

**Белорусский государственный университет
Химический факультет**

МИКРО- И НАНО-ТЕХНОЛОГИИ

Учебная программа для специальности
1-31 05 01 Химия (по направлениям)

Направление специальности:
1-31 05 01-01 Химия (Научно-производственная деятельность)

СОСТАВИТЕЛЬ:

А. В. Юхневич, в.н.с. НИИ ФХП БГУ, канд. физ.-мат. наук, доцент

2011 г.

Пояснительная записка

Спецкурс «Микро- и нано-технологии» предназначен для изучения студентами специальности 1-31 05 01-01 «Химия» по направлению 1-31 05 01-01 «Научно-производственная деятельность», и рекомендуется для прочтения в 8-м семестре после изучения таких общих курсов, как «Физическая химия», «Химия твердого тела», «Неорганическая химия», «Кристаллохимия».

Цель спецкурса – познакомить слушателей с новейшими научными и техническими достижениями в области микротехнологии, а также рассмотреть научно-технические проблемы и последствия развития перспективных технологий формообразования в направлении уменьшения размеров приборов различного назначения (изделий электроники, фотоники, спинtronики, механики, химической аналитики) на пути к естественному пределу миниатюризации – атомным (нанометровым) размерам.

Оформление рефератов и участие в коллоквиумах по определенным темам спецкурса будут способствовать выработке студентами навыков самостоятельной работы с научной литературой и углубленному изучению принципиальных проблем микро-/нано-технологии.

Цель лабораторного практикума – практическое ознакомление с оборудованием и методами выполнения измерений при экспериментальном изучении объектов, имеющих микро- и нано-метровые размеры.

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать:

- современные достижения в области миниатюризации различных приборов (на примерах из микроэлектроники, микромеханики и из других разделов науки и техники);
- принципы функционирования современного технологического оборудования, предназначенного для изготовления микроприборов;
- особенности физико-химических процессов, на которых основаны технологии изготовления микроприборов, а также проблемы миниатюризации различных изделий;

уметь:

- находить источники информации о достижениях в области микро-/нано-технологии и пользоваться ими (интернет, научные журналы и др.);
- организовывать и проводить измерения основных свойств микрообъектов (с использованием оптических и электронных микроскопов, различных физико-химических методов).

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

1. *Вхождение в нанотехнологическую эру.* Атомная инженерия. Прогнозы Р.Фейнмана и Э.Дрекслера. Примеры возможной наноэволюции в информационной и медицинской технике. Физика, химия, техника в нанотехнологии. Теория и эксперимент.
2. *История развития и современный уровень микроэлектроники.* Транзистор, интегральная микросхема, полупроводниковый лазер. Этапы миниатюризации электронных приборов. «Закон Мура». Уменьшение размеров изделий в оптоэлектронике, магнетоэлектронике, микромеханике, в химической микроаналитике.
3. *Монокристаллический кремний – основной материал современной микроэлектроники.* Основные технологические этапы получения совершенных монокристаллов кремния и других полупроводников.
4. *Современная технология микроэлектроники.* Микро-фотолитография – основной метод миниатюризации современных изделий. Этапы фотолитографического процесса. Конструкция и технология изготовления микро-транзисторов в современных интегральных микросхемах.
5. *Тонкие полупроводниковые, диэлектрические и электропроводящие слои.* Процессы эпитаксии, диффузии, ионной имплантации, вакуумного напыления, плазмохимической модификации структуры поверхности. Технологические проблемы миниатюризации.
6. *Достижения в миниатюризации современных приборов.* Ультрафиолетовая, рентгеновская, электронная, ионная литографии. Направления совершенствования конструкции и технологии изготовления современных микроприборов: субмикронные транзисторы, приборы с гетеропереходами, квантовыми ямами, сверхрешетками, квантовыми точками, приборы спинtronики.
7. *Физические ограничения современных методов миниатюризации.* Предельные возможности оптической, рентгеновской, электронной и ионной литографии. Особенности направленного нано-структурирования твердых

тел методами эпитаксии, диффузии, ионной имплантации и распыления, плазмохимическими методами.

8. *Роль поверхности в нанотехнологических процессах.* Электрофизические и оптические методы исследования атомной структуры объема и поверхности твердых тел: электропроводность, эффект Холла, фотопроводимость, поглощение и отражение света, люминесценция, ЭПР, ЯМР, микроскопия. Пространственное разрешение методов исследования.

9. *Методы исследования и реконструкции атомной структуры объема и поверхности твердых тел.* Рентгеновские, электронные, ионные, нейтронные методы: поглощение, отражение, рассеяние; то же - в сочетании с интерференцией. Микроскопия, масс-спектроскопия. Пространственное разрешение методов.

10. *Твердотельно-зондовая микроскопия, спектроскопия, литография.* Конструкция, аналитические и технологические возможности зондовых приборов. СТМ и СТЛ – сканирующий тунNELьный микроскоп и литограф. АСМ и АСЛ – атомно-силовой микроскоп и литограф. ОЗМ и ОЗЛ – оптический зондовый микроскоп и литограф. Пространственное разрешение зондовых микроскопов и литографов.

11. *Современные достижения нанотехнологии.* «Одноатомные» кластеры, «одномерные» нити, одномерные, двумерные и трехмерные растры. Перспективные нанотехнологические процессы: молекулярно-лучевая эпитаксия, анизотропное растворение, многозондовая атомная инженерия. Роль низкотемпературной атомно-молекулярной самоорганизации в нанотехнологии. Прогнозы влияния развития нанотехнологии на различные области науки и техники. Возможные социальные последствия прогресса в нанотехнологии.

ТЕМЫ РЕФЕРАТОВ И КОЛЛОКВИУМОВ

1. Наномашиностроение. – Л: 1-2, Д1- Д3.
2. Нанохимия. – Л: 1, 6, Д5, Д9.
3. Кристаллы кремния. – Л: 5, 11, Д13, К.Рейви. Дефекты и примеси в полупроводниковом кремнии. – М.: Мир, 1984 – 475 с.
4. Электронная гигиена. – Л: 5, 6, Д8, Чистые помещения. Пер. с яп. – М.: Мир, 1990 – 456 с.
5. Электронные химреактивы. – Л: 5, 6, Д5, Д8.
6. Тонкие слои в микро- и нано-электронике. – Л: 3, 5, Д5, Д8, Технология СБИС. – М.: Мир, 1986 – Кн. 1 – 404 с. ; Кн. 2 – 453 с.
7. Диффузия в кристаллах. – Л: 5, Д5, Технология СБИС. – М.: Мир, 1986 – Кн. 1 – 404 с. ; Кн. 2 – 453 с.
8. Нанотехнология вnanoэлектронике. – Л: 2–5, 11, Д3, Д4, Д7, Д11.
9. Современные методы микро-/нано-литографии. – Л: 2, 4, 5, 7, Д3, Д5, Д12.
10. Электронная микроскопия и рентген-флуоресцентный микроанализ. – Л: 2, 4, 5, 10, 11, Д5, Д12.
11. Экспериментальные методы изучения поверхности твердых тел. Термодесорбционная спектроскопия. – Л: 3–5, 9, 11, Д6.
12. Процессы самоформирования нанорельефа поверхности твердых тел. – Л: 3–5, 8, Д3, Д5, Д7, Д8.

ТЕМЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

1. Фотолитографический синтез микроструктур.
2. Электронная микроскопия и рентген-флуоресцентный микроанализ.
3. Термодесорбционная спектроскопия поверхности.
4. Формирование нанорельефа поверхности монокристаллов кремния в процессе химического растворения.

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Перспективы нанотехнологии. Российский химический журнал (Журнал российского химического общества им. Д.И.Менделеева)- Т.46. №5. 2002г. (Ч3 ХФ).
2. Ч.Пул, Ф.Оуэнс Нанотехнологии. М.: Техносфера - 2009. 336 с. (Ч3 ХФ).
3. Наноструктурные материалы. Под ред. Р. Ханнинка, А. Хилл (пер. с англ.). М.: Техносфера – 2009. 488 с. (Ч3 ХФ).
4. Балабанов В.И. Нанотехнологии. Наука будущего. М.: Эксмо, 2009. 256 с. (Ч3 ХФ).
5. Старостин В.В. Материалы и методы нанотехнологии. М.: БИНОМ, 2008. – 431 с. (Ч3 ХФ).
6. О. В. Сергеева, С. К. Рахманов. Введение в нанохимию. – Минск: БГУ, 2009, – 176 с. (Ч3 ХФ).

7. Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий. – Т.2. –М.: БИНОМ, 2011. – 252 с. (ЧЗ ХФ: 621.3/В 24).
8. К.Сангвал. Травление кристаллов. Теория, эксперимент, применение. – М.: Мир, 1990 – 492 с.
9. Д.Вудраф, Т.Делчар Современные методы исследования поверхности. – М.: Мир, 1989 – Гл.5.
10. Практическая растровая электронная микроскопия. Под ред. Дж. Гоулдстейна и Х. Яковица. Пер. с англ. – Москва, Мир, 1978 – 656с.
11. Нанотехнологии в электронике. Под ред. Ю.А. Чаплыгина. – Москва. ТЕХНОСФЕРА, 2005 – 448 с. (ЧЗ ХФ: 384/Н 254).

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Д1. R.P.Feynman. There's Plenty of Room at the Bottom. An Invitation to Enter a New Era of Physics. – Engeneering and Science, February 1960 – p. 22–36: <http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html>).
- Д2. E.K.Drexler. Engines of creation. The coming Era of Nanotechnology. – NY, Anchor Press, 1986: (<http://search.barnesandnoble.com/bookSearch>)
- Д3. Уильямс Л. Нанотехнологии без тайн. (пер. с англ.). М.: Эксмо, 2009. – 368 с. (ЧЗ ХФ).
- Д4. Б. Е. Борисенко, А.И. Воробьева, Е. А. Уткина. Наноэлектроника. –М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 223 с.
- Д5. Введение в процессы интегральных микро- и нанотехнологий. – Т.1,2. – М.: БИНОМ, 2011. (ЧЗ ХФ: 621.3/В 24).
- Д6. В.Ф.Киселев, С.Н.Козлов, А.В.Зотеев. Основы физики поверхности твердого тела. – М.: МГУ, 1999, 284 с.
- Д7. А.В.Юхневич. Некоторые особенности атомной структуры моноокристаллов кремния. – Минск, БГУ: Избранные научные труды БГУ, Т.5, 2001, с.89–122. (ЧЗ ХФ).
- Д8. В.П.Василевич, А.М.Кисель, А.Б.Медведева, В.И.Плебанович, Ю.А.Родионов. Химическая обработка в технологии ИМС. – Полоцк, ПГУ, 2001, 260 с.
- Д9. И.П.Суздалев. Нанотехнология: Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. – М.:Книжный дом «Либроком», 2009. – 592 с. (ЧЗ ХФ: 620/С893; БГУ: 1959733).
- Д10. M. Esashi, T. Ono. From MEMS to nanomachine. // *J. Phys. D: Appl. Phys.* **38**, (2005), R223-R230.
- Д11. B. Yu, M. Meyyappan. Nanotechnology: Role in emerging nanoelectronics. // *Solid-State Electronics*. **50** (2006), 536 – 544.
- Д12. А. Л. Асеев Нанотехнологии: вчера, сегодня, завтра . /«Наука из первых рук»-2008-№5-с.24-41. (ЧЗ ХФ).
- Д13. Герасименко Н.Н., Пархоменко Ю.Н. Кремний – материал наноэлектроники. М.: Техносфера, 2007. – 352 с.