

Заявка

на участие в конкурсе учебных курсов программы № 1.3. *Поддержка преподавания специализированных учебных курсов на кафедрах ФОПФ*

Кафедра физики и технологии наноструктур ФОПФ.

Аннотация

Курс «Технологии наноструктур» для студентов кафедры ФТН http://mipt.ru/education/chairs/physics_and_technology_of_nanostructures/education/2014/nanotechnology_fall2014.php с 2013 г. входит в учебный план 5 семестра, объем аудиторных занятий 34 часа.

Попытки создания такого курса на кафедре ФТН предпринимались начиная с 2009 года. В первоначальной версии он назывался «Химические технологии наноструктур» и параллельно решал задачу общего химического образования в привязке к нанотехнологическим задачам. В 2010-2012 годах сложилась устойчивая комбинация курса и двух практикумов в ИФТТ РАН - практикума по структурным методам (6 семестр) и практикума по нанотехнологиям (7 семестр). С 2013 г. курс расширен и переименован в «Технологии наноструктур», поскольку включает как химические, так и физические и комбинированные технологии. Наряду с учащимися кафедры ФТН, его до 2014 г. включительно слушали также студенты-биофизики.

Лекторы – д.х.н. Г.А.Цирлина и д.ф.-м.н. В.В.Рязанов. Некоторые лекции читают также молодые сотрудники ИФТТ РАН, кандидаты ф.-м. наук В.В.Большинин и Т.Е.Голикова. Они также участвуют в составлении и проверке задач. Ответственный исполнитель проекта – профессор кафедры ФТН ФОПФ МФТИ и Химического факультета МГУ, д.х.н. Г.А.Цирлина.

Программа курса включает 12 лекций и 5 семинарских занятий, часть которых проводится в жанре защиты нанотехнологических проектов.

Краткое содержание программы

(презентации см. на http://mipt.ru/education/chairs/physics_and_technology_of_nanostructures/education/2014/nanotechnology_fall2014.php)

Классификация наноструктур и их фрагментов по конфигурации и составу → принципы выбора технологии. "Мокрые" и "сухие, физические и химические технологии наноразмерных объектов и устройств на их основе. Принципы подготовки нанотехнологических проектов.

Наноструктуры для приложений в электронике (обзорная лекция)

Электроосаждение и химическое осаждение металлов, сплавов, сложных соединений. Температуруемое осаждение упорядоченных ансамблей наноразмерных объектов («наногальваника») и слоистых наноструктур. Кулонометрический мониторинг при электроосаждении.

Процессы анодного растворения и окисления металлов и кремния. Электрополировка. Анодирование металлов для создания сплошных диэлектрических пленок и оксидных

слоев с упорядоченными порами. Изготовление нанометровых зазоров. Заострение зондов.

Оптический контроль размеров коллоидных частиц, получение металлических и полупроводниковых наночастиц; частицы типа «ядро-оболочка» и другие экзотические коллоиды.

Нанесение наноразмерных объектов на подложки в вакуумных устройствах и из газовой фазы (методы, основанные на химических, фото- и плазмохимических процессах). Требования к реагентам. Типы и стадийность процессов. Регулирующие факторы.

Атомарно-гладкие подложки. Эпитаксия. Предобработка подложек. Основные механизмы нуклеации и роста. Поверхностная диффузия. In situ мониторинг роста тонких пленок спектроскопическими методами.

Физические методы нанесения тонких пленок. Термическое, магнетронное и электронно-лучевое осаждение тонких слоев.

Оптическая литография. Фоторезисты. Выборы доз экспонирования. Прямые и обратные (позитивные и негативные) процессы. «Взрывной» (lift-off) процесс.

Химические и физико-химические аспекты литографии. Природа процессов проявления и травления резистов, основные типы полимерных резистов. Жидкости для иммерсионной литографии на основе коллоидных частиц.

Формирование наноразмерных объектов в конфигурации зондовых микроскопов: модифицированные зонды, локальное модифицирование поверхности в газовой фазе и растворах. Квазилитография.

Процессы, приводящие к деградации наноструктур в процессе их изготовления и функционирования. Проблемы технологической совместимости материалов. Принципиальные схемы многоступенчатых технологий наноструктур.

Пояснительная записка

Основная цель курса – помочь студентам ориентироваться в научной литературе по технологиям низкоразмерных систем. Это широкий предмет, по которому не существует учебников. Кроме того, современные технологии наноструктур требуют от занятого ими исследователя крайне разнообразных фундаментальных знаний, в том числе сугубо междисциплинарных, не укладывающихся ни в какую единую вузовскую программу.

Мы считаем важной и специальной задачей курса зафиксировать общность понятийной базы для физики и химии, поэтому химические аспекты курса по возможности излагаются «от физики», без эмпирики. Это вполне удастся сделать в части термодинамики и пока несколько хуже в части химической кинетики, на которую не хватает времени. В 2012 - 2014 г. удавалось проводить предварительную подготовку студентов второго курса в 4 семестре в рамках курса химии для ФТН (4 лекции по физической химии и индивидуализированная задача). Мы надеемся, что такая возможность сохранится и в 2015 г. несмотря на изменения учебного плана.

Чтобы избежать поверхностного восприятия, мы построили программу курса не по типам наноструктур, а по группам процессов. Рассмотрению конкретных технологий предшествует для каждой группы процессов обсуждение их общих закономерностей и существующих количественных моделей. При этом параметры таких моделей обязательно обсуждаются в связи с факторами, которые можно варьировать экспериментально с целью сделать технологии управляемыми и контролируемыми. Обязательно обсуждаются возможности мониторинга процессов.

Чтобы избежать довольно типичной для современного бума нанотехнологий тенденции выдавать желаемое за действительное, при выборе иллюстративного материала мы отдаем предпочтение прямым экспериментальным данным о динамике процессов и о строении наноразмерных объектов. Таким образом, одновременно с технологической в курс вводится метрологическая составляющая.

Акцентируются технологические риски и их прогнозирование. Иллюстративный материал регулярно обновляется. Он включает в подавляющем большинстве данные экспериментальных работ последнего десятилетия.

Рекомендуемая литература

По каждому из типов обсуждаемых в курсе процессов рекомендуются классические учебники (упоминаются в презентациях). Однако основная рекомендованная литература – оригинальные статьи и обзоры. Ссылки на них указаны на многих слайдах. Учащимся предоставляются полные тексты этих источников, если таковые недоступны по подпискам МФТИ или в открытой сети.

Для решения задач предлагается самостоятельно искать справочные данные, рекомендуется в этой связи CRC Handbook of Chemistry and Physics. Не рекомендуется искать справочные данные в Wikipedia и иных непрофильных открытых источниках. (Тем не менее, такой поиск часто тоже происходит, и мы обязательно обсуждаем возникающие при этом ошибки.)

Индивидуальные задания

Учащимся предлагается решить две задачи, связанные с химическими и физическими технологиями наноструктур. Число предлагаемых вариантов задач равно или больше числа учащихся. Задачи 2014 г. :

http://mipt.ru/upload/medialibrary/c9a/Problem_Chem.pdf - «расшифровка рецептов» приготовления малых частиц для тех или иных нанотехнологических приложений (при решении этих задач студенты могут заодно проверить свои познания в области препаративной и физической химии);

http://mipt.ru/education/chairs/physics_and_technology_of_nanostructures/education/2014/nanotechnology_fall2014.php (файл открывается по второй ссылке) – оценки и расчеты, связанные с технологиями и функционированием устройств нанoeлектроники.

Решения задач присылаются преподавателям по электронной почте и переделываются при необходимости после обсуждения.

Как правило, корректные решения «химических» задач достигаются в 3-5 итераций, физических – в 1-2 итерации. Это различие связано с тяжелой проблемой базового химического образования, как в российской средней школе, так и в МФТИ.

Завершающее задание для групп студентов (3-4 человека)

Для проверки готовности использовать полученные знания студентам предлагается подготовить и защитить нанотехнологический проект. На лекциях неоднократно обсуждается предлагаемая схема такого проекта

http://mipt.ru/upload/medialibrary/06b/Projects_scheme.pdf ,

приводятся примеры решения наиболее сложных для восприятия фрагментов этой схемы (выбор последовательности технологических стадий, проблемы совместности материалов и технологической среды). Как правило, учащиеся выбирают в качестве предмета проекта какую-либо наноструктуру, о которой рассказывалось в лекциях. Иногда (это более типично для студентов биологической ориентации) они выбирают предмет, связанный с их собственной научно-исследовательской работой. В ходе подготовки проекта студенты всегда читают несколько (обычно до 10) оригинальных статей, которые находят самостоятельно, чаще всего по ссылкам.

Мы рекомендуем студентам разделение функций в команде каждого проекта, и обычно они действительно делят работу между собой. Но на вопросы при защите проекта отвечает вся команда. Вопросы в ходе защиты задают как преподаватели, так и другие студенты. Очевидно, что такие студенческие проекты не годятся для практической реализации, но они заметно активизируют аудиторию на лекциях и подогревают интерес к предмету. В 2014 г. мы с удивлением обнаружили, что одна из команд, обучавшаяся нами в 2013 г., продолжала работу над своим проектом (контролируемое получение трековых мембран) и даже выступила на эту тему с докладом на конференции МФТИ в 2014 г.