

## Программа мастер класса «ОСНОВЫ НАНОИНЖЕНЕРИИ»

Для учащихся и преподавателей СОШ, СПО, физико-математических лицеев и гимназий

### Кафедра ИУ-4

К.Ю.Богданов, к.ф.-м.н., зав. кафедрой физики лицея №1586

А.И.Власов, к.т.н., доцент, тел. (499)263-65-52

**Основная цель мастер-класса:** ознакомить учащихся СОШ, СПО, ССПО, ориентированных на дальнейшее обучение по программам подготовки бакалавра/магистра по направлению подготовки 654300 – Проектирование и технология электронных средств, инженера по специальностям 220500 – Проектирование и технология электронно-вычислительных средств и 200800 – Проектирование и технология радиоэлектронных средств с основами нанотехнологий (специализация: наноэлектроника), ее возможностях и перспективами развития.

Сформировать у учащихся представление физических принципах, лежащих в основе разработанных к настоящему времени наноразмерных объектов и технологических процессах их получения, формирования и изготовления структур, устройств и приборов наноэлектроники, физических принципах их работы, а также их электрических характеристиках, возможностях и ограничениях в применении.

Дать учащимся сведения об основах нанотехнологий.

#### **Планируемые результаты мастер-класса:**

- расширение представлений учащихся о физической картине мира на примере знакомства со свойствами нанообъектов;
- реализация межпредметных связей, т.к. для развития нанотехнологий требуются знания физики, биологии, химии и других наук;
- приобретение знаний об истории возникновения нанотехнологий, о методиках, используемых при создании нанообъектов, об уникальных свойствах наноматериалов, об их применении и перспективах развития этой отрасли науки.
- изучение теоретических основ формирования нанообъектов, устройств и приборов наноэлектроники и используемого в этих целях математического аппарата квантовой механики;
- получение знаний о современном уровне развития технологий наноэлектроники в целом;
- получение знаний о технологиях изготовления и производства изделий наноэлектроники, как составной части технологии и конструирования изделий электронной техники и электронной аппаратуры;
- получение знаний об уже существующих в настоящее время и перспективных объектах, структурах и приборах, изготавливаемых нанотехнологическими методами;
- получение знаний о наиболее широко распространенных в настоящее время нанотехнологических процессах, используемом в них технологическом оборудовании, принципах его работы, конструкции, возможностях и характеристиках.

В результате изучения дисциплины приобретаются следующие профессиональные знания, умения и навыки:

#### **Перечень вопросов теоретической части мастер-класса:**

- теоретические основы формирования наноструктур, и используемый в этих целях математический аппарат (например, основ квантовой механики);
- основные объекты, приборы и устройства, формируемые нанотехнологическими методами, их основные физические и электрические характеристики и параметры, особенности их применения и использования;
- содержание основных технологических процессов формирования наноструктур и нанообъектов и методики измерений их характеристик;

### **Перечень вопросов практической части мастер-класса:**

- составлять планы экспериментов по измерениям характеристик нанообъектов;
- проводить оценочные расчеты, связанные с выбором режимов нанотехнологических операций, и интерпретировать их результаты;
- уметь работать с наноизмерительными приборами: сканирующим зондовым микроскопом, сканирующем туннельном микроскопом, спектроэллипсометром, нанотвердометром, дополнительным оборудованием для подготовки экспериментальных образцов нанообъектов;
- использовать полученные знания для чтения специальной литературы и критического усвоения полученной информации.

Мастер-класс предназначен для учащихся общеобразовательных средних школ естественно-научного, физико-математического и подобных профилей (СПО, ССПО), федеральный компонент базисного учебного плана которых включает в себя 5 часов физики в неделю. Мастер-класс основан на знаниях, полученных учащимися при изучении математики, физики (в частности, таких ее разделов как «Физика твердого тела» и «Квантовая механика»), химии и биологии в основной и средней школе.

### **Расширенная вариативная теоретическая программа мастер класса (4-10 часов)**

1. Теоретические основы формирования наноструктур. Введение. Цели и задачи курса. Терминология.

1.1. Положение нанообъектов на шкале размеров.

Понятие о нанотехнологических объектах: структура, прибор, устройство. Положение нанообъектов на шкале размеров.

1.2. История развития нанотехнологий. Р. Фейнман и Э. Дрекслер. Ричард Фейнман – пророк нанотехнологической революции. Почему освоение наномира может быть так полезно для человечества? Эрик Дрекслер и его книга «Машины созидания».

1.3. Нанотехнологии – новая технологическая революция. Нанотехнологии внутри и снаружи нас. Нанотехнологии – область знаний, где объединяются усилия физиков, химиков, биологов, врачей, инженеров – электроников, математиков и специалистов самых разных специальностей для очередного прорыва на пути человечества к прогрессу. Нанороботы.

1.4. Элементы нанотехнологии. Процессы. Оборудование.

1.5. Роль квантовой механики в нанотехнологиях. Квантовая механика – как основа понимания принципов формирования и работы нанотехнологических объектов. Качественная иллюстрация уравнения Шредингера. Решение уравнения Шредингера для случаев движения частицы через потенциальный барьер конечной ширины. Туннельный эффект. Потенциальная яма. Энергетические состояния частиц в прямоугольной потенциальной яме сложной формы. Квантовые ямы. Квантовые точки. Прохождение частиц через многобарьерные квантовые структуры. Модель Кронига-Пенни. Сверхрешетки. Классификация полупроводниковых сверхрешеток. Нанотрубки.

1.6. Размерные эффекты в нанотехнологиях.

Влияние размерных эффектов на параметры материалов и приборов. Физические и технологические пределы миниатюризации и проблема уменьшения топологического размера и толщины легированных слоев.

2. Наноматериалы, физические и химические свойства нанообъектов.

2.1. Графен, фуллерены, нанотрубки и дендримеры. Особая роль углерода в наномире. Графен – слой графита. Фуллерены – нанополлимерики из углерода. Углеродные нанотрубки – трубки из графена. Нанопроволоки. Дендримеры – капсулы наноразмеров. Самоорганизация нанообъектов и её использование при создании наноматериалов. Моделирование наноструктур.

2.2. Необычные свойства элементов наномира. Большое отношение поверхности к объёму – основное свойство нанообъектов. "Эффект лотоса". Отсутствие дислокаций - причина колоссальной прочности нанопроволок и нанотрубок. Почему температура плавления металлических нанообъектов уменьшается на сотни градусов? Квантовые явления в наномире. Почему электрическое сопротивление нанотрубки не зависит от её длины. Квантовые точки – искусственные атомы наномира. Зависимость цвета в наномире от размера объектов. Нанохимия – невозможное становится возможным.

3. Технологическое оборудование для формирования и исследования наноструктур.

3.1. Сканирующие зондовая микроскопия.

Сканирующий туннельный микроскоп (СТМ) и СТМ-микроскопия. Принцип действия и конструкция прибора. Кантелеверы. Технологические методы их формирования. Система обеспечения микроперемещений в СТМ-микроскопе и вакуумная система. Системы обработки информации, получаемой от СТМ-микроскопов. Современные методы и программное обеспечение распознавания результатов туннельного сканирования. Нанолитография с помощью СТМ-микроскопа. Электрохимический микроскоп. Атомно-

силовая микроскопия. Методы и аппаратура. Изменение структуры поверхности нанотехнологических объектов и сил взаимодействия. Магнитно-силовой микроскоп. ЯМП-микроскоп. Оптический микроскоп ближнего поля. Проблемы субмикронной кремниевой технологии.

### 3.2. Фотолитография в нанoeлектронике.

Фотолитография в нанoeлектронике. Переход к фотолитографии в ультрафиолетовом диапазоне волн и основы проекционной оптики. Эксимерные лазеры – как источники излучения в ультрафиолетовом диапазоне. Фоторезисты и их свойства. Химическое усиление изображения. Фотолитография в экстремальном ультрафиолете. Переход от проекционной линзовой к зеркальной отражающей оптике. Методы генерации изображения топологии ИС. Наноимпринт – как разновидность фотолитографии при создании приборов с субмикронными размерами.

### 4. Технологические процессы формирования наноструктур.

#### 4.1. Создание нанобъектов: «снизу-вверх» или «сверху-вниз».

Можно ли увидеть молекулы в микроскоп? Сканирующий электронный микроскоп. Как атомно-силовая микроскопия чувствует прикосновение атомов. Что такое туннельный микроскоп. Лазерный пинцет – инструмент для передвижения нанобъектов.

#### 4.2. Молекулярно-лучевая и газофазная эпитаксия.

Молекулярно-лучевая эпитаксия (МЛЭ) – как технологический метод формирования наноструктур. Роль кинетики и структуры поверхности при МЛЭ. Технологическое оборудование для молекулярно-лучевой эпитаксии. Методы создания молекулярных пучков. Молекулярная эффузия. Взаимодействие молекулярных пучков с поверхностью. Гетеропереходы. Атомно-молекулярная сборка – как разновидность эпитаксии. Газофазная эпитаксия (ГФЭ) из металлоорганических соединений и ее применение при создании приборов и структур нанoeлектроники. Технология создания запоминающих устройств с элементами памяти нанометровых размеров. Алмазоподобные пленки и системы памяти на их основе. 2.4.3. Технологии формирования нанотрубок и нанопроволок. Технологии формирования нанотрубок. Полупроводниковые и углеродные нанотрубки.

### 5. Основы нанoeлектроники: одноэлектроника

#### 5.1. Закон Мура. Теоретические основы одноэлектроники.

Полевой транзистор – основной элемент цифровых электронных схем. История создания и современное воплощение. Фотолитография или как рождается микросхема. Закон Мура – удвоение плотности транзисторов в микросхемах каждые два года. Современный транзистор – это уже нанотранзистор. Основная болезнь нанотранзистора – высокая температура. Углеродные нанотрубки – будущие элементы нанотранзисторов. Наносенсоры – глаза для нанoeлектроники. Наномоторы – мышцы нанороботов. Теоретические основы одноэлектроники. Технологические основы реализации одноэлектронных приборов. Приборы на основе сканирующего туннельного микроскопа. Вертикальные одноэлектронные приборы на основе сэндвичевых структур. Приборы на основе массивов квантовых точек. Кремниевые одноэлектронные приборы. Приборы на основе двумерного электронного газа в AlGaAs/GaAs гетероструктурах. Приборы на основе структуры Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Al. Применение одноэлектронных приборов. Квантовый компьютер.

5.2. Спинтроника и квантовые компьютеры. Понятие спина. Магнитные эффекты, методы их измерения и управления. Кубиты – как элементная база квантовых компьютеров. Наноструктуры спинтроники.

### 6. Нанобиотехнологии.

6.1. ДНК – как элементная база биокомпьютеров. Генная инженерия. РНК, ДНК. Биокомпьютеры. Использование ДНК для синтеза лекарств. Трансгенные животные и растения. Генмодифицированные продукты: за и против. Нанотехнологии против вирусов и бактерий. Адресная доставка лекарств, упакованных в нанокапсулы, больным клеткам. Нанотехнологии в борьбе с раковыми заболеваниями. Нанотехнологии в диагностике. Возможные риски использования наноматериалов.

### 7. Нанотехнологии сегодня и завтра.

7.1. Нанотехнологии вокруг нас и перспективы их развития. Примеры товаров, созданных с использованием нанотехнологий и причины их уникальных свойств. Несмачиваемые и всегда чистые ветровые стёкла, диски колёс и т.п. Созданные на основе наночастиц оксида титана и серебра поверхности, обладающие бактерицидными свойствами. Нанокompозитные материалы. Нанотехнологии в различных областях производства. Нанотехнологии в энергетике и экологии. Нанотехнологии в криминалистике и косметике. Динамика развития нанотехнологий в России и за рубежом. Перспективы мировой нанoeкономики. Дорожная карта нанотехнологий.

### **Практическая часть (4 часа):**

1. Подготовка и проведение СЗМ - эксперимента.
  2. Визуализация наноструктур с помощью СЗМ.
  3. Обработка и количественный анализ СЗМ - изображений.
  4. Изготовление зондов и исследование влияние их характеристик на результаты сканирования.
  5. Проведение исследований на СТМ "УМКА"\*
  6. Исследования оптических свойств тонких пленок с использованием эл-липсометра "Эльф"\*
  7. Исследования ДНК - как элементной базы биокомпьютеров\*.
  8. Исследования квантовых свойств наноструктур - как элементной базы квантовых компьютеров\*.
  9. Подготовка и защита итогового отчета по лабораторному практикуму в виде презентации (Power Point, Flash и т.п.).
- \* - вариативно для целевых групп.

### **Организация мастер - класса.**

Мастер – класс построен по модульному принципу, изучение модулей завершается выполнением контрольных или сертификационных мероприятий. Отдельные вопросы выносятся на итоговое обсуждение в рамках круглого стола и т.п.

Учитывая общую тенденцию сквозного внедрения нанотехнологий, изучение «Основ нанотехнологий» должно организовываться как изучение системной, многовариантной проблемы, исследуемым объектам которой свойственны: а) многообразие связей элементов, отражающих объективную реальность; б) специфическая методология моделирования и проектирования; в) особый научный и практический аппарат.

Методологически мастер-класс построен на основе оптимального соотношения теоретических и прикладных вопросов с обязательным участием учащихся в самостоятельном исследовании оригинальных частных задач предназначенных для знакомства с основами нанотехнологий. Курс реализуется на базе технологий проектного обучения, которые заключаются в том, чтобы создать условия, при которых учащиеся: самостоятельно и охотно приобретают недостающие знания из разных источников; учатся пользоваться приобретенными знаниями для решения познавательных и практических задач; приобретают коммуникативные умения, работая в различных группах; развивают у себя исследовательские умения (умения выявления проблем, сбора информации, наблюдения, проведения эксперимента, анализа, построения гипотез, обобщения); развивают системное мышление и реализуют конкретные проекты на практике.

Теоретические основы излагаются в такой мере, чтобы показать общие принципы применения методов нанотехнологий в современном производстве. Содержание соответствующих тем разделов должно быть направлено на усиление роли фундаментальных знаний в теоретической и профессиональной подготовке учащихся, способствовать формированию у них фундаментальных системных знаний, развивать творческие способности будущего специалиста.

Прикладные вопросы обеспечивают ориентацию учащихся на решение типовых задач нанотехнологического производства, выбор адекватных физическим процессам моделей, методов, алгоритмов, прикладных пакетов и технических средств, обладающих максимальной эффективностью. Поэтому во всех разделах предусмотрены темы, содержание которых связано с формированием и развитием у будущих специалистов практических навыков решения задач нанотехнологического производства.

Продолжительность мастер-класса – 10-12 часов.

### **Методическое обеспечение**

1. «Нанотехнологии. Азбука для всех». Сборник статей под редакцией Ю. Третьякова, М., Физматлит, 2007.
2. «Наноматериалы. Нанотехнологии. Наносистемная техника». Сборник статей под редакцией П.П. Мальцева, М., Техносфера, 2006.
3. В.П. Драгунов, И.Г. Неизвестный, В.А. Гридчин. Основы наноэлектроники. – Новосибирск, Изд-во НГТУ, 2000г., - 332с.
4. Р.Фейнман, Р.Лейтон, М.Сэндс. Фейнмановские лекции по физике. Том 8. Квантовая механика (I). – М., «Мир», 1966г., - 272с.
5. Р.Фейнман, Р.Лейтон, М.Сэндс. Фейнмановские лекции по физике. Том 9. Квантовая механика (II). – М., «Мир», 1967г., - 260с.
6. Шахнов В.А., Панфилов Ю.В., Власов А.И. и др. Наноразмерные структуры: классификация, формирование и исследование. – М.: МГТУ им.Н.Э.Баумана. 2008. – 100 с.

**Мультимедийные и интерактивные средства, электронные учебники:**

Для информационно-методического обеспечения используются дополнительные справочные материалы, библиотека литературы и глоссарий терминов.

**Объем:** всего 8 (18), в том числе лекции – 4 (10) часа, практических занятий – 4 (8) часов.

**Приложения на CD диске:**

1. Информационная подборка по тематике мастер-класса.
2. Рабочая тетрадь для проведения практических занятий.
3. Примеры практических проектов.
4. Дополнительные методические материалы.