупроводников.

Контрольная работа 2

8 семестр

Выбор методов и условий термического вакуумного напыления, обеспечивающих получение тонких пленок халькогенидных стеклообразных полупроводников с заданным химическим составом атомной структурой. Конструкции установок, обеспечивающих выполнение этих условий.

Возможные методы получения и легирования пленок гидрогенизированного аморфного кремния и материалов на его основе. Анализ достоинств и недостатков.

Пути повышения производительности технологических процессов изготовления приборов на основе неупорядоченных полупроводников.

Виды устройств для записи и обработки оптической информации на основе неупорядоченных полупроводников. Электрофотографический процесс. Как недостатки материала превратить в его достоинства. Пути улучшения характеристик электрофотографического процесса. Чувствительность видиконов. Создание сверхвысокочувствительных приборов. Оптические диски. Пути и пределы увеличения плотности записи оптической информации.

Контрольная работа 1.

Разработка конструкций тонкопленочных фотоэлектрических преобразователей, обеспечивающих эффективное преобразование энергии. Прямая и обратная конструкции. Триплеты.

Требования к схемам управления жидкокристаллическими дисплеями. Матрицы тонкопленочных полевых транзисторов на основе $a - Si:H$. Анализ технологического процесса их изготовления.

Анализ конструктивных особенностей первого и второго поколений ячеек энергонезависимой памяти на фазовых переходах в халькогенидных сплавах. Влияние их на надежность хранения информации.

Приборы на основе органических полупроводников: технологический процесс и достигнутые показатели.

Контрольная работа 2.

4.4. Темы лабораторных работ

8 семестр

Определение характеристик оптических дисков методами туннельной и атомно-силовой микроскопии – 4 часа

Спектральная чувствительность и вольт-амперная характеристика тонкопленочного фотоэлектрического преобразователя – 4 часа

Исследование параметров электрофотографических носителей изображения на основе некристаллических полупроводников – 4 часа

Электронно-микроскопические и дифракционные исследования пленок нанокompозитов – 4 часа.

4.5. Темы рефератов

«Рефераты учебным планом не предусмотрены»

4.6. Темы расчетных заданий: *«Расчетные задания учебным планом не предусмотрены»*

4.7. Темы курсовых проектов или курсовых работ *«Курсовой проект (курсовая работа) учебным планом не предусмотрен».*

4.8. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Номер и наименование результатов образования по дисциплине (в соответствии с разделом 3)	Индекс компетенции	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.4.1)												Формы контроля
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Знать:														
классификацию твердых тел с точки зрения атомной структуры и зонной теории	ОПК-7	X	X	X										Контрольная работа Экзамен
классификацию приборов и устройств на основе неупорядоченных полупроводников	ОПК-7								X	X				Контрольная работа Экзамен
особенности электронной структуры, электрических, оптических и фотоэлектрических свойств неупорядоченных полупроводников	ОПК-7			X	X	X	X							Контрольная работа Экзамен
методы исследования атомной структуры и управления свойствами неупорядоченных полупроводников	ОПК-7		X		X									Контрольная работа. Экзамен
физику работы приборов и устройств на основе неупорядоченных полупроводников	ПК-19									X	X	X	X	Контрольная работа Защита лабораторных работ
методы расчета и проектирования приборов и устройств на основе неупорядоченных полупроводников	ПК-19								X	X	X	X	X	Контрольная работа Защита лабораторных работ. Экзамен
Уметь:														
применять методы и средства измерений физических свойств неупорядоченных полупроводников	ПК-19					X	X							Контрольная работа Экзамен
применять методы расчета и моделирования атомной структуры неупорядоченных полупроводников	ОПК-7				X									Контрольная работа Экзамен
собирать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по неупорядоченным полупроводникам	ОПК-7	X	X	X		X	X		X	X	X	X	X	Контрольная работа Защита лабораторных работ. Экзамен
аргументировано выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментальных исследований	ПК-19		X	X		X			X	X	X	X	X	Контрольная работа

неупорядоченных полупроводников														Экзамен
Владеть:														
терминологией в области приборов и устройств на основе неупорядоченных полупроводников	ОПК-7							X	X	X	X	X	X	Контрольная работа Защита лабораторных работ. Экзамен
методами исследования атомной структуры и свойств неупорядоченных полупроводников	ПК-19		X											Контрольная работа Экзамен
методами исследования и технологическими методами изготовления приборов и устройств на основе неупорядоченных полупроводников	ПК-19							X	X	X	X	X	X	Контрольная работа Защита лабораторных работ. Экзамен
<i>Всего часов на раздел дисциплины (в соответствии с п.4.1)</i>		10	16	28	12	20	22	7	17	13	13	15	7	

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При преподавании дисциплины используются **информационно-коммуникационные образовательные технологии** в форме информационных и дискуссионных лекций-визуализаций. **Лабораторные работы** проводятся как в виде традиционных занятий, так и в виде экскурсии в Наноцентр МЭИ с целью знакомства с современным оборудованием (исследовательский комплекс на базе электронного просвечивающего микроскопа и др.).

6. КОМПЕТЕНТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ)

Для контроля результатов образования проводятся:

- контрольные работы

1. по материалом разделов 1 - 3;

2. по материалам разделов 4 - 6;

3. по материалом разделов 7 – 9;

4. по материалом разделов 10 – 12;

- защиты лабораторных работ;

- экзамены.

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины – экзамены.

Оценка за освоение дисциплины, определяется как: *оценка за экзамен*.

В приложение к диплому выносятся оценка за 7 и 8 семестров.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1. Основная литература:

1. Попов А. И. Физика и технология неупорядоченных полупроводников. Учебное пособие. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
2. Popov A. Disordered Semiconductors: Physics and Applications. Textbook. – Pan Stanford Publishing, 2011.

Описание лабораторных работ

3. Пресняков М.Ю., Васильева Н.Д., Попов А.И. Электронно-микроскопические и дифракционные исследования пленок нанокмполитов. Методическое пособие. – М.: Издательство МЭИ, 2013. – 16 с.
4. Баринов А.Д., Карапетян К.А. Попов А.И. Определение характеристик оптических дисков методами туннельной и атомно-силовой микроскопии. Лабораторная работа: методическое пособие. – М.: Издательство МЭИ, 2013, - 16 с.

7.2. Дополнительная литература:

1. Неупорядоченные полупроводники /А.А. Айвазов, Б.Г. Будагян, С.П. Вихров, А.И. Попов -М.: "Высшая школа", 1995.
2. Электронные свойства неупорядоченных систем / А.Г. Забродский, С.А. Немов, Ю.И. Равич – С-П.: «Наука», 2000.

7.3. Электронные образовательные ресурсы:

1. компьютерные презентации лекций;
2. электронный вариант раздаточных материалов к лекциям;

3. Интернет - страница дисциплины (<http://ftemc.mpei.ac.ru/ncs>), на которой размещены электронные образовательные ресурсы, литература и другие материалы для освоения дисциплины.

7.4. Лицензионное программное обеспечение: Mathcad.

7.5 Интернет-ресурсы: <http://ftemc.mpei.ac.ru/ncs>

7.6 Другие: (при наличии) - отсутствуют

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для обеспечения освоения дисциплины необходимо наличие учебной аудитории, снабженной мультимедийными средствами для представления компьютерных презентаций на лекциях и лабораторные стенды:

1	Дисплей Samsung UE-55C6000 (55")	7236
2	Ноутбук Asus X66IC	7238
3	Стенды для выполнения лабораторных работ: 1. Лабораторный стенд «Определение характеристик оптических дисков методами туннельной и атомно-силовой микроскопии» 2. Лабораторный стенд «Спектральная чувствительность и вольт-амперная характеристика тонкопленочного фотоэлектрического преобразователя» 3. Лабораторный стенд «Исследование параметров электрофотографических носителей изображения на основе некристаллических полупроводников» 4. Лабораторный стенд « <u>Электронно-микроскопические и дифракционные исследования пленок нанокompозитов</u> ».	Аудит. К-112

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

д.т.н., профессор каф. ЭиН

А.И. Попов

"УТВЕРЖДАЮ":

Зав. кафедрой ЭиН

д.т.н., профессор

И.Н. Мирошникова