

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Кузько Андрей Евгеньевич  
Должность: Заведующий кафедрой  
Дата подписания: 10.10.2024 13:23:20  
Уникальный программный ключ:  
72581f52caba063db3331b3cc54ec107395c8caf

МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ  
Юго-Западный государственный университет

УТВЕРЖДАЮ:  
Заведующий кафедрой  
нанотехнологий, микроэлектроники,  
общей и прикладной физики  
*(наименование кафедры полностью)*

  
*(подпись)* А.Е. Кузько

«06» 06 2024г.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА  
для текущего контроля успеваемости  
и промежуточной аттестации обучающихся  
по дисциплине

Наноаналитическое оборудование  
*(наименование дисциплины)*

28.04.01 Нанотехнологии и микросистемная техника  
*(код и наименование ОПОП ВО)*

*ОПОП ВО реализуется по модели дуального обучения*

# **1. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ**

## ***1.1 ВОПРОСЫ ДЛЯ УСТНОГО ОПРОСА***

### **1. Основы применения масс-спектрометрических методов исследования в нанодиагностике**

1. Методы ионизации (электронный удар, фотоионизация, электростатическое неоднородное поле, химическая ионизация).
2. Сечение ионизации. Потенциалы появления ионов.
3. Диссоциативная ионизация.
4. Фокусирующее действие однородного поперечного магнитного поля.
5. Двойная фокусировка.
6. Разрешающая сила масс-спектрометра.
7. Молекулярное течение газа.
8. Основные типы масс-спектрометров: времяпролетный, квадрупольный масс-спектрометр, спектрометр ион-циклотронного резонанса.
9. Назначение и правила эксплуатации измерительных средств масс-спектрометрии, используемых в производстве.
10. Применение масс-спектрометров в нанодиагностике.
11. Идентификация веществ.

### **2. Назначение и правила эксплуатации измерительных средств сканирующей туннельной микроскопии.**

1. Физические основы СТМ. Уровень Ферми.
2. Туннелирование электрона через потенциальный барьер. Туннельный ток.
3. Аппаратура для СТМ.
4. Общая схема СТМ.
5. Измерительные методики СТМ.
6. Сбор, анализ и обобщение, статистическая обработка данных, полученных на СТМ.
7. Режимы работы СТМ: постоянного тока, постоянной высоты.
8. Схема работы цепи обратной связи в различных режимах работы СТМ.
9. Методы анализа и статистической обработки данных на СТМ.
10. Спектроскопические методы исследования ВАХ контакта зонд-образец.

### **3. Назначение и правила эксплуатации измерительных средств атомно-силовой микроскопии.**

1. Конструкции и виды электронных пушек.
2. Физические основы АСМ.
3. Взаимодействие зонда с поверхностью.
4. Силы Ван-дер-Ваальса.
5. Капиллярные силы.
6. Преимущества перед СТМ.
7. Дальнодействующие силы.
8. Аппаратура для АСМ.

9. Назначение и правила эксплуатации измерительных средств АСМ, используемых в производстве.
10. Общая схема АСМ.
11. Зонды АСМ. Оптическая система регистрации перемещений зонда.
12. Система обратной связи.
13. Характеристики лабораторного оборудования атомно-силовой микроскопии и принципы его эксплуатации.

#### **4. Методы анализа и статистической обработки данных на АСМ.**

1. Контактный, полуконтактный и бесконтактный режимы АСМ.
2. Влияние формы и размеров зонда на получаемое изображение.
3. Сбор, анализ и обобщение, статистическая обработка данных, полученных на СТМ.
4. Методы анализа и статистической обработки данных на АСМ.
5. Предельное разрешение АСМ: латеральное и вертикальное.
6. Детектирование отдельных атомов и наночастиц с помощью АСМ.
7. Изучение электрофизических и магнитных свойств поверхности.
8. Характеристики проводящих кантилеверов.
9. Магнитно-, электросиловая, емкостная, Кельвин-микроскопия.
10. Метрологическое обеспечение АСМ.
11. Требования нормативных документов по метрологическому обеспечению средств измерения на АСМ параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур.

#### **5. Назначение сканирующей ближнепольной оптической микроскопии.**

1. Назначение и правила эксплуатации измерительных средств сканирующей ближнепольной оптической микроскопии.
2. Нераспространяющиеся световые волны.
3. Техническая реализация СБОМ.
4. Проблемы подвода малоразмерных диафрагм к образцам на постоянной высоте.
5. Поперечно-силовая микроскопия, метод пропускания и метод отражения.
6. Использование методов СЗМ в исследовании наноструктур и поверхности твердого тела.

#### **6. Общие элементы электронно-оптических приборов.**

1. Характеристики лабораторного оборудования электронной микроскопии, принципы его эксплуатации.
2. Конструкции и виды электронных пушек.
3. Сравнение характеристик различных видов катодов для электронных пушек.
4. Свойства электронных пушек (интенсивность, яркость, монохроматичность, стабильность).
5. Роль цилиндра Венельта.
6. Кроссовер. Диаметр электронного зонда в кроссовере.
7. Напряжение смещения в стабилизации и изменении электронного тока.
8. Электромагнитные линзы.
9. Аберрации электромагнитных линз (сферическая, хроматическая, дифракционная).
10. Вакуумная система.

## **7. Назначение и правила эксплуатации измерительных средств электронной микроскопии**

1. Области применения ЭМ.
2. Преимущества и недостатки ЭМ.
3. Основные характеристики. Основные узлы РЭМ и ПЭМ.
4. Механизмы формирования изображения.
5. Режим изображения и режим дифракции.
6. Виды контраста просвечивающей и растровой электронной микроскопии.
7. Калибровка электронных микроскопов и измерение линейных размеров.
8. Эффект каналирования и дифракция обратно рассеянных электронов.
9. Методы проведения испытаний наноструктурированных материалов в электронной микроскопии.
10. Основы методов электронной дифракции.
11. Приготовление образцов для ПЭМ.
12. Требования нормативных документов по метрологическому обеспечению средств измерения электронной микроскопии параметров и модификации свойств наноматериалов и наноструктур.

## **8. Методы анализа и статистической обработки данных в рентгеновском микроанализе**

1. Принципы работы и устройство энергодисперсионного микро-спектрометра.
2. Характеристическое рентгеновское излучение и Оже-электроны.
3. Уточнённый закон Мозли.
4. Методы анализа и статистической обработки данных на ЭДС.
5. Понятие "мёртвого времени" в работе энергодисперсионного детектора.
6. Работа в про-грамме Aztec (Inka) по элементному анализу.
7. Методы проведения испытаний наноструктурированных материалов на энергодисперсионном спектрометре.
8. Устройство и принцип действия рентгеновского дифрактометра и волнового спектрометра.
9. Катодолюминесценция.
10. Эффект каналирования и дифракция обратно рассеянных электронов.

**Шкала оценивания:** 5 балльная.

**Критерии оценивания:**

**5 баллов** (или оценка «отлично») выставляется обучающемуся, если он демонстрирует глубокое знание содержания вопроса; дает точные определения основных понятий; аргументированно и логически стройно излагает учебный материал; иллюстрирует свой ответ актуальными примерами (типовыми и нестандартными), в том числе самостоятельно найденными; не нуждается в уточняющих и (или) дополнительных вопросах преподавателя.

**4 балла** (или оценка «хорошо») выставляется обучающемуся, если он владеет содержанием вопроса, но допускает некоторые недочеты при ответе; допускает незначительные неточности при определении основных понятий; недостаточно аргументированно и (или) логически стройно излагает учебный материал; иллюстрирует свой ответ типовыми примерами.

**3 балла** (или оценка «удовлетворительно») выставляется обучающемуся, если он

освоил основные положения контролируемой темы, но недостаточно четко дает определение основных понятий и дефиниций; затрудняется при ответах на дополнительные вопросы; приводит недостаточное количество примеров для иллюстрирования своего ответа; нуждается в уточняющих и (или) дополнительных вопросах преподавателя.

**2 балла** (или оценка «**неудовлетворительно**») выставляется обучающемуся, если он не владеет содержанием вопроса или допускает грубые ошибки; затрудняется дать основные определения; не может привести или приводит неправильные примеры; не отвечает на уточняющие и (или) дополнительные вопросы преподавателя или допускает при ответе на них грубые ошибки.

## **1.2 ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ (в том числе задания по практической подготовке – 12 часов)**

### **Лабораторная работа №1 по теме «Расшифровка масс-спектра наночастиц в виде мономеров и димеров, образованных в ячейке Кнудсена»**

#### **Задания:**

1. Изучить устройство и принцип действия ячейки Кнудсена.
2. Разобрать метод полного изотермического испарения в эффузионной ячейке.
3. Получить соотношение (1), связывающее интенсивность ионного тока частиц в масс-спектре с сечением ионизации, концентрацией частиц, электронным током и длиной пробега электронов для случая электронной ионизации частиц.
4. Самостоятельно найти коэффициенты масс-спектра  $a_{02}$ ,  $a_{12}$  и соответствующие им ионные токи для случая смеси из димеров и мономеров.
5. Разберите основные положения метода тройных столкновений.
6. Выполните пункты 3, 4 для выданного масс-спектра.
7. Оформите отчет и сделайте вывод по работе

#### **Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы № 1**

1. Перечислите и охарактеризуйте особенности основных методов получения наночастиц в газовой фазе (Кнудсена, газовой агрегации, лазерной абляции, сверхзвукового сопла)
2. Принцип работы эффузионной ячейки Кнудсена, её недостатки в получении наночастиц.
3. Определение парциального давления методом полного изотермического испарения.
4. Как работает последовательная эффузионная ячейка?
5. В чём состоит условие молекулярности пучка.
6. Что такое константа равновесия реакции?
7. В чём заключается смысл теории тройных столкновений?
8. Перечислите последовательность действий в расшифровке масс-спектра из смеси димеров и мономеров.
9. Попытайтесь расшифровать случай спектра, где присутствуют и тримеры.

### **Лабораторная работа №2 по теме «Подготовка образцов для АСМ на шлифовально-полировальном станке Buehler Vector LC» (Практическая подготовка 4 часа)**

#### **Задания:**

1. Ознакомьтесь с техникой безопасности при работе на фрезерно-сверлильном станке «JET JMD (150 Вт)» и шлифовально-полировальном станке "Buehler Vector LC". (В

руководстве к станкам). К работе на фрезерно-сверлильном станке разрешается лицам имеющим допуск.

2. Изучить методики работы на станках «JET JMD (150 Вт)» и "Buehler Vector LC" и зондовом микроскопе SmartSPM.

3. Подготовить образцы на станке «JET JMD (150 Вт)» по размерам приведенным в данном описании, или по указанию преподавателя. Проконтролировать размеры при помощи штангенциркуля или микрометра.

4. Залить образцы в компаунд по методике к станку "Buehler Vector LC" (Рис. 4). При ручной полировке использовать контейнеры из оргстекла. (Рис. 3)

5. Осуществить шлифовку и полировку образцов при последовательной смене шлифовальных кругов и абразивных жидкостей согласно методике полировки на станке "Buehler Vector LC" до качества 20 нм. Каждый раз промывая рабочие части фильтрованной или дистиллированной водой.

6. Осуществить визуальный контроль за поверхностью на каждом шаге полировки и с помощью конфокальной камеры АСМ.

7. Отделить, соблюдая аккуратность, образцы от компаунда. Закрепить их при помощи клея в держателях столика АСМ SmartSPM.

7. Провести, согласно методики работы на микроскопе SmartSPM, сканирование выбранных на конфокальной камере участков образцов.

8. Произвести программную обработку сканированных участков с помощью программы Gwyddion 2.9. Получить объёмные изображения участков и распределение частиц по размерам. (Рис. 6-12)

9. Оформите отчет и сделайте вывод по работе.

### **Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы № 2**

1. Перечислите основные этапы подготовки твёрдых образцов для АСМ.
2. Изложите методику работы на станке шлифовально-полировальном станке "Buehler Vector LC".
3. В чём заключаются контактный и полуконтактный методы сканирования на АСМ.
4. Сущность работы конфокальной видеокамеры.
5. Физические принципы работы АСМ. Требования к кантилеверу.
6. Перечислите возможности программы Gwyddion 2.9 в обработке АСМ-изображений поверхностей образцов.

### **Лабораторная работа №3 по теме «Оценка радиуса закругления острия зонда по АСМ-изображениям углеродных нанотрубок»**

#### **Задания:**

**Установка зонда.** Для установки или замены зонда проделайте следующие операции:

1. Отсоедините электрический разъем каретки зонда от измерительной головки.
2. Потяните рукоятку фиксирующего зажима каретки зонда, поверните его по часовой стрелке на 180 градусов и извлеките каретку из головки (рис. 9).



Рис. 9 Извлечение каретки зонда из измерительной головки СЗМ.

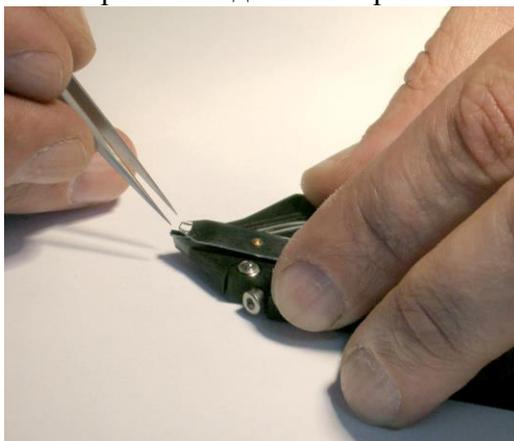


Рис. 10 Установка зонда в каретку

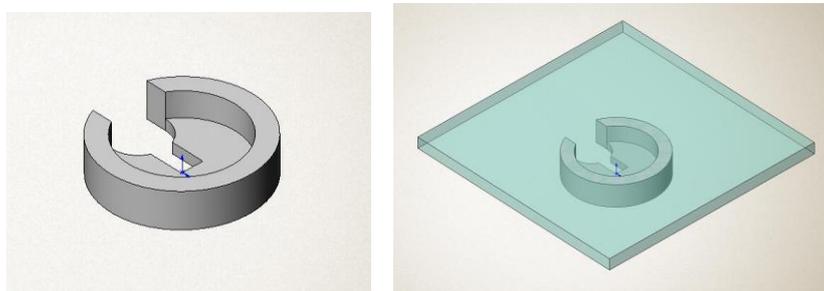
3. Положите каретку в перевернутом положении на стол.
4. Пинцетом возьмите зонд из коробки с зондами. Зонды в коробке закреплены на липкий гель. Зонды лежат иглой вверх и отражающей поверхностью вниз. Однобалочные чипы ориентированы в коробке так, что кантилевер направлен в сторону петель коробки.
5. Откройте зажим держателя зонда, прижав каретку к поверхности стола.
6. Пинцетом поместите зонд под зажим (рис. 10).
7. Установите каретку зонда в измерительную головку, зафиксируйте его зажимом и подсоедините электрический разъем, так, чтобы красная полоска на разъеме оказалась напротив красной полоски на гнезде разъема.

**3. Установка образца.** Прибор рассчитан на работу с образцами, размер которых не превышает 40 x 40 мм в поперечнике и 15 мм по высоте. Чтобы установить образец в микроскоп, его необходимо закрепить на держателе образца. В комплекте прибора имеется два типа держателей: металлические держатели диаметром 4 мм для жестких образцов, и держатели с наклеенными на них сапфировыми подложками для гибких пленок (Рис. 11).

Жесткие образцы приклеивайте к держателю клеем. Для этого используйте 5 минутный эпоксидный клей или цианакрилатовый «Суперклей». Предварительно, на какой-либо поверхности размешайте небольшое количество эпоксидного клея или выдавите каплю «Суперклея».

Рис. 11 Держатели образца

Затем, взяв клей из этой капли тонкой иглой или проволокой, нанесите клей в 2 – 3 точках на верхнюю поверхность стенки держателя. Положите образец на держатель и прижмите его. Прежде чем устанавливать образец на микроскоп дождитесь высыхания



клея. Различные пленки крепите на держателях с приклеенной сапфировой подложкой, используя двустороннюю липкую ленту. Для того чтобы снять образец с держателя, используйте лезвие.

Установите держатель с приклеенным образцом на сканер. Для этого переместите сканер в нижнее положение, используя кнопку New sample, расположенную в нижней части контрольной панели (Рис. 12). В нижнем положении зажим, фиксирующий образец, расположенный на сканере, приподнят. Поместите под него держатель с образцом (Рис. 13). Переместите сканер вверх на 2-3 мм, для того чтобы зафиксировать образец. Для этого используйте поле ввода dZ и кнопку Move Motor на контрольной панели (Рис. 12). Величина перемещения измеряется в миллиметрах.

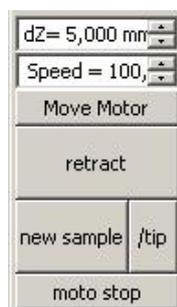


Рис. 12 Кнопки вертикального перемещения образца на контрольной панели

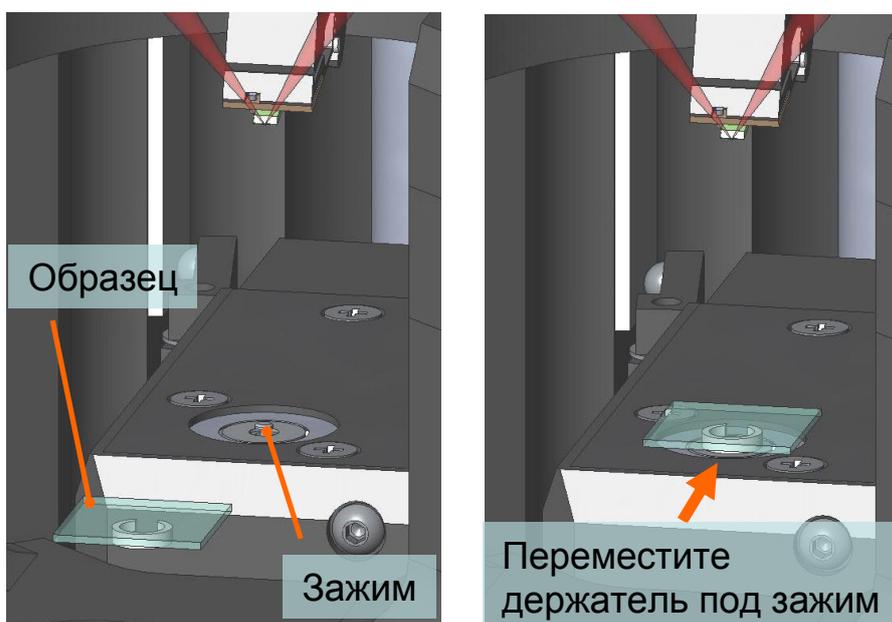


Рис. 13 Схема установки образца

#### 4. Настройка прибора для работы полуконтактным или бесконтактным методом

**Настройка системы регистрации.** Прежде чем настраивать регистрирующую систему убедитесь, что расстояние между зондом и образцом более 2 мм. Если расстояние меньше чем 2 мм, переместите сканер вниз на 2 мм. Для этого используйте кнопку **New tip**, расположенную на контрольной панели.

Перейдите в окно **Laser Calibration**. Для настройки лазера на зонд используйте кнопки **find tip** или **look around**, для настройки положения фотодиода используйте кнопку **adjust diode**.

**Настройка на резонансную частоту.** Нажмите кнопку **Init tuning** на контрольной панели. Программа перейдет в окно **Resonance**, просканирует по частоте и покажет резонансную кривую зонда. Подбором коэффициента усиления синхронного детектора программа установит сигнал амплитуды **Mag** равным 25000 единиц АЦП.

**Установка амплитуды.** После того, как рабочая частота была установлена вручную, необходимо установить амплитуду равной 25000 единиц АЦП. Задайте желаемую амплитуду в нанометрах в поле ввода на контрольной панели и нажмите кнопку **Set amplitude**. Подбором коэффициента усиления синхронного детектора программа установит сигнал амплитуды **Mag** равным 25000 условных единиц.

#### 5. Подвод образца к зонду

**Подвод мотором.** Перед подводом подведите образец к зонду на расстояние 1 – 3 мм. Для этого используйте поле ввода **dZ** и кнопку **Move motor**, расположенные в нижней части контрольной панели. После этого, при необходимости измерять в определенном месте образца приблизительно спозиционируйте образец относительно зонда.

Для запуска подвода нажмите кнопку **moto approach** на контрольной панели.

Начнется подвод мотором. Появится сообщение «**Waiting, approach is going on**». В окне **Spectro simple** будет отображена кривая подвода – зависимость амплитуды в единицах сигнала **Mag** от вертикального положения сканера. Положение сканера измеряется в миллиметрах, начало отсчета – нижнее положение. По мере приближения к поверхности амплитуда колебаний зонда будет уменьшаться. Подвод остановится в тот момент, когда произойдет резкое изменение амплитуды или фазы колебаний кантилевера.

Для аварийной остановки подвода используйте кнопку **stop motor**. Для возобновления подвода заново нажмите кнопку **moto approach**. После того как подвод завершен, появится сообщение «**motor approach completed, surface was found**».

#### 6. Подстройка частоты, фазы и амплитуды вблизи поверхности образца

После подвода свободная амплитуда слегка падает, так как вблизи поверхности возникает дополнительное трение кантилевера о воздух, что приводит к некоторому смещению резонансной частоты вниз. Кнопка **fine tuning** на контрольной панели устанавливает частоту на вершину пика и восстанавливает значение сигнала амплитуды **Mag** до 25000. Сигнал фазы **Phase** устанавливается равным 130000 единиц АЦП, что соответствует 90 градусам фазового сдвига.

#### 7. Посадка на поверхность

Для посадки на поверхность нажмите кнопку **landing** на контрольной панели. Появится сообщение «**landing is running**». Сканер начнет подводить образец к игле, и остановится, когда значение сигнала амплитуды **Mag** достигнет уровня, заданного параметром **Sp%**. (Этот параметр задается в поле ввода на контрольной панели. По

умолчанию, величина этого параметра равна 85% от начальной амплитуды колебаний кантилевера при амплитудах меньших 25 нм и 70% при амплитудах больших 25 нм.) В окне спектроскопии будет отображена зависимость  $\text{Mag}(Z)$ . После посадки на поверхность появится сообщение «**landing completed**».

## 8. Корректировка параметров сканирования

**Подстройка коэффициента усиления обратной связи.** При посадке, во избежание генерации, использовался FB gain равный 0.0020 для амплитуд меньших 25 нм и 0.0050 для амплитуд больших 25 нм, однако для корректного сканирования обычно требуется больший FB gain. Чтобы подобрать оптимальный FB gain, используйте кнопку **adjust fb** на контрольной панели. Новое значение появится в поле ввода **gain** в окне сканирования.

На этом процедура ручной настройки завершена и можно приступать к сканированию поверхности образца.

### Сканирование

Рассмотрим процесс сканирования углеродных нанотрубок закрепленных на слюде. После того как выполнены подготовительные операции, произведен подвод зонда к образцу, выбрана рабочая точка, установлены параметры сканирования, можно начинать сканирование поверхности образца.

Для запуска сканирования щелкните на кнопке Run, расположенной на панели управления вкладки Scan.

В результате щелчка на кнопке Run начнется построчное сканирование поверхности образца и в области отображения 2D-данных сканирования, строчка за строчкой, начнет появляться изображение сканируемой поверхности.

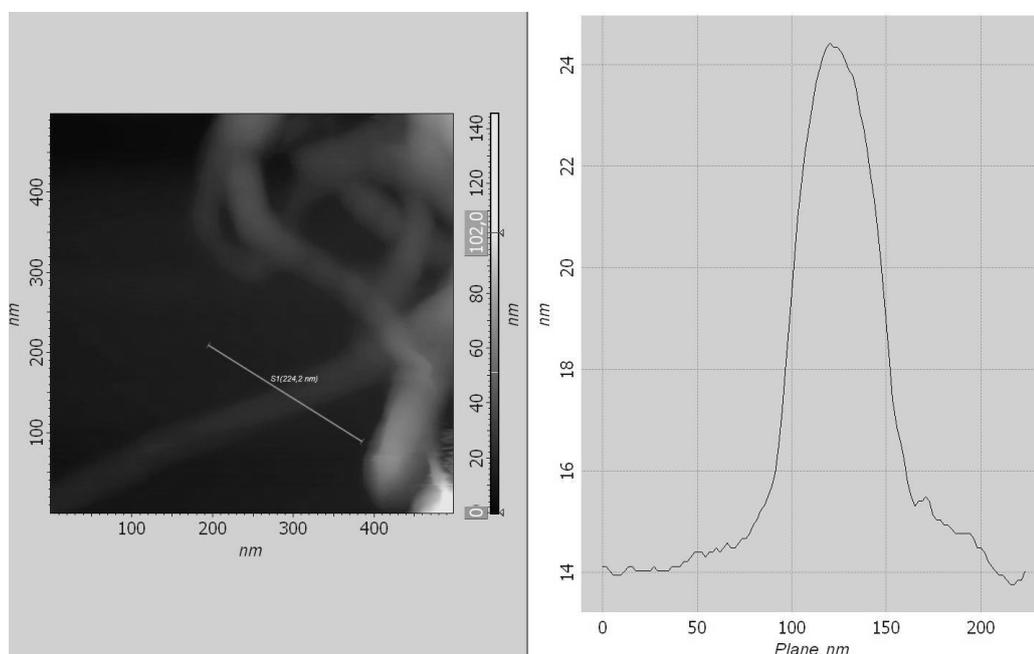


Рис. 14. Изображение углеродной нанотрубки и её профилограмма

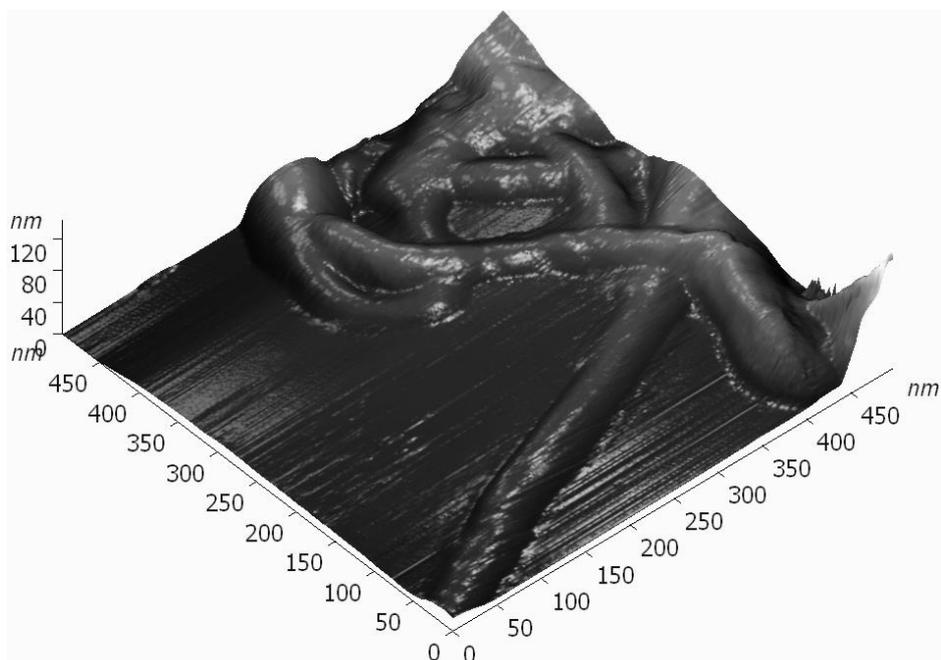


Рис. 15. 3D изображение углеродной нанотрубки

### 9. Оценка радиуса закругления острия зонда по изображению углеродных нанотрубок

Зная диаметр нанотрубки  $d$ , и измерив ширину полученного изображения  $w$ , можно вычислить эффективный радиус закругления острия кантилевера АСМ (см. рис. 16б). При этом используем приближение, в котором считаем, что нанотрубка не претерпевает значительных деформаций, и высота нанотрубки равна ее диаметру. Так, радиальное сжатие однослойных нанотрубок по отношению к свободной недеформированной трубке не превышает 10% для трубок диаметром около 3 нм и незначительно для трубок меньшего диаметра [10].

Измерение ширины изображения нанотрубки лучше проводить на ее полувысоте, так как изображение границы перехода нанотрубка - подложка не всегда может быть точно определена. Тогда эффективный радиус острия иглы АСМ вычисляется по следующей формуле (см. рис. 16):

$$R = 0.25 d^{-1} \cdot (w^2 - d^2),$$

где  $R$  – эффективный радиус острия иглы сканирующего зондового микроскопа;  $d$  - диаметр нанотрубки;  $w$  - ширина изображения нанотрубки, измеренная на полувысоте.

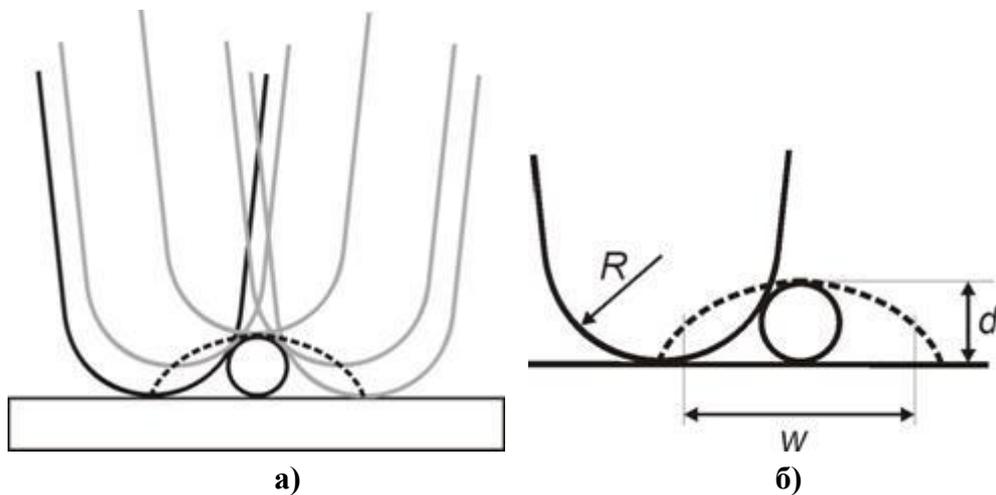


Рис. 16. а) траектория движения иглы сканирующего зондового микроскопа при сканировании нанотрубки, лежащей на основании; б) вид сечения изображения нанотрубки в сканирующем зондовом микроскопе

Оформите отчет и сделайте вывод по работе

### Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы № 3

1. Углеродные нанотрубки как новая аллотропная форма углерода. Расскажите об основных свойствах углеродных нанотрубок.
2. Расскажите из каких систем и блоков состоит зондовая нанолaborатория SmartSPM.
3. Назовите особенности работы прибора в полуконтактном режиме.

### Лабораторная работа №4 по теме «Приемы работы на РЭМ JEOL JSM 6610lv высоковакуумных режимах»

#### Задания:

I. Изучить техническое описание и инструкцию по эксплуатации просвечивающего электронного микроскопа JEM-6610LV.

II. Изучить основные элементы управляющей программы “SEM Main Menu”.(Рис. 8).

#### III. Подготовка к работе

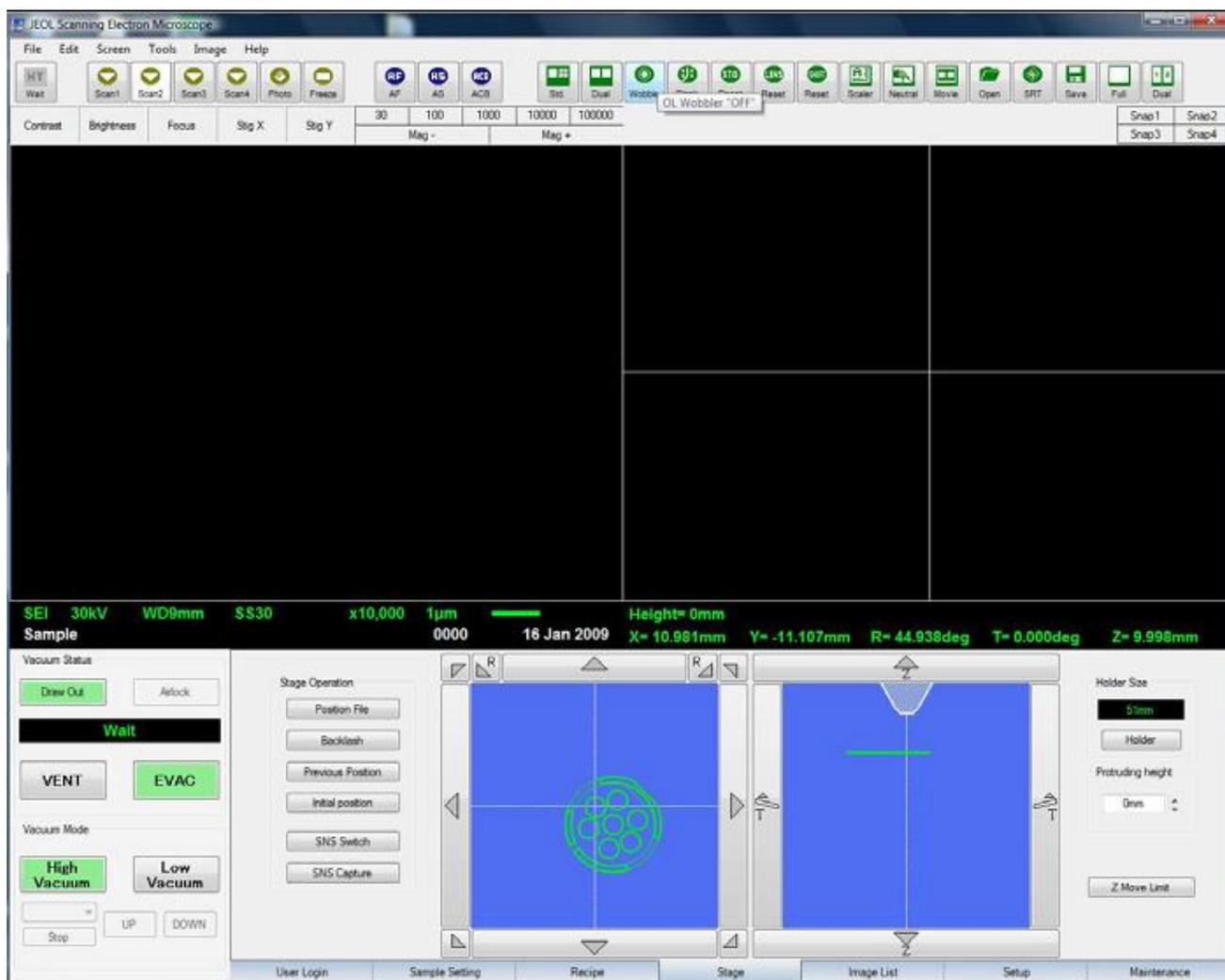


Рис. 8 окно управления программы “SEM Main Menu”

### **1. Включение микроскопа.**

Включите питание на блоке питания.  
Поверните ключ на «Start» (Рис. 9).  
Подождите 10 секунд и включите компьютер.  
Запустите программу “SEM Main Menu”.

*(Для приборов, оснащенных диффузионным насосом, в течении 20 минут микроскоп будет готов к работе.*

*Для приборов, оснащенных турбомолекулярным насосом, в течении 2-3 минут микроскоп будет готов к работе.)*

### **2. Выключение микроскопа**

Закройте программу “SEM Main Menu”.  
(Нажмите “Exit” -> “OK”)  
Выключите компьютер.  
Поверните ключ на “OFF”.  
Выключите питание на щитке.



Рис. 9 Панель включения JEM-6610LV

### **IV. Загрузка в камеру образцов**

Подготовьте образец и закрепите на держателе с помощью углеродного скотча.  
Напустите воздух в камеру образцов. (Кнопка VENT на лицевой панели колонны или в меню замены образцов. Рис. 8, 9)  
Откройте дверцу.  
Установите держатель с образцом в столик.  
Проверьте чистоту резинового уплотнения.  
Закройте дверцу.  
Откачайте камеру. (Кнопка EVAC на лицевой панели колонны)

Убедитесь, что вакуумная система микроскопа функционирует нормально.

## **V. Выгрузка из камеры образцов**

Напустите воздух в камеру образцов. (Кнопка VENT на лицевой панели колонны или в меню замены образцов.)

Откройте дверцу.

Достаньте держатель из столика.

Проверьте чистоту резинового уплотнения.

Закройте дверцу.

Откачайте камеру. (Кнопка EVAC на лицевой панели колонны)

## **VI. Получение изображения высоковакуумном режиме.**

В высоковакуумном режиме ( $10^{-5} - 10^{-7}$  Па) на сцинтилляционный экран детектора вторичных электронов подаётся высокий положительный потенциал (порядка 12 кВ) относительно сетки Фарадея, что позволяет ускоренным электронам, собранным детекторам с образца вызвать сцинтилляции на экране, кванты излучения которых вызывают явление фотоэффекта, фотоэлектроны от которого попадают в фотоэлектронный умножитель (ФЭУ), который в несколько десятков тысяч раз увеличивает сигнал.

**1. Включить катод** (из управляющей программы на компьютере). **Выбрать поле зрения. Выбрать режим работы.**

Под режимом работы мы понимаем ускоряющее напряжение, спотсайз, рабочее расстояние и тип сигнала.

### **2. Настройка диафрагмы.**

Позиция диафрагмы объективной линзы настраивается с использованием функции «wobler».

Настройка осуществляется при увеличении  $\times 10000 - \times 20000$

Настройка контраста – яркости.

### **3. Настройка контраста – яркости.**

Автоматически настроить контраст и яркость позволяет функция ACB (кнопка в ряду иконок).

Настроить контраст и яркость вручную можно используя ручки Contrast и Brightness или мышкой, кликая на соответствующие поля окна (Рис. 10).

### **4. Настройка фокуса-астигматизма.**

Настроить фокус можно автоматически при помощи функции AF (кнопка на панели) или вручную ручкой на панели управления. Или кликая на соответствующем поле окна программы.

При нажатой кнопке Coarse (кнопка горит) – грубая настройка. При отжатой (не горит) – точная.

## VII. Юстировка системы освещения производится оператором.

1. В режиме LOWMAG выбрать на образце прозрачный участок и переместить его



Рис. 10 Панель управления.

в центр экрана.

2. Перейти в режим MAG1 или MAG2 и выбрать увеличение  $\times 20000$ . Ручкой BRIGHTNESS на левой панели уменьшить яркость электронного луча до минимума и ручками SHIFT передвинуть луч в центр экрана. Расфокусировать луч.

3. Включить IMAGE WOBV X(Y) и отрегулировать положение образца вдоль оптической оси микроскопа.

4. Ввести диафрагму в систему конденсорных линз микроскопа. Проверить положение диафрагмы, изменяя яркость электронного луча (BRIGHTNESS), при необходимости отцентрировать диафрагму.

5. Включить COND STIG на левой панели и ручками DEF/STIG добиться изображения электронного луча на экране в виде правильного круга. Отъюстированный конденсор дает на экране концентричные круги при изменении яркости электронного луча.

6. Проверить наклон луча при изменении напряжения. Для чего поместить характерный участок образца в центр экрана. Включить HT WOBV на правой панели и BRIGHT FIELD на левой панели. Ручками DEF/STIG установить наклон луча так, чтобы при осцилляции напряжения (изменении размеров изображения), изображение объекта не перемещалось в плоскости экрана.

## VIII. Коррекция астигматизма объективной линзы.

1. Поместить подходящее отверстие (желательно круглой формы) в образце в центр экрана. Установить достаточную яркость луча и сфокусировать изображение ручками OBJ FOCUS на правой панели управления.

2. Включить OBJ STIG на левой панели управления. Слегка расфокусировать изображение, так чтобы по краю отверстия можно было наблюдать характерную светлую полосу.

3. Поворачивая ручки DEF/STIG, добиться одинаковой толщины светлой полосы по периметру отверстия.

## IX. Юстировка проекционных линз.

1. Вывести изображение объекта за пределы экрана и максимально уменьшить яркость луча (BRIGHTNESS).

2. Перейти в режим дифракции (включить SA DIFF на правой панели). Ручкой DIFF FOCUS на правой панели установить размер центрального максимума около 10 мм в диаметре.

3. Включить F5 на правой панели. Ручками DEF/STIG получить изображение 3-х лучевой звезды в центре центрального максимума.

4. Уменьшить размер центрального максимума. Включить PLA на левой панели и ручками DEF/STIG установить центральный максимум точно в центр экрана. Включить MAG1 или MAG2.

### **VIII. Получение изображения низковакуумном режиме.**

При зарядке образца, может использоваться низковакуумный режим (порядка 100 Па). В этом случае заряд с поверхности образца может уноситься ионизацией молекул газовой среды в камере, возникающей при их столкновении с поверхностью образца. При этом кванты излучения, возбуждённых от истинно вторичных электронов молекул приповерхностного слоя газа, двигаясь через световод, вызывают сразу (минуя скинтилляционный экран) появление фотоэлектронов, с дальнейшим усилением в ФЭУ.

1. Для включения низковакуумного режима нажмите на кнопку "Low Vacuum" на панели программы "SEM Main Menu" (Рис. 11).

2. Настройте оптимальное качество изображения, используя навык, полученный в п.п. III–VII.

3. Убедитесь в меньшей зарядке образца.

4. Попробуйте добиться максимального увеличения с сохранением качества изображения поверхности.

5. Сравните изображения полученные в высоко и низковакуумном режимах.

6. Сделайте вывод об использовании этих режимов в исследовании различных по проводимости образцов.



Рис. 11 Включение режима Low Vacuum

### **Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы № 4**

1. Из каких основных элементов состоит растровый электронный микроскоп?
2. Что представляют собой магнитные линзы микроскопа?
3. Как работает вакуумная система микроскопа?
4. На что следует обратить внимание при подготовке прибора к работе.
5. Перечислите последовательность операций по юстировке микроскопа.
6. Где расположены основные элементы управления микроскопом?
7. Как влияет величина применяемого ускоряющего напряжения на разрешающую способность электронного микроскопа?

### **Лабораторная работа №5 по теме «Приемы работы на РЭМ JEOL JSM 6610lv низковакуумных режимах»**

#### **Задания:**

1. Получите у преподавателя и установите в камеру электронного микроскопа диэлектрический образец и прочно закрепите его на держателе, подходящем для установки в ваш микроскоп.
2. Запустите микроскоп в режиме низкого вакуума при помощи соответствующих

клавиш управления на передней панели. Установите значение давления в интервале 30 – 50 Па. Включите ускоряющее напряжение. Отъюстируйте электронно - оптическую систему микроскопа. Добейтесь наиболее резкого и сфокусированного изображения поверхности в режиме обратно рассеянных электронов (детектор вторичных электронов не доступен во избежание пробоя в газонаполненной камере).

3. Получите и сохраните изображения образца при различных значениях ускоряющего напряжения.

4. Извлеките образец из камеры микроскопа и под контролем преподавателя нанесите на него проводящее покрытие толщиной несколько нм, методом вакуумного напыления. Для этого выберите значение тока 30 мА, время – 30 секунд. Установите образец в микроскоп. Включите режим высокого вакуума. Сфокусируйтесь на поверхности образца. Получите и сохраните изображение поверхности образца.

### **Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы № 5**

1. Опишите принцип работы растрового электронного микроскопа в режиме низкого вакуума
2. Как происходит напыление на поверхность диэлектрического образца
3. Перечислите последовательность операций по юстировке микроскопа.
4. Где расположены основные элементы управления микроскопом?

### **Лабораторная работа №6 по теме «Замена катода, чистка электрода Венельта, настройка электронной пушки РЭМ JEOL JSM-6610LV» (Практическая подготовка 4 часа)**

#### **Задания:**

1. Ознакомьтесь с руководством по эксплуатации РЭМ JEOL JSM-6610LV, с устройством катода и последовательностью действий по его замене и регулировке, а также с правилами техники безопасности.

2. Подготовить материалы и принадлежности для смены и чистки катодного узла (ключи, жидкости и пр.).

**ВНИМАНИЕ!** Работы по замене катода производить в бестальковых перчатках!

3. Включить электронный микроскоп и нажать кнопку «VENT» в программе SEM Main Menu для запуска воздуха в систему.

4. Снять пластиковый чехол с верхней части электронной колонны и откинуть катодный узел (см. рис. 8).



### Рис. 8. Верхняя часть электронной колонны

5. Извлечь катод с электродом Венельта с посадочного места, запомнив положение (см. рис. 9).



Рис. 9. Посадочное место катода

6. Выкрутить три крепежных винта катода при помощи шестигранника и один ориентационный винт отверткой (см. рис. 10).

### Рис. 10. Демонтаж катода

7. Извлечь катод из корпуса электрода Венельта (см. рис. 11).





**Рис. 11. Катод и корпуса электрода Венельта в разборе**

8. При помощи абразивной пасты (с размером частиц менее 1 мкм) и ватной палочки почистить отверстия электрода Венельта.
9. Почистить электрод Венельта бензином (см. рис. 12).



**Рис. 12. Чистка электрода Венельта**

10. Проконтролировать качество очистки электрода Венельта с помощью оптического микроскопа (см. рис. 13).



**Рис. 13. Визуальный контроль качества очистки электрода Венельта**

11. Почистить электрод Венельта изопропиловым спиртом.
12. Почистить электрод Венельта гексаном.
13. Повторить пункт 10.
14. Достать новый катод (см. рис. 14).



**Рис. 14. Новый катод**

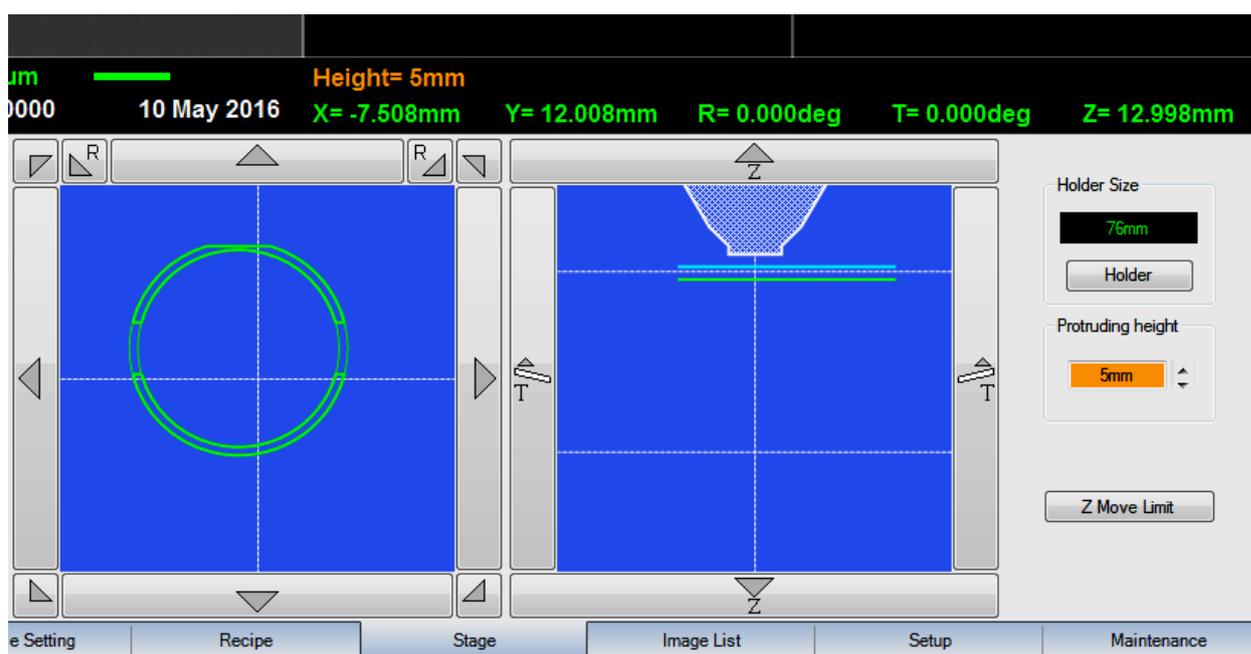
15. Надеть на катод спейсер.
16. Аккуратно установить катод в корпус электрода Венельта согласно ориентационному винту.
17. Закрутить ориентационный винт.
18. Равномерно подкрутить три крепежных винта.
19. Проконтролировать при помощи регулировочных винтов центральное положение вершины вольфрамового волоска катода относительно центра отверстия электрода Венельта.
20. Установить катод в катодный узел; опустить катодный узел на корпус электронной колонны (см. рис. 15).



**Рис. 15. Установка катода в катодный узел**

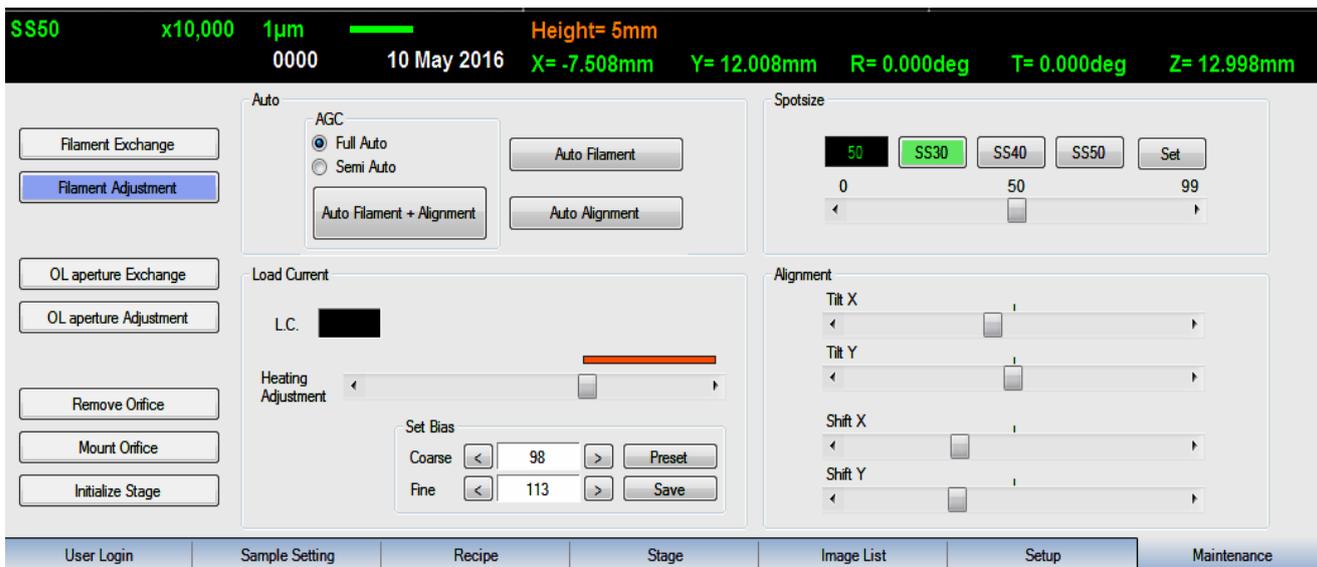
### Регулировка катодной пушки

1. Включить микроскоп.
2. Расположить образец на столике и откачать воздух «High Vacuum» до получения команды Ready.
3. При помощи вкладки «Stage» нужно выбрать соответствующий столик кнопкой Holder и возвышение образца над верхней частью столика «Protruding height».(см.рис. 16)



**Рис. 16. Установка возвышения образца над столиком**

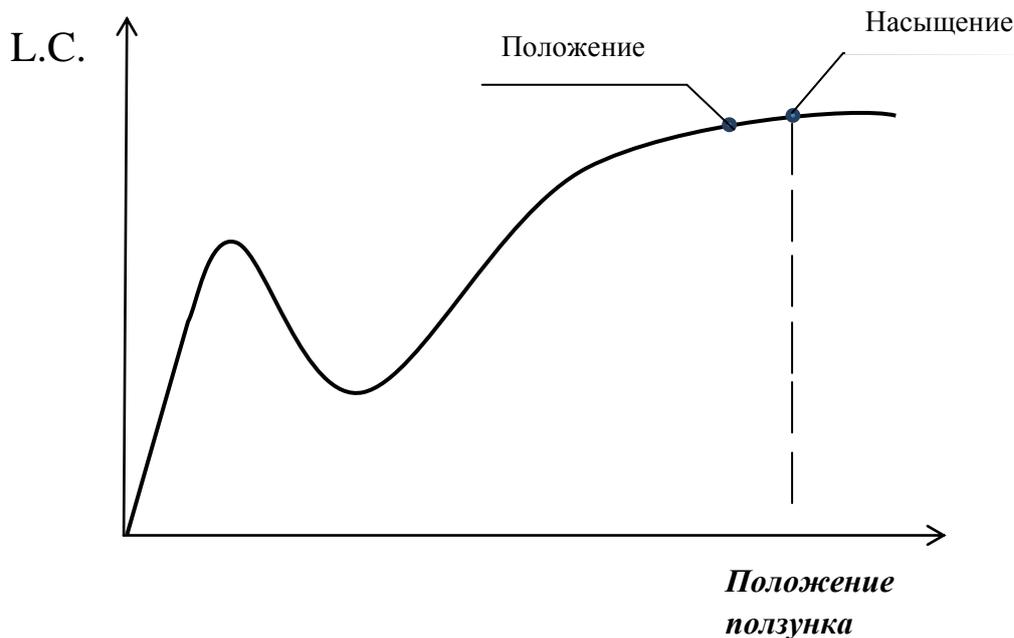
4. На проекции столика «сверху» выбрать точку наблюдения и отрегулировать высоту столика, чтобы она была примерно 10 мм до верхней части образца.
5. Вкладка «Maintenance» в пункте Spotsize регулирует ток в конденсорной линзе и, соответственно, размер точки на образце. Чем выше ток в конденсорной линзе, тем меньше размер точки и меньше ток в пучке. Первоначально устанавливаем Spotsize примерно 30. (см. рис. 17)



**Рис. 17. Регулировка тока в конденсорной линзе**

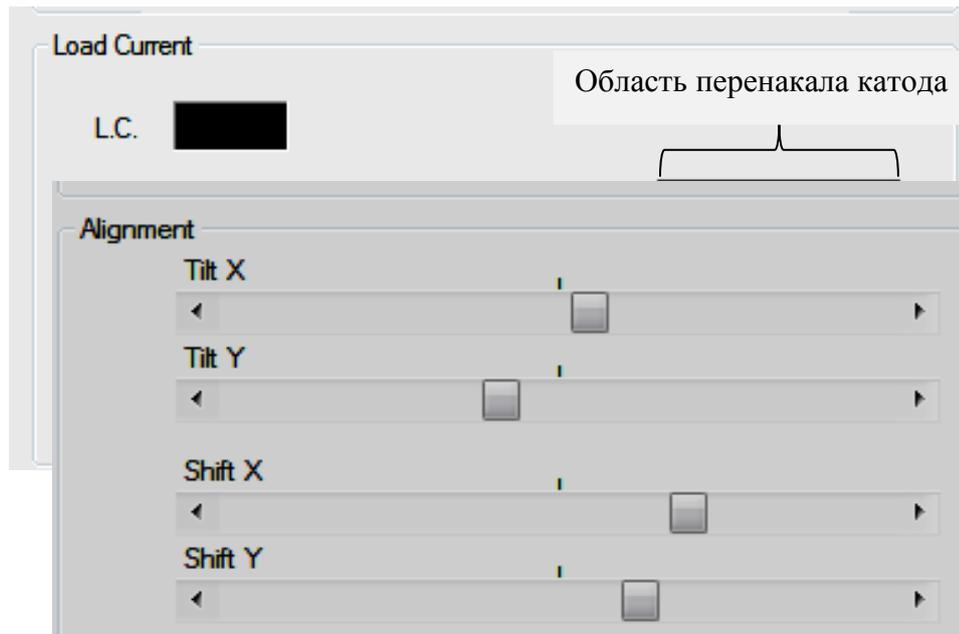
6. В пункте «Load current» производится настройка накала катода «Heighting Adjustment», а также в пункте «Set Bias» устанавливается напряжение смещение на электроде Венельта и, соответственно, регулировка электронного тока в кроссовере. После определения оптимальных значений необходимо их сохранить. Значение тока в кроссовере показывается в окошке «LC».

*Примечание:* если катод новый, то ползунок устанавливается в положении



«полнакала» в рекомендуемой области (оранжевая область – область перенакала катода см. рис.18).

Рис. 18. Область перенакала катода



7. В пункте «Adjustment» регулируется наклон электронного пучка относительно оси колонны (диафрагмы) по осям X и Y («Title X» и «Title Y») и смещение по осям X и Y («Shift X» и «Shift Y») (рис.19)

Рис. 19. Регулировка наклона электронного пучка

8. Включите электронную пушку («NT»). Ток устанавливается 80 мкА.

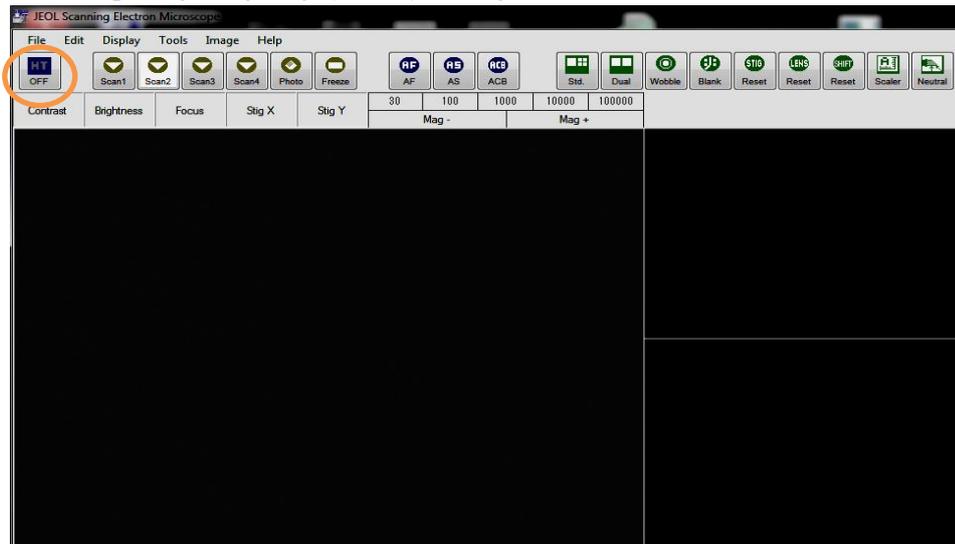


Рис. 20. Включить электронную пушку

**Примечание:** если катод новый, то в течении 5-10 мин прогреть катод в «полнакала» при токе в кроссовере порядка 35мкА.

9. При помощи автоматической подстройки яркости АСВ на джойстике электронного микроскопа и ручной настройки «Контраст» и «Яркость» настроить изображение.

10. Получить изображение исследуемого объекта, используя «Focus» и «Magnification» при увеличении примерно в 2000 раз. При помощи «Stigma» и кнопки «Авто» убрать астигматизм.

11. Отрегулировать ползунками в пункте «Adjustment» положение пучка относительно диафрагмы по максимальной яркости (при сильной яркости использовать подстройку АСВ).

12. Повторить пункт 11 при значении «Spotsize» 40 мкА и 50 мкА.
13. При наблюдении образцов с увеличением более 10 настройку положения электронного пучка относительно центра диафрагмы производится смещением самой диафрагмы в режиме «Wobble». При этом происходит автоматически недофокусировка и перефокусировка при помощи ручек на электронной колонне. При их помощи происходит устранение качаний изображения по оси X и Y. (см. рис. 21)

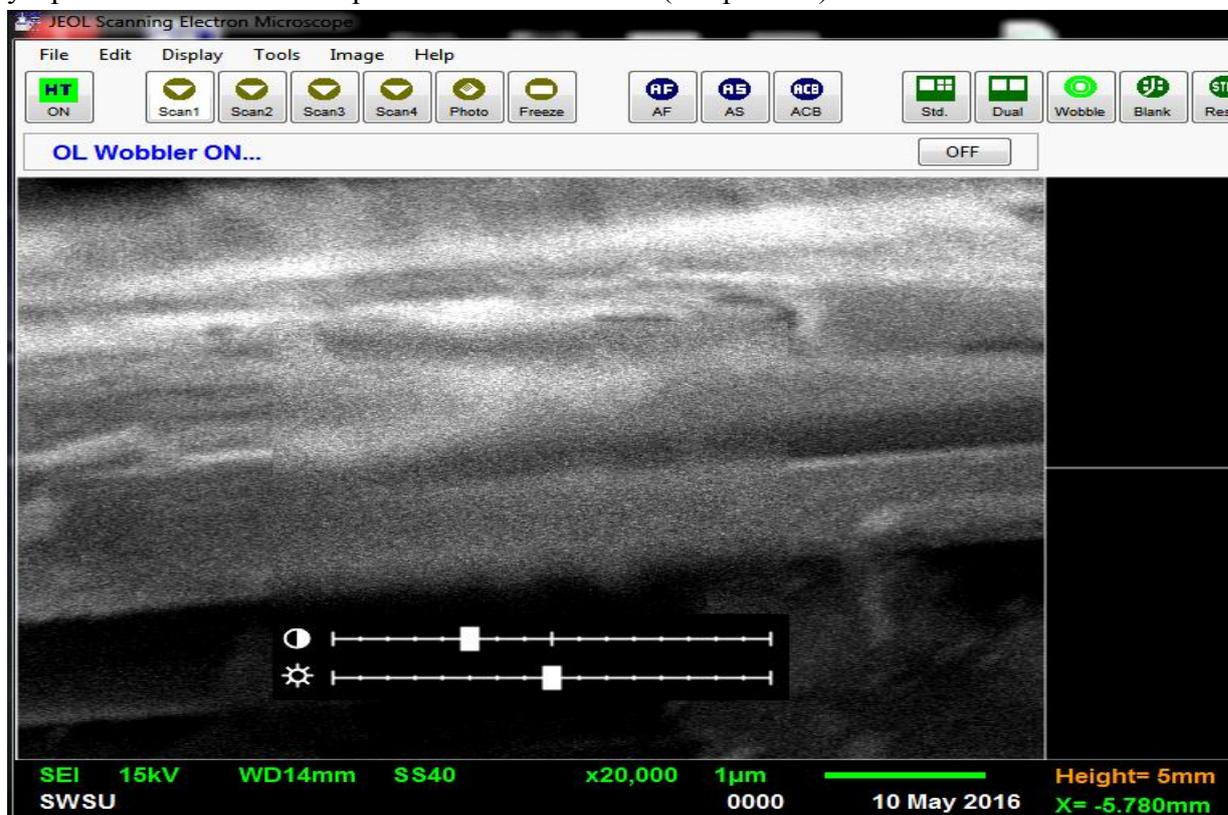


Рис. 21. Настройка изображения

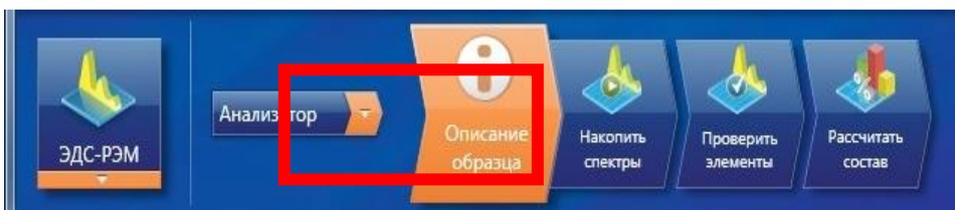
### Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы № 6

1. Что такое спейсер?
2. Каков размер частиц у абразивной пасты для чистки электрода Венельта?
3. Почему при использовании нового катода необходимо устанавливать накал катода на половину от допустимого значения накала?
4. Что такое астигматизм?
5. Как зависит размер точки от тока в конденсорной линзе?
6. Перечислите основные регулировки катода после его чистки.

### Лабораторная работа №7 по теме «Использование рентгеновского микроанализа для определения элементного состава электродов аккумуляторных батарей» (Практическая подготовка 4 часа)

#### Задания:

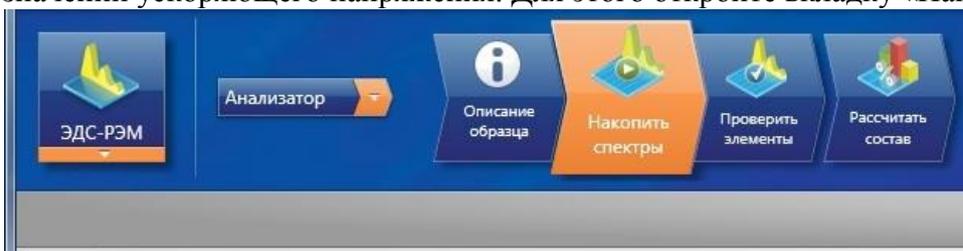
1. Получите у преподавателя и установите в камеру электронного микроскопа образец для анализа.
2. Запустите управляющую программу микроскопа “SEM Main Menu” Включите ускоряющее напряжение. Отъюстируйте электронно-оптическую систему микроскопа. Добейтесь наиболее резкого и сфокусированного изображения поверхности (см. лабораторную работу №1).
3. Запустите управляющую программу ЭДС “AZtec”.



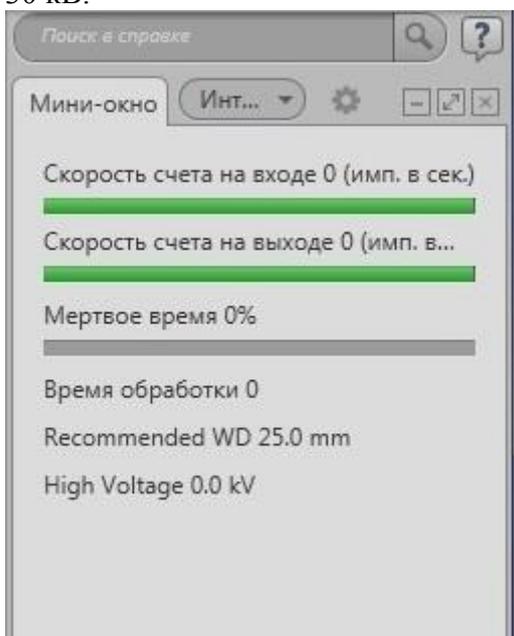
Для работы с микроскопом имеется несколько режимов:

- Анализатор;
- Точки и фигуры;
- Профиль;
- Карта;
- Оптимизация.

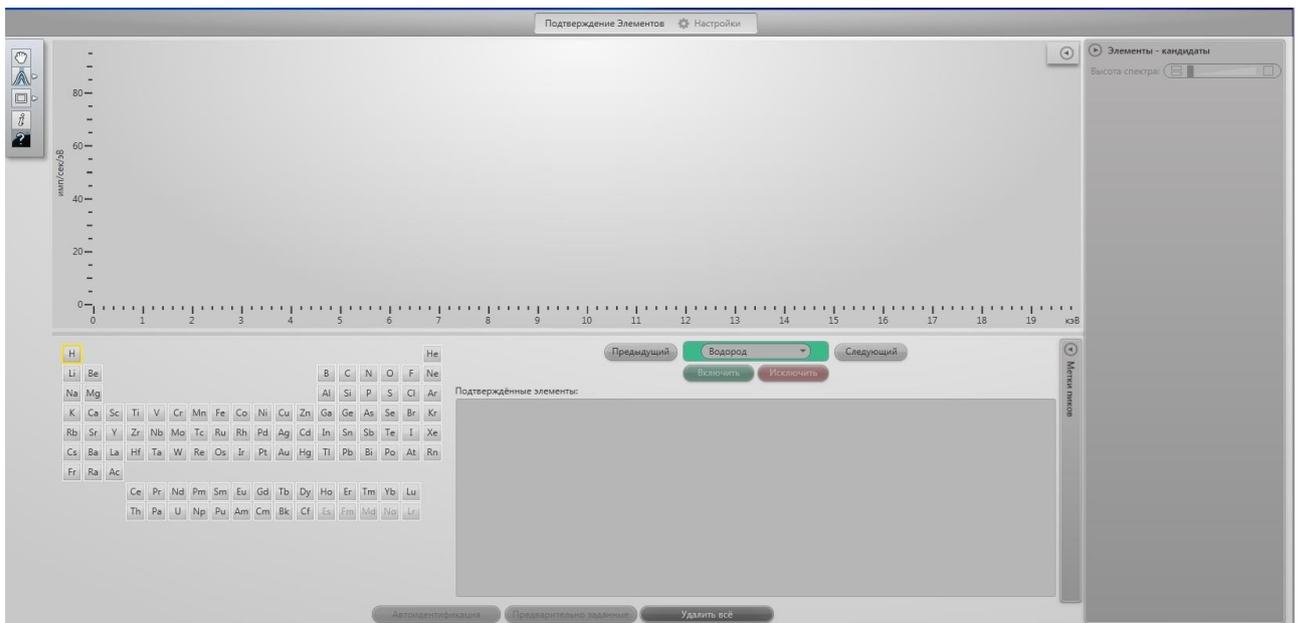
Запишите спектр рентгеновского излучения, испускаемого образцом для нескольких значений ускоряющего напряжения. Для этого откройте вкладку «Накопить спектры».



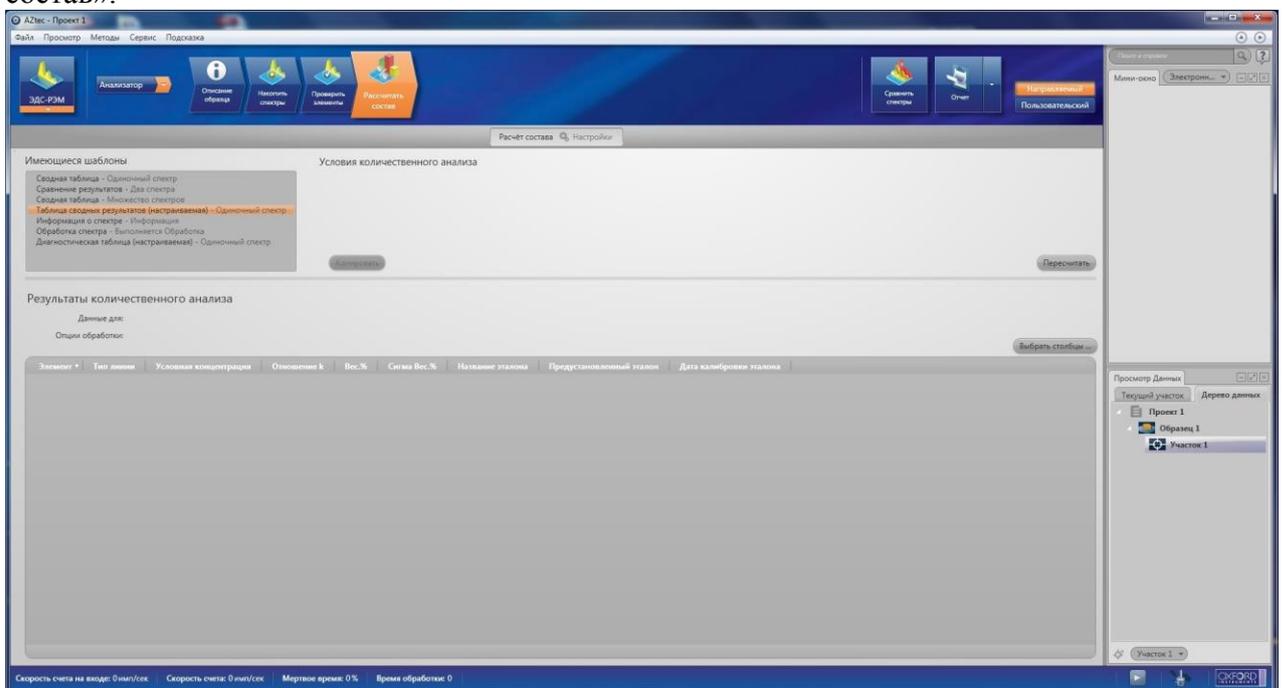
4. Получите спектр рентгеновского излучения для нескольких значений тока пучка «SpotSize», определяя величину «мертвого времени» для каждого спектра не менее 20% и не более 40%, повторите измерения для трех значений ускоряющего напряжения: 5; 10 и 30 кВ.



5. Выберите оптимальный спектр характеристического рентгеновского излучения образца и по положению максимумов линий характеристического излучения определите элементный состав образца. Для этого откройте вкладку «Проверить элементы». Здесь можно уточнить элементы, которые нужно исследовать.



Для отображения результатов количественного состава перейдите во вкладку «Рассчитать состав».



6. Выберите режим «Точки и фигуры». Соберите спектр с разных точек поверхности образца. Сравните получившиеся результаты.
7. Повторите действия в разделе «Профили».
8. Сделайте картирование поверхности в различных контрастах. Для этого выберите режим «Карта».
9. Сохраните отчет работы в папку по умолчанию.

Примеры области на образце, выбранной для получения ЭДС спектра, спектра образца и автоматического отчёта об элементном анализе

Электронное изображение 16

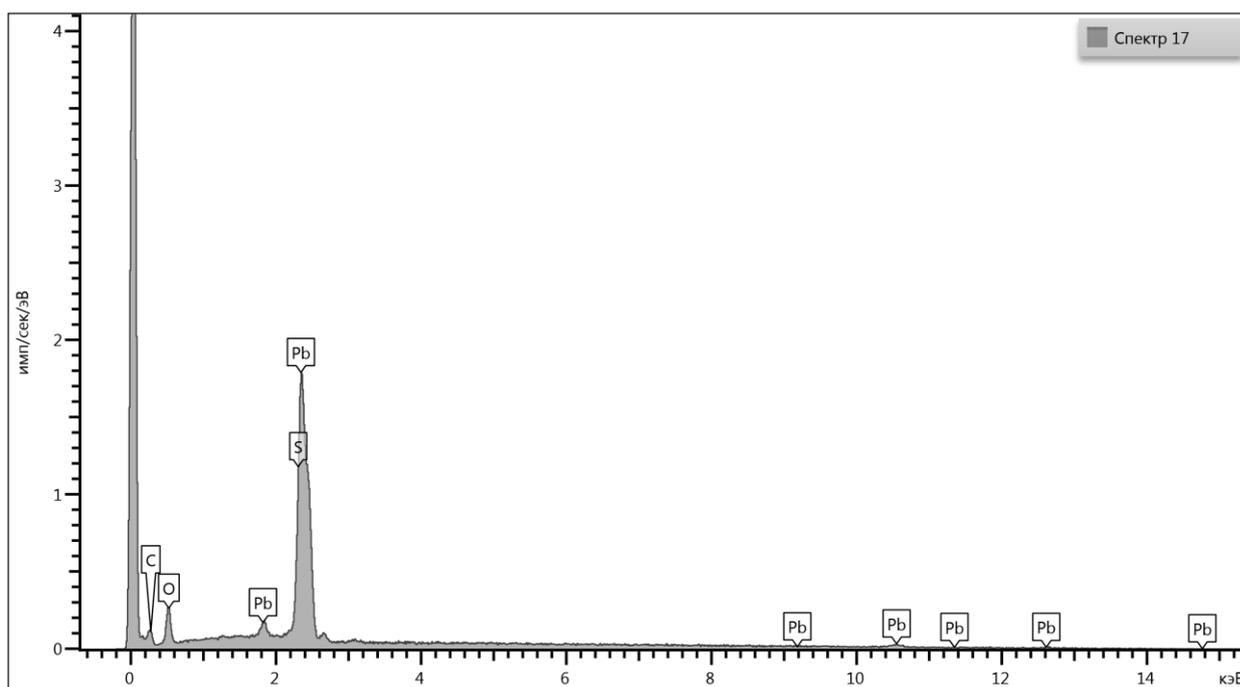
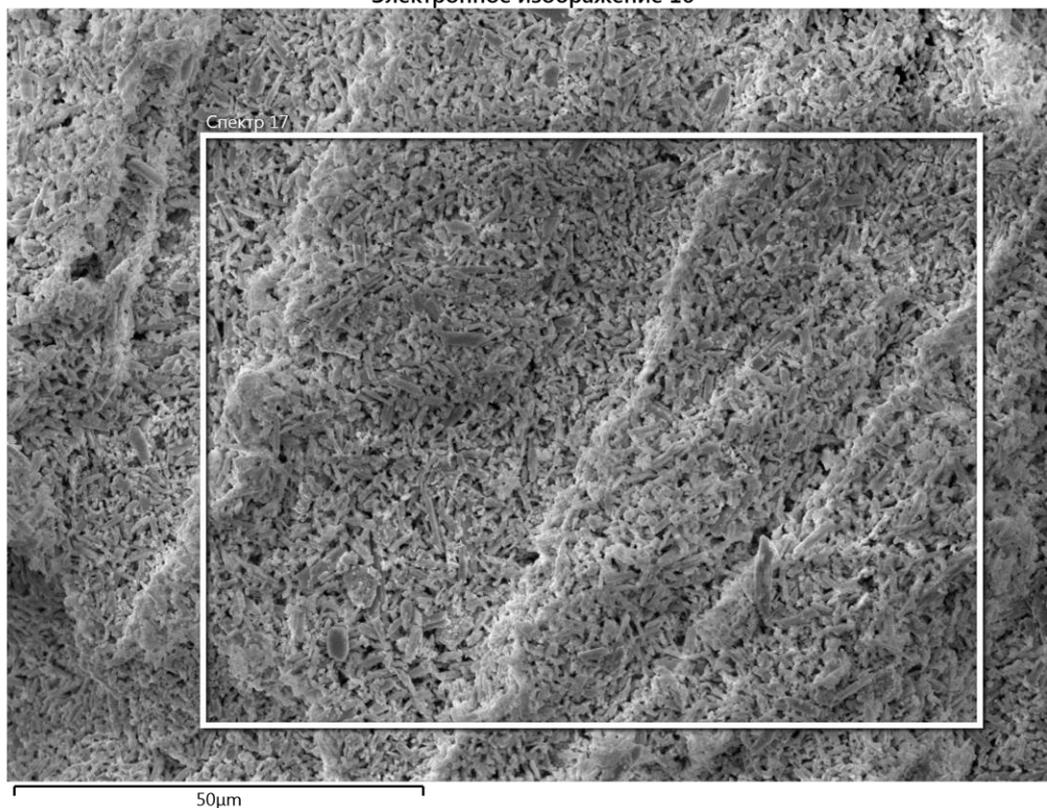


Таблица 5.

| Элемент | Тип линии | Вес. % | Сигма Вес. % | Название эталона |
|---------|-----------|--------|--------------|------------------|
| O       | К серия   | 10.08  | 0.37         | SiO <sub>2</sub> |
| S       | К серия   | 2.66   | 0.29         | FeS <sub>2</sub> |
| Pb      | М серия   | 87.26  | 0.45         | PbTe             |

|        |  |        |  |  |
|--------|--|--------|--|--|
| Сумма: |  | 100.00 |  |  |
|--------|--|--------|--|--|

### **Задание**

1. Рассчитать элементный состав отверждённой пасты в массовых и атомных процентах, используя данные таблицы 2. Результат сверить с таблицей 3.
2. Получить ЭДС-спектр отверждённой электродной пасты положительного электрода.
3. Сравнить полученные экспериментально массовые проценты с рассчитанными.
4. Получить ЭДС-спектр материала токоотвода, массовые проценты элементов.
5. На основании сравнения полученных данных с данными таблиц 3 и 4 определить тип сплава, из которого изготовлен токоотвод.
6. Сделать выводы о соответствии табличных данных по составу паст электродов и токоотводов с полученными на основе ЭДС-анализа.

### **Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы № 7**

1. Схема регистрации рентгеновского излучения в СЭМ
2. Спектр рентгеновского излучения
3. Зависимость интенсивности всех характеристических линий от энергии электронов, возбуждающего пучка
4. Зависимость «мертвого времени» и соотношения сигнал/шум от параметров электронного пучка
5. Интерпретация всех наблюдаемых в спектре линий и элементный состав образца

### **Лабораторная работа №8 по теме «Основы работы с рентгеновским дифрактометром ЕММА (GBC Scientific Equipment)»**

I. Изучить техническое описание и инструкцию по эксплуатации порошкового рентгеновского дифрактометра eMMA

II. Изучить основные элементы управляющей программы **Visual XRD eMMA**

#### **Подготовка к работе**

##### **1. Включение дифрактометра**

1.1 Включить питание дифрактометра, выключателем расположенным на задней стенке.

1.2 Включить чиллер, необходимый для охлаждения рентгеновской трубки.

1.3 Включить питание генератора переключателем **Control Power On** («Управляющее напряжение включено»).

1.4 Нажать и удерживать переключатель **X-ray On** («Рентгеновский луч включен»), убедившись в том, что все виды рабочего напряжения настроены на безопасные пределы.

#### **Номинальные значения:**

|                                   |                      |
|-----------------------------------|----------------------|
| <b>Миллиамперметр трубки</b>      | <b>10 мА</b>         |
| <b>Киловольтметр трубки</b>       | <b>20 кВ</b>         |
| <b>Питание</b>                    | <b>макс. 2.0 кВт</b> |
| <b>Сила тока нити накаливания</b> | <b>макс. 4.0 А</b>   |

1.5 Включить переключатель **X-ray On** («Рентгеновский луч включен») и дождаться, когда генератор достигнет предварительно заданных значений предыдущего шага.

1.6 Плавно увеличить ток и напряжение трубки до требуемых условий работы

##### **2. Выключение дифрактометра**

2.1. Плавно уменьшить напряжение на рентгеновской трубке и ток до 20.0кВ, и 10.0мА соответственно.

2.2 Нажать на переключатель **X-ray Off** («Рентгеновский луч выключен»).

2.3 Нажать на переключатель **Control Power On** («Управляющее напряжение включено»).

2.4 Отключить чиллер

2.5 Отключить питание дифрактометра

### 3. Подготовка образца и проведение анализа

3.1. Измельчить анализируемый образец в агатовой ступке



3.2. Насыпать порошок в кювету выше краев, излишки срезать при помощи покровного стекла, при этом важно не уплотнять порошок, т.к. это может вызвать преимущественную ориентацию кристаллов (текстурирование). На рисунке 9 показаны правильно (А) и неправильно (В) подготовленные пробы

3.3. Запустить программу **Visual XRD εMMA**

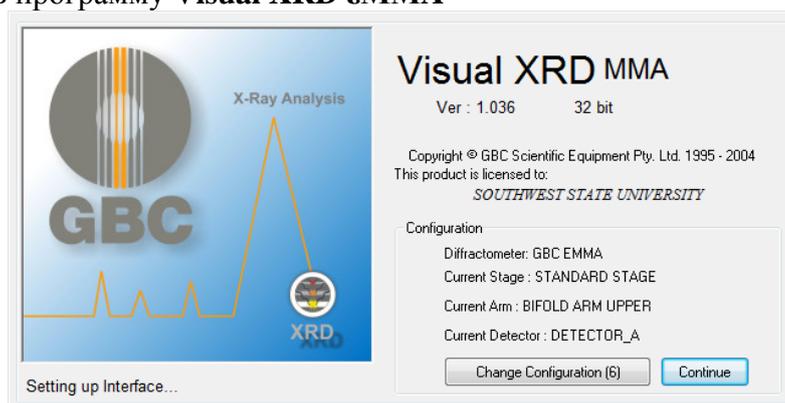


Рисунок 10 – Окно конфигурации аппаратной части дифрактометра.

Если для работы необходим стандартный детектор (Xe-газонаполненного детектора) (**DETECTOR\_A**) и стандартный держатель образцов (**STANDARD STAGE**), то, нажав на кнопку **Change Configuration**, задать необходимые параметры. После того, как произойдет инициализация аппаратной части дифрактометра, появится окно, представленное на рисунке 11.

3.4. Для получения рентгенограммы необходимо в полях **Start** и **End** ввести диапазон углов сканирования, в поле **Step size** задать величину шага, а в поле **Speed** задать скорость сканирования.

3.5. Задать имя файла в поле **Result Scan** и нажать кнопку **Start Scan**

#### 4 Идентификация твердой фазы

4.1. Включить дифрактометр и запустить программу «**Visual XRD εMMA**»

4.2. Поместить исследуемый образец в кювету.

4.3. Установить стандартный кремниевый образец из комплекта прибора в стандартный держатель (рис. 12).

4.4. Запустить сканирование в требуемом диапазоне углов. Если примерный фазовый состав изначально не ясен, то следует задать диапазон углов от 5 до 80 градусов.

4.5. После завершения сканирования запустить программу «**Crystallographica Search-match**».

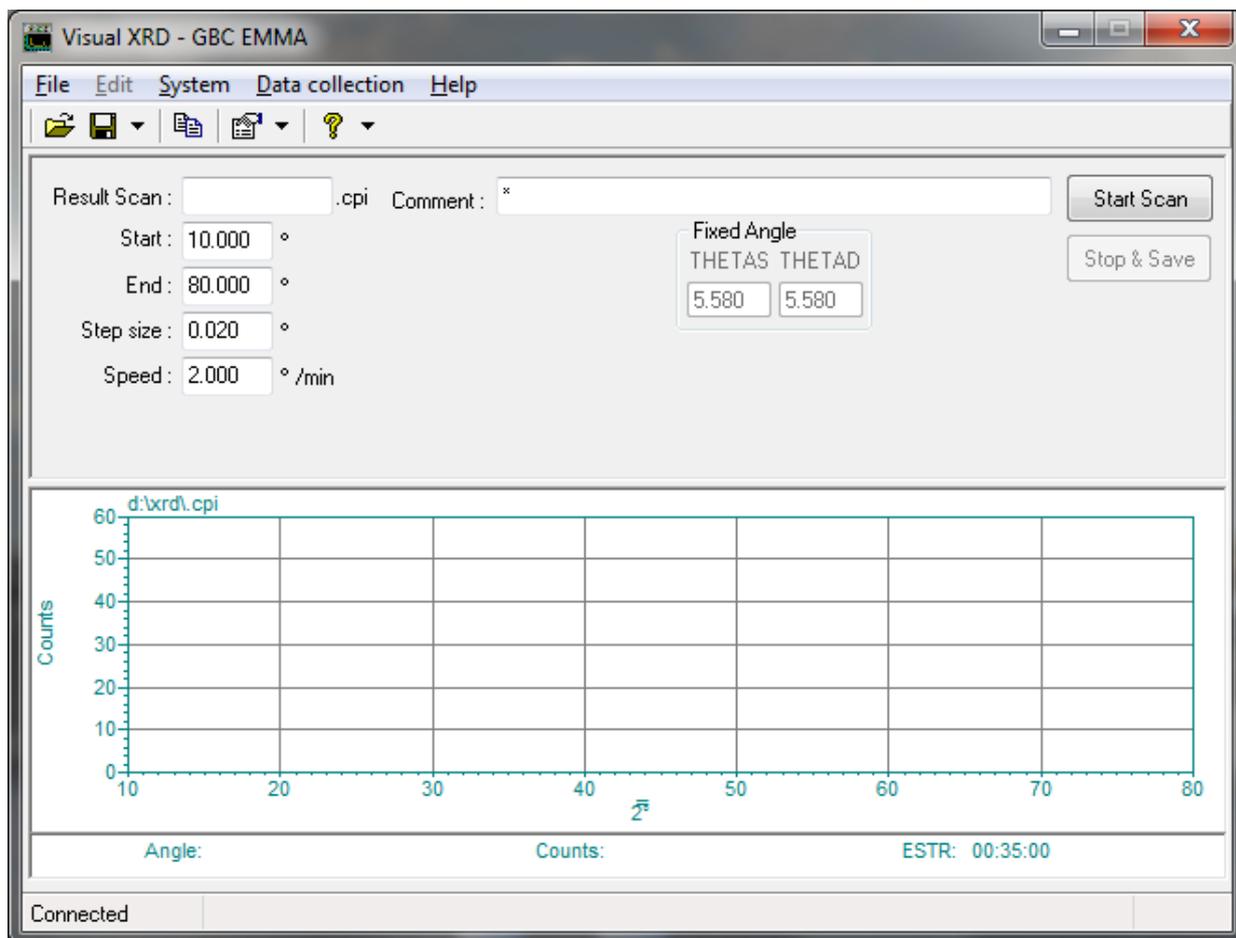


Рисунок 11 – Окно программы Visual XRD после инициализации дифрактометра

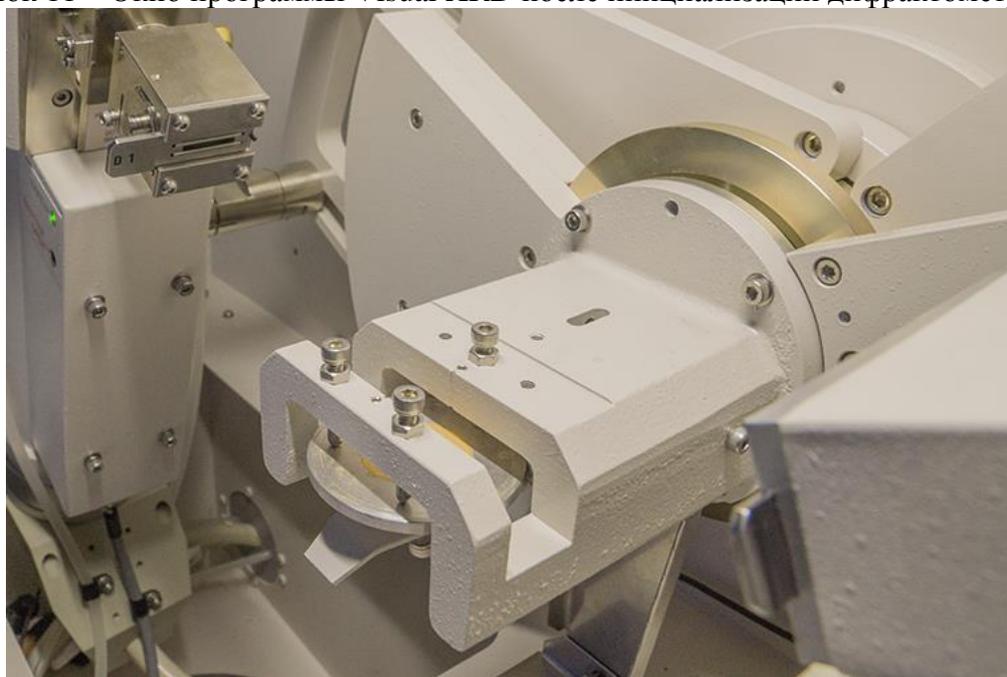


Рисунок 12 – Стандартный держатель образцов (Standart Stage)

4.6. Импортировать файл рентгенограммы. Для этого в меню «File» выбрать «Import  
 → Profile Data» и выбрать импортируемый файл.

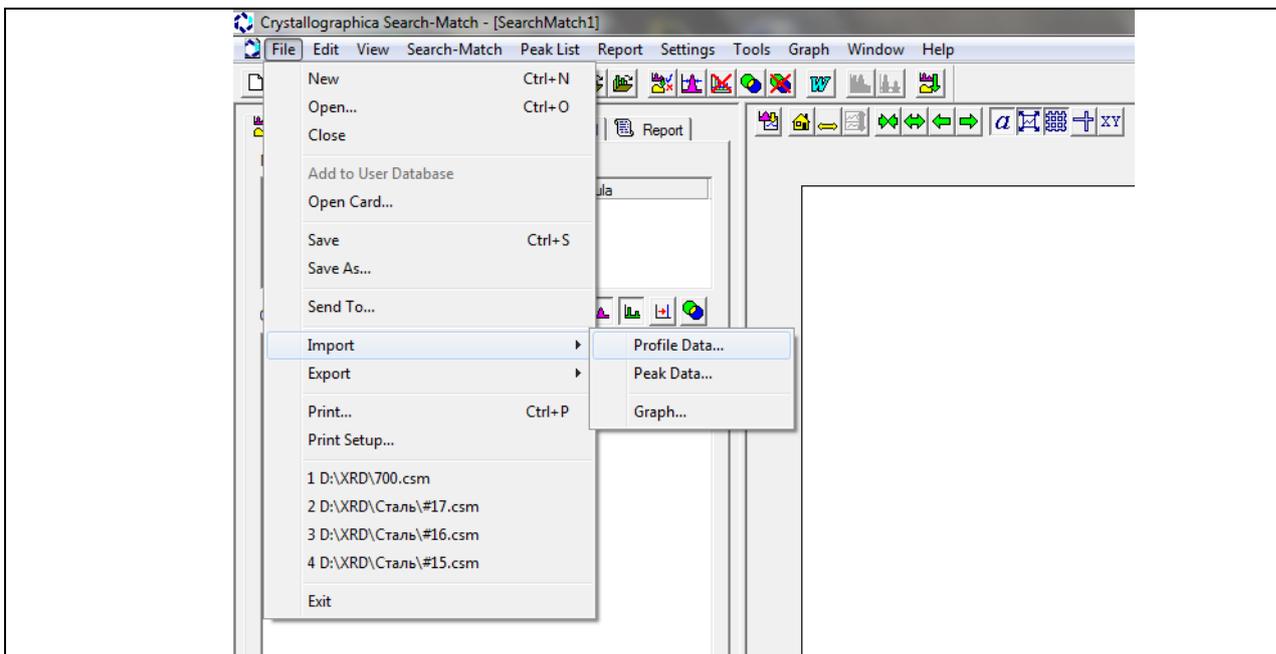


Рисунок 13 – Окно программы **Crystallographica Search-match**

4.7. Произвести последовательно вычитание фона (**Subtract Back-ground**), поиск пиков (**Peak Search**) и поиск соответствия по базе данных (**Search Match**), нажав соответствующие кнопки. 

4.8. Выбрать из результатов поиска вещества, имеющие наибольшее соответствие полученной рентгенограмме (учитывая данные элементного анализа).

4.9. Для формирования отчета воспользоваться кнопкой: 

4.10. Завершить работу с прибором и отключить его питание.

4.11. Выбрать из базы данных дифрактограмму для алмаза и сравнить ее с полученной дифрактограммой для кремниевого образца.

4.12. Сделать вывод о сходстве и различии дифрактограмм.

### **Контрольные вопросы для защиты лабораторной работы № 8**

1. Сформулируйте закон Вульфа- Брэгга для дифракции рентгеновских лучей на кристалле.
3. Приведите доказательство эквивалентности формулировок Вульфа- Брэгга и Лауэ для конструктивной интерференции рентгеновских лучей.
2. Сформулируйте определение брегговской плоскости.
3. Что является источником рентгеновского излучения? Расскажите об устройстве рентгеновской трубки. Из какого материала сделан ее анод (антикатод)?
4. Из чего состоит, и как работает рентгеновский дифрактометр?
5. Как с помощью рентгеновского дифрактометра провести фазовый анализ порошка?
6. Перечислите последовательность действий при подготовке дифрактометра к работе.
7. Какова длина волны рентгеновского излучения используемого в дифрактометре?
8. На что следует обратить внимание при подготовке пробы к анализу? Что такое текстурирование, и каким способом можно устранить текстуру? (Не уплотнять порошок при заполнении кюветы и использовать столик с приводов вращения)

### *1.3 ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ В ТЕСТОВОЙ ФОРМЕ*

#### Физические принципы работы АСМ

1.1. Потенциал Леннарда-Джонса включает в себя потенциалы сил:

А) упругого взаимодействия и капиллярной;  
В) адгезионной и Ван-дер-Ваальса;

Б) капиллярной и адгезионной;  
Г) упругого взаимодействия и Ван-дер-Ваальса.

1.2. Давление в пределах контакта зонда из кремния (модуль упругости  $E = 150 \text{ ГПа}$ ) с поверхностью образца при прочих равных параметрах наибольшее в случае, когда образец:

А) стекло ( $E = 0.65 \text{ ГПа}$ );

Б) вольфрам ( $E = 400 \text{ ГПа}$ );

В) Алмаз ( $E = 1000 \text{ ГПа}$ );

Г) медь ( $E = 120 \text{ ГПа}$ ).

1.3. Зависимость силы Ван-дер-Ваальса  $F$  между зондом и полубесконечной поверхностью образца от расстояния зонд-образец  $h$  подчиняется закону  $F \sim \frac{1}{h^2}$  в случае,

если форму зонда приближают:

А) параболоидом или сферой;

Б) конусом;

В) усеченным конусом;

Г) пирамидой.

1.4. Для описания адгезии твердых тел между поверхностью образца и зондом малого радиуса закругления и большой жесткости используют модель

А) Герца;

Б) DMT;

В) JKR;

Г) Маугиса.

1.5. Дисперсионное взаимодействие возникает между:

А) неполярными молекулами;

Б) полярной и неполярной молекулами;

В) полярными молекулами;

Г) молекулами любой полярности.

2.1. Колебания кантилевера при наличии сил трения являются периодическими в случае, когда коэффициент затухания  $\delta$

А) больше собственной частоты  $\omega_0$ ;

Б) меньше собственной частоты  $\omega_0$ ;

В) равен собственной частоте  $\omega_0$ ;

Г)  $\delta \rightarrow \infty$ .

2.2. В случае вынужденных колебаний кантилевера при наличии трения резонансная частота колебаний  $\Omega_R$ :

А) больше собственной частоты  $\omega_0$ ;

Б) меньше собственной частоты  $\omega_0$ ;

В) равна собственной частоте  $\omega_0$ ;

Г)  $\Omega_R \rightarrow \infty$ .

2.3. В случае вынужденных колебаний при наличии трения ширина резонансной кривой  $\Delta\Omega$  равна ( $\omega_0$  - собственная частота,  $Q$  - добротность):

А)  $\Delta\Omega = \omega_0/Q$ ;

Б)  $\Delta\Omega = Q/\omega_0$ ;

В)  $\Delta\Omega = \omega_0/Q^2$ ;

Г)  $\Delta\Omega = 0$ .

2.4. В случае малых колебаний кантилевера в силовом поле при  $F'_{ts} < 0$  фазо-частотная характеристика:

А) растягивается вдоль оси фазы;

Б) сжимается вдоль оси фазы;

В) сдвигается влево по оси частоты;

Г) сдвигается вправо по оси частоты.

2.5. В случае малых колебаний кантилевера в силовом поле при  $F'_{ts} < 0$  амплитуда



используется сигнал:

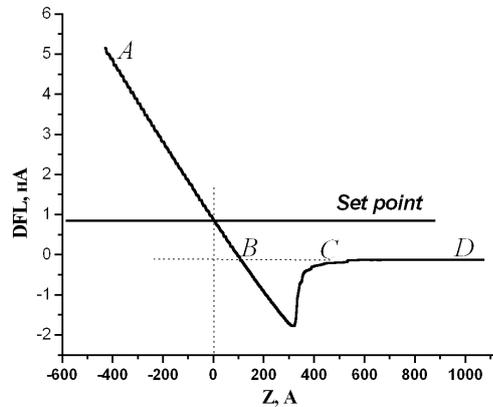
А) DFL;

Б) LF;

В) LASER;

Г) любой из вышеперечисленных.

4.4. На зависимости сигнала DFL от смещения кантилевера вдоль оси Z участок AB обусловлен:



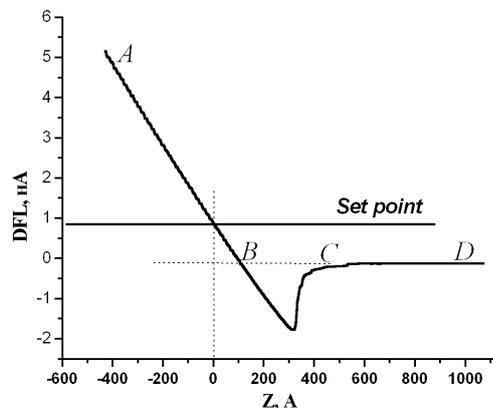
А) Положением равновесия кантилевера (внешние силы отсутствуют);

Б) действием капиллярных сил;

В) действием сил Ван-дер-Ваальса;

Г) действием упругих сил.

4.5. Абсолютное значение силы, с которой образец действует на зонд, определяется выражением ( $k$  – коэффициент жесткости кантилевера,  $\beta$  – коэффициент наклона прямой AB):



А)  $F = \frac{\beta}{k} DFL$ ;

Б)  $F = \frac{k}{\beta} DFL$ ;

В)  $F = k\beta DFL$ ;

Г)  $F = \frac{\beta}{k} DFL^2$ .

Измерение рельефа поверхности с использованием бесконтактного колебательного метода

5.1. Сигнал MAG это

А) сигнал, пропорциональный амплитуде колебаний сигнала DFL;

Б) сигнал, пропорциональный расстоянию зонд-поверхность;

В) сигнал, снимаемый с выхода синхронного детектора;

Г) сигнал, снимаемый с выхода оптической системы регистрации

отклонения кантилевера.

5.2. Возбуждение колебаний кантилевера в полуконтактном методе осуществляется с помощью:

- А) пьезосканера;
- В) пьезотрубки;

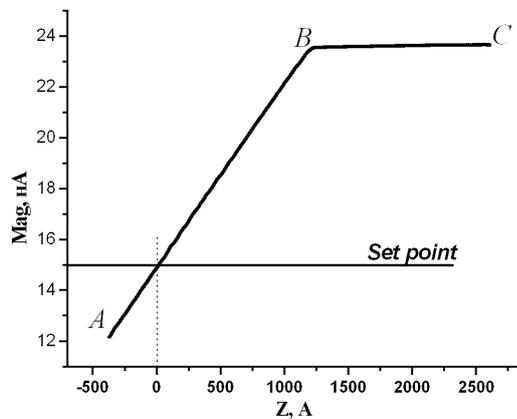
- Б) пьезодрайвера;
- Г) переменным электрическим напряжением, приложенным между зондом и образцом.

5.3. В качестве входного сигнала цепи обратной связи в полуконтактном методе рекомендуется использовать сигнал

- А) MAG;
- В) RMS;

- Б) MAGsin или MAGcos;
- Г) Phase.

5.4. На зависимости сигнала MAG от смещения кантилевера вдоль оси Z участок AB:



- А) обусловлен электростатическими силами;
- В) соответствует касанию кантилевером поверхности;

- Б) обусловлен силами Ван-дер-Ваальса;
- Г) соответствует свободным колебаниям кантилевера.

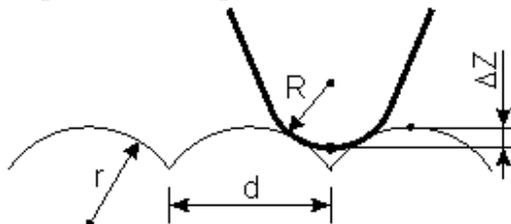
5.5. Абсолютное значение рабочей амплитуды колебаний, соответствующей Set point, составляет примерно:

- А) 9 нм;
- В) 250 нм;

- Б) 90 нм;
- Г) 2500 нм.

### Предельное разрешение АСМ

6.1. Минимальное расстояние между разрешаемыми поверхностными особенностями, при котором «провал» между ними на АСМ изображении еще может быть детектирован (т.е. когда он равен пределу  $\Delta Z$ , определяется выражением:



A)  $d \approx \sqrt{8(R+r)\Delta Z}$  ;

Б)  $d \approx \sqrt{8(R-r)\Delta Z}$  ;

В)  $d \approx \sqrt{2(R+r)\Delta Z}$  ;

Г)  $d \approx \sqrt{2(R-r)\Delta Z}$  .

6.2. Упругие деформации заведомо не приводят к:

A) артефактам;

Б) разрушению материала зонда и/или образца;

В) эффекту уширения профиля;

Г) эффекту занижения высот.

6.3. Предел продольного разрешения, обусловленный упругими деформациями, в случае взаимодействия Si зонда ( $E = 150$  ГПа,  $R = 10$  нм) с плоской поверхностью меди ( $E = 120$  ГПа) с силой 100 нН равен:

A) 0.15 нм;

Б) 1 нм;

В) 1.5 нм;

Г) 10 нм.

6.4. Какое увеличение возможно получить с помощью АСМ?

A) 10000 раз;

Б) 100 раз;

В) Сколь угодно большое;

Г) Понятие увеличения не вполне корректно.

6.5. Какие параметры кантилевера не влияют на величину предельного пространственного разрешения в АСМ?

A) Радиус острия зонда;

Б) Жесткость кантилевера;

В) Аспектное соотношение (отношение длины зонда к толщине его основания);

Г) Модуль упругости материала зонда.

### Калибровка АСМ для корректного измерения рельефа поверхности

7.1. Аттестация шаговых структур рельефных мер производится:

A) растровым электронным микроскопом;

Б) просвечивающим электронным микроскопом;

В) методом рентгеновской дифракции;

Г) интерферометрическим методом.

7.2. Свойство, которым не обязана обладать рельефная структура для того, чтобы она могла стать универсальной линейной мерой для калибровки АСМ, работающих в микрометровом и нанометровом диапазонах:

A) Аттестация шага должна проводиться на максимальной площади;

Б) Структура должна давать возможность определить нелинейность сканирования АСМ, неортогональность Z-сканера и эффективный радиус острия зонда;

В) Конструкция структуры должна обеспечивать большой срок службы;

Г) Аттестация шага структуры должна осуществляться с помощью интерференции оптического излучения.

7.3. Определяющим параметром трапецевидной рельефной меры, через который определяются масштабный коэффициент видеоизображения и эффективный радиус зонда, является?

A) Высота выступа;

Б) Ширина выступа;

В) Проекция наклонной стенки выступа;

Г) Период между выступами.

7.4. Абсолютная погрешность при калибровке X, Y сканеров с помощью решеток TGZ,



2.2. Типичное значение глубины фокуса РЭМ при увеличении в 10000 раз?

- А) 0,1 мкм  
В) 10 мкм  
Б) 1 мкм  
Г) 100 мкм

2.3. Что отображает разностный сигнал парного твердотельного детектора обратно отраженных электронов?

- А) Геометрию поверхности образца  
В) Наличие областей с различным составом на поверхности исследуемого образца  
Б) Элементный состав исследуемого образца (определяет атомный номер)  
Г) Дефекты кристаллической решетки исследуемого образца

2.4. Что отображает суммарный сигнал парного твердотельного детектора обратно отраженных электронов?

- А) Геометрию поверхности образца  
В) Наличие областей с различным составом на поверхности исследуемого образца  
Б) Элементный состав исследуемого образца (определяет атомный номер)  
Г) Дефекты кристаллической решетки исследуемого образца

2.5. К чему приводит явление каналирования первичных электронов?

- А) К аномальному изменению коэффициента вторичной эмиссии при определённой энергии первичного пучка  
В) К аномальному изменению коэффициента отражения при определённой энергии первичного пучка  
Б) К аномальному изменению коэффициента вторичной эмиссии при определённых ориентациях монокристаллического объекта относительно первичного пучка  
Г) К аномальному изменению коэффициента отражения при определённых ориентациях монокристаллического объекта относительно первичного пучка

### Введение в рентгеновский микроанализ

3.1. Закон Мозли, описывающий энергию характеристического излучения, имеет вид?

- А)  $E = R_1(Z - \sigma) \left( \frac{1}{n_1} - \frac{1}{n_2} \right)$   
В)  $E = R_1(Z - \sigma)^2 \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$   
Б)  $E = R_1(Z - \sigma) \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$   
Г)  $E = R_1(Z - \sigma)^2 \left( \frac{1}{n_1} - \frac{1}{n_2} \right)$

3.2. Эффективность возбуждения рентгеновского излучения электронным ударом (соотношение испущенных «нужных» фотонов к числу бомбардирующих электронов) обычно составляет?

- А) 1:1000  
В) 1:10  
Б) 1:100  
Г) 1:1

3.3. Формула Крамерса, описывающая непрерывный рентгеновский спектр, имеет вид?

- А)  $N(E) = \frac{aZ^2(E_0 - E)}{E}$   
В)  $N(E) = \frac{aZ^2(E_0^2 - E^2)}{E^2}$   
Б)  $N(E) = \frac{aZ(E_0 - E)}{E}$   
Г)  $N(E) = \frac{aZ(E_0^2 - E^2)}{E^2}$



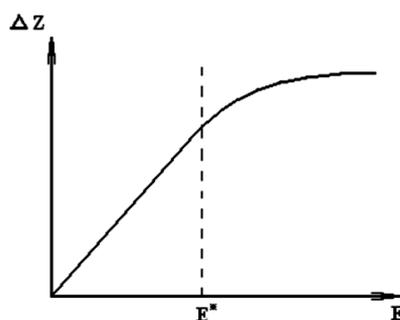


4. Исследование доменных структур в тонких пластинах ферромагнетиков методами рамановской спектроскопии
5. Энергодисперсионный анализ на растровом электронном микроскопе JEOL JSM 6610 элементов микросистемной техники
6. Возможности сканирующей зондовой микроскопии (атомно-, электро-, магнитосиловой) и метрологические характеристики методов (режимы, чувствительность, разрешение, характерное время метода, погрешности, ограничение на точность измерения, шумы и т.д.).
7. Рентгенофазовый анализ свинцовой пасты свинцово-кислотных аккумуляторных батарей
8. Основы методов рентгенофотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) и электронной оже-спектроскопии (ЭОС) рентгенофлуоресцентного анализа (РФА)
9. Влияние шумов на измерения (виды шумов: дробовый, джонсоновский, фотонный, температурный и т.д.) и их учёт
10. Сканирующая туннельная микроскопия (АИСТ СТМ) (режимы, различные поверхности (металл, полупроводник) чувствительность, разрешение, характерное время метода, погрешности, ограничение на точность измерения, шумы и т.д.).
11. Растровая электронная микроскопия и её метрологическое обеспечение (разрешение, характерное время метода, аппаратное обеспечение и др)
12. Выбор метода, учёт погрешностей различными методами и приближённые вычисления при экспериментальных методах исследования
13. Основы измерения малых токов и проводимости жидкостей на пикоамперметре Keithley 6487 и вывод данных на ЭВМ
14. Инфракрасная спектроскопия и метрологическое обеспечение
15. Рамановская спектроскопия и метрологическое обеспечение
16. Метод электронного парамагнитного резонанса
17. Мостовые методы измерения ёмкостей, сопротивлений, проводимостей и индуктивностей и метрологическое обеспечение

## *2.2 БАНК ВОПРОСОВ И ЗАДАНИЙ В ТЕСТОВОЙ ФОРМЕ*

1. Какие общие составные части в порядке движения ионного потока исследуемого вещества имеет масс-спектрометр: 1) Источник ионов, система напуска, анализирующая часть; 2) Регистрирующая часть, система напуска, источник ионов, анализирующая часть; 3) Система напуска, источник ионов, анализирующая часть, регистрирующая часть; 4) Система напуска, источник ионов, регистрирующая часть, анализирующая часть; 5) Источник ионов, система напуска, регистрирующая часть, анализирующая часть.
2. Выражения для ионного тока фрагментарных ионов имеет вид:
 

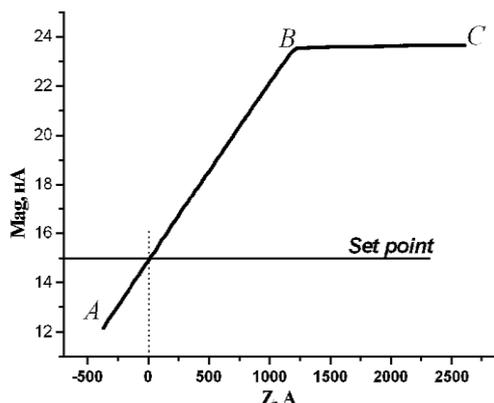
А)  $\mathbf{J}_{ij} = \sigma_{ij} \mathbf{J}_e \mathbf{n}_j^\ell$     В)  $\mathbf{J}_j = \sigma_j \frac{\mathbf{J}_e}{\mathbf{n}_j^\ell}$     С)  $\mathbf{J}_e = \sigma_j \mathbf{J}_j \mathbf{n}_j^\ell$     D)  $\mathbf{J}_j = \sigma_j \mathbf{J}_e \mathbf{n}_j^\ell$     E)  $\mathbf{J}_j = \sigma_j \mathbf{J}_e$
3. При отдалении вольфрамового зонда на 1 А от поверхности туннельный ток: 1) Падает в 1,5 – 2 раза; 2) Остается почти неизменным; 3) Падает на порядок; 4) Возрастает в 1,5 – 2 раза; 5) Возрастает на порядок.
4. При исследовании поверхности в полуконтактном режиме колебания зонда вызываются: 1) Пьезосканером; 2) Ёмкостным датчиком; 3) Пьезодрайвером; 4) Внешним генератором; 5) Системой обратной связи.
5. На рисунке  $E^*$ , это: 1) предел прочности для пьезокерамики; 2) предельное значение напряжённости управляющего поля при которой деформация линейна от прикладываемого поля; 3) значение напряжённости управляющего поля, при которой начинается крип пьезосканера; 4) коэрцитивная сила в петле гистерезиса для отработки остаточной деформации.



6. Какое предельно максимальное значение напряжённости управляющего электрического поля для пьезокерамики ЦТС–19, при которой ещё отсутствует остаточная поляризация и следовательно минимальны атерфакты:

- 1) 40 кВ/м; 2) 50 В/мм; 3) 100 кВ/см; 4) 500 В/см; 5) 150 В/мкм.

7. На рисунке показан график зависимости сигнала MAG от расстояния зонд–поверхность при отсутствии сканирования (спектроскопический метод). Что означает участок BC: 1) Свидетельствует о крипе пьезокерамики; 2) Свидетельствует об установлении постоянного значения амплитуды колебаний в отсутствие взаимодействия зонда с образцом; 3) Свидетельствует о наличии адсорбционных (капиллярных) сил между зондом и поверхностью; 4) Свидетельствует о наличии боковых сил трения; 5) Говорит об начале режима точного позиционирования кантилевера.



8. Выберите правильно объяснение для выражения:

$$j = \frac{e^3 V^2}{8\pi\hbar\varphi^*(\Delta Z)^2} \exp\left\{-\frac{8\pi\sqrt{2m}(\varphi^*)^{3/2}\Delta Z}{3ehV}\right\}$$

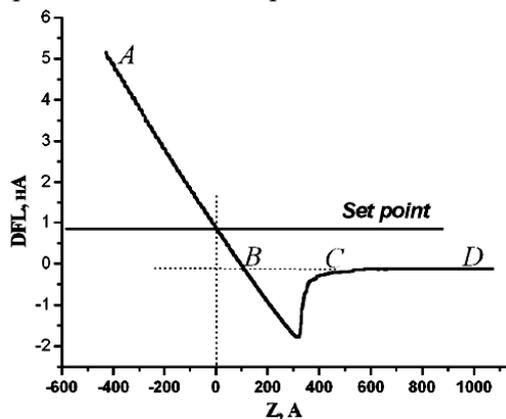
1) выражение для туннельного тока при  $eV < \varphi^*$ , когда коэффициент перед экспонентой мало зависит от расстояния зонд-образец; 2) выражение для плотности туннельного тока при автоэлектронной эмиссии с вершины зонда, когда  $eV > \varphi^*$ ; 3) выражение для туннельного тока, когда коэффициент перед экспонентой сильно зависит от разности потенциалов зонд-образец; 4) плотность туннельного тока в режиме снятия локальной ВАХ полупроводника; 5) плотность туннельного тока в режиме снятия локальной ВАХ сверхпроводника.

9. Выражения для ионного тока молекулярных ионов имеет вид:

А)  $\mathbf{J}_{ij} = \sigma_{ij} \mathbf{J}_e \mathbf{n}_j \ell$     В)  $\mathbf{J}_j = \sigma_j \frac{\mathbf{J}_e}{\mathbf{n}_j \ell}$     С)  $\mathbf{J}_e = \sigma_j \mathbf{J}_j \mathbf{n}_j \ell$     D)  $\mathbf{J}_j = \sigma_j \mathbf{J}_e \mathbf{n}_j \ell$     E)  $\mathbf{J}_j = \sigma_j \mathbf{J}_e$

10. Зависимость туннельного тока СТМ от расстояния зонд-образец: 1) Экспоненциально растущая ; 2) Линейная; 3) Экспоненциально убывающая; 4) Квадратичная; 5) Гиперболическая.

11. Зависимость латерального разрешения АСМ от разрешения по вертикали: 1) Корневая; 2) Линейная; 3) Обратно пропорциональная; 4) Обратная корневая; 5) Экспоненциальная.
12. На рисунке показано: 1) Начальная зависимость петли гистерезиса для пьезокерамики ЦТС 19; 2) Неоднозначный ход зависимости деформации от подаваемой на пьезокерамику разности потенциалов; 3) Запаздывание деформации пьезосканера от управляющего напряжения; 4) Дребезг пьезокерамики при резком изменении управляющего сигнала.
13. На рисунке показан график зависимости сигнала DFL от расстояния зонд–поверхность при отсутствии сканирования (спектроскопический метод). Что означает участок ВС: 1) Свидетельствует о крипе пьезокерамики; 2) Характеризует радиус кривизны кантилевера; 3) Свидетельствует о наличии адсорбционных (капиллярных) сил между зондом и поверхностью; 4) Свидетельствует о наличии боковых сил трения; 5) Говорит об начале режима точного позиционирования кантилевера.



14. Что означает сигнал в системе обратной связи АСМ с точки зрения теории автоматического регулирования:

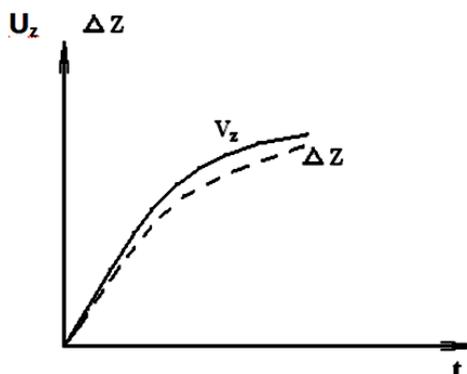
$$FBO = W_P + W_I + W_D$$

- 1) сигнал ошибки; 2) уровень сигнала для фиксированного взаимодействия, задаваемый пользователем; 3) сигнал на входе системы ОС; 4) сигнал коррекции на выходе ОС; 5) сигнал фазовращателя

15. Выберите правильно объяснение для выражения:

$$j_t = j_0(V) \exp \left\{ -\frac{4\pi}{h} \sqrt{2m\phi^* \Delta Z} \right\}$$

- 1) выражение для туннельного тока при  $eV < \phi^*$ , когда коэффициент перед экспонентой мало зависит от расстояния зонд-образец; 2) выражение для плотности туннельного тока при автоэлектронной эмиссии; 3) выражение для туннельного тока при  $eV > \phi^*$ , когда коэффициент перед экспонентой сильно зависит от разности потенциалов зонд-образец; 4) плотность туннельного тока в режиме снятия локальной ВАХ полупроводника; 5) плотность туннельного тока в режиме снятия локальной ВАХ сверхпроводника.



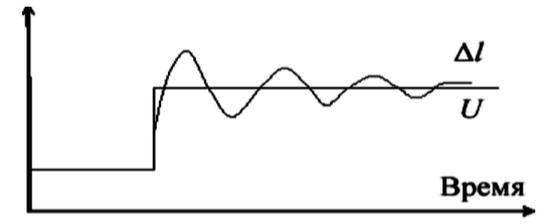
16. Приведите классификацию методов исследования по тем свойствам вещества, которые этими методами определяются
17. Какое из следующих предложений верное: 1) Углеродные нанотрубки в 100 раз прочнее стали, при этом их плотность в шесть раз меньше; 2) Углеродные нанотрубки 1000 раз прочнее стали, при этом их плотность в шесть раз меньше; 3) Углеродные нанотрубки в 10 раз прочнее стали, при этом их плотность в шесть раз меньше.
18. Размер бюджета 2013 Национальный нанотехнологической инициативы в США составил: 1) \$ 1,8 млрд; 2) \$ 570 млн; 3) \$ 830 млн; 4) 2,3 млрд.
19. Предназначение дифракционных методов исследования вещества.
20. Как определяется естественная ширина спектральных линий.
21. Приведите примеры измерения физической величины методом отклонений.
22. В чём разница гистограммы энергий регистрируемых частиц и гистограммы импульсов генерируемых датчиком.
- Приведите классификацию методов исследования по характеру взаимодействия исследуемого вещества с полем, излучением, потоком частиц.
23. Предел разрешения человеческого глаза равен: 1) 100000 нм; 2) 10 нм; 3) 10000 нм; 4) 100 нм.
24. Размер эритроцитов составляет: 1) 70-80 нм; 2) 700-800 нм; 3) 7000-8000 нм; 4) 7-8 нм.
25. Предназначение спектроскопических методов исследования вещества.
26. Что такое естественная ширина спектральных линий.
27. На чём основано измерение методом отклонения.
28. Понятие постоянной времени или времени отклика.
29. Основоположителем масс-спектрометрии является: 1) Демпстер; 2) Ф. Астон; 3) Д. Максвелл; 4) М.В. Ломоносов; 5) Д.Д. Томсон.
30. Чем объясняется нелинейность графика кривой эффективности ионизации при электронном ударе на начальном участке: 1) только наличием молекул (атомов) находящихся в возбужденном состоянии; 2) разбросом энергии электронного пучка (немонохроматичностью), а также наличием молекул (атомов) находящихся в возбужденном состоянии; 3) только разбросом энергии электронного пучка (его немонохроматичностью); 4) объясняется немонохроматичностью молекул в молекулярном пучке; 5) объясняется недостаточной чувствительностью детектора масс-спектрометра.
31. В чём заключаются прямые задачи методов.
32. Углеродные нанотрубки при атмосферном давлении выдерживают температуру: 1) 800 °C; 2) 3000 °C; 4) 2000 °C.
33. Какая структура содержит миллионы атомов: 1) Молекула спирта 2) Молекула ДНК; 3) Молекулы белков; 4) Молекула воды; 5) Молекула фенантролина.
34. Как, согласно распределению Больцмана, связана интенсивность линий спектра с числом частиц вещества находящихся на первоначальном уровне.
35. Как определяется условие слияния спектральных линий с естественной шириной.
36. На чём основано измерение разностным методом.
37. Понятие энергетического разрешения в случае регистрации частиц двух типов с близкими энергиями.
38. Какой вид ионизации наиболее распространён: 1) Фотоионизация, ионизация лазерным излучением; 2) Термоионизация; 3) Ионизация электронным ударом; 4) Ионизация сильным электрическим полем; Химическая ионизация.

39. Для ионизации электрическим полем острий или тонких проволочек требуются значения напряжённостей: 1)  $10E3 - 10E5$  В/см; 2)  $10E2 - 10E3$  В/см; 3)  $10E7 - 10E8$  В/см; 4)  $10E9 - 10E10$  В/см; 5)  $10E2 - 10E3$  кВ/см.

40. Обратный пьезоэлектрический эффект - это: 1) Возникновение электрического поля при деформации пьезоэлектрика; 2) Возникновение деформации при нагреве пьезоэлектрика; 3) Возникновение деформации пьезоэлектрика при протекании по нему тока; 4) Возникновение деформации пьезоэлектрика, при приложении электрического поля; 5) Возникновение электрического тока при деформации пьезоэлектрика.

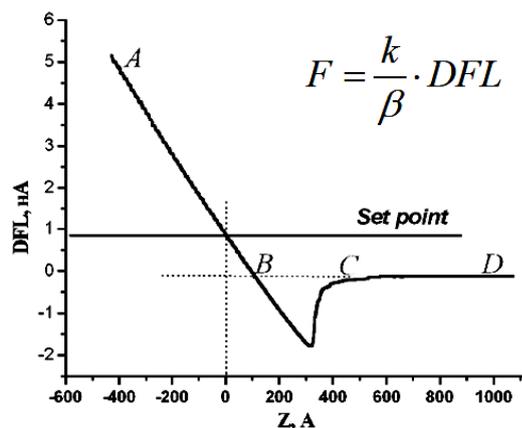
41. Согласно теории автоматического регулирования, вырабатываемый системой обратной связи сигнал коррекции представляется: 1) Суммой двух компонент отклика: интегральной и дифференциальной; 2) Разности двух компонент отклика: интегральной и дифференциальной; 3) Из суммы двух компонент отклика интегральной и дифференциальной вычитается пропорциональная; 4) Суммой трёх компонент отклика: пропорциональной компоненты, интегральной и дифференциальной; 5) Суммой двух компонент отклика: интегральной и пропорциональной.

42. На рисунке показано: 1) Начальная зависимость петли гистерезиса для пьезокерамики ЦТС 19; 2) Неоднозначный ход зависимости деформации от подаваемой на пьезокерамику разности потенциалов; 3) Запаздывание деформации пьезосканера от управляющего напряжения; 4) Дребезг пьезокерамики при резком изменении управляющего сигнала.



43. В чём преимущество использования тензолеверов перед кантелеверами с оптическим определением положения зонда.

44. На рисунке показан график зависимости сигнала DFL от расстояния зонд-поверхность при отсутствии сканирования (спектроскопический метод). Определите коэффициент  $\beta$  в законе Гука, описывающего силу взаимодействия зонда-образца.



45. Что определяет величина

$$\varphi^* = \frac{1}{2}(\varphi_P + \varphi_S)$$

в расчёте тока на туннельном контакте:

1) работу выхода электронов с уровня Ферми в вакуум с вершины зонда; 2) среднюю работу выхода электронов с уровня Ферми в вакуум с поверхности образца; 3) среднюю

работу выхода электронов из металла зонда и металла образца; 4) высоту прямоугольного потенциального барьера на контакте зонд-образец; 5) среднюю высоту барьера произвольной формы между зондом и образцом.

46. Размерность нанопроволок равняется: 1) 1-Д; 2) 0-Д; 3) 2-Д.

47. Какие из следующих утверждений является правильным: 1) Использование нанотехнологий снижает габариты и энергопотребление компьютера, в то время как увеличивается скорость выполнения и производительность; 2) Использование нанотехнологий снижает цену и энергопотребление компьютера, в то время как повышается скорость и производительность; 3) Использование нанотехнологий позволяет уменьшить размер компьютера и цену, в то время как повышается скорость и производительность.

48. Какие свойства частиц и волн используются в дифракционных методах.

49. Критерий Релея для разрешения перекрывающихся спектральных линий.

50. Приведите примеры измерения физической величины разностным методом.

51. Понятие энергетического разрешения в случае регистрации частиц одной энергии.

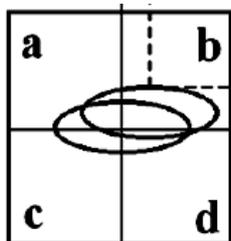
52. Какой ион называют молекулярным: 1) Ион, ничем не отличающийся по своим свойствам от молекулы, из которой он образован; 2) Ион, образованный из фрагмента молекулы, возникшей при ионизации; 3) Ион, имеющий такую же массу, за исключением одного или нескольких электронов, как и молекула из которой он образован; 4) Ион, который через некоторое время превратиться в молекулу; 5) Ион, который по своим химическим свойствам не отличается от молекулы.

53. Чем объясняется нелинейность графика кривой эффективности ионизации при электронном ударе на начальном участке: 1) только наличием молекул (атомов) находящихся в возбужденном состоянии; 2) разбросом энергии электронного пучка (немонохроматичностью), а также наличием молекул (атомов) находящихся в возбужденном состоянии; 3) только разбросом энергии электронного пучка (его немонохроматичностью); 4) объясняется немонохроматичностью молекул в молекулярном пучке; 5) объясняется недостаточной чувствительностью детектора масс-спектрометра.

54. К сканеру сканирующего туннельного микроскопа не предъявляется требования: 1) Отсутствия дрейфов; 1) Хорошей проводимости; 2) Термической стабильности позиционирования; 3) Высокого быстродействия; 4) Высокого разрешения.

55. Формула Стоуни связывает: 1) отклонение конца балки кантилевера  $\delta$  с приложенным электрическим напряжением  $U$ ; 2) отклонение конца балки кантилевера  $\delta$  с приложенным механическим напряжением  $\sigma$ ; 3) коэффициент Пуассона материала балки кантилевера с модулем Юнга; 4) отклонение конца балки кантилевера  $\delta$  с резонансной частотой колебаний пьезодрайвера; 5) модуль Юнга материала балки кантилевера  $E$  с приложенным электрическим напряжением  $U$ .

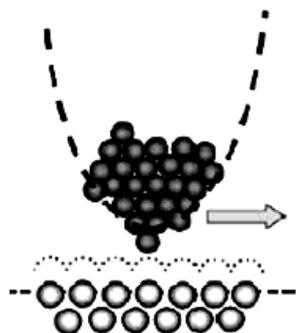
56. Значение сигналов  $(A+C)-(B+D)$  является сигналом: 1) DFL; 2) LF; 3) LASER; 4) MAG; 5) верх-низ



57. В каких условиях применение ёмкостных датчиков определения реального положения кантилевера оправдано.

58. Какой режим работы зондового микроскопа изображён на рисунке: 1) АСМ-сканирование в режиме постоянной высоты; 2) СТМ-сканирование в контактном режиме;

3) АСМ-сканирование в полуконтактном режиме; 4) СТМ-сканирование в режиме постоянной высоты; 5) СТМ-сканирование в режиме постоянного тока;



59. Что определяет первое слагаемое в потенциале Леннарда-Джонса

$$U(r) = 4\epsilon \left[ \left( \frac{\sigma}{r} \right)^{12} - \left( \frac{\sigma}{r} \right)^6 \right],$$

1) слагаемое определяет потенциальную энергию отталкивания атомов при обменном взаимодействии после перекрытия электронных облаков; 2) слагаемое определяет потенциальную энергию Ван-дер-Ваальсовых дальнедействующих сил притяжения диполь-дипольного индуцированного взаимодействия; 3) глубину потенциальной ямы в зависимости потенциальной энергии Ван-дер-Ваальсова взаимодействия атомов зонда и образца; 4) потенциальную энергию теоретически не поддающейся описанию; 5) потенциальную энергию, которая описывается кривой Морзе.

60. В нанотехнологии обсуждаемый размер структур составляет: 1) 1-100nm; 2) Все, что меньше 100 нм; 3) 0.1-10nm; 4) 10-1000 нм.

61. Молекула ДНК хорошим примером: 1) Биологический процесс, которой не поддается описанию; 2) Результата технологии получения "сверху вниз"; 3) Процесса самосборки.

62. В чём заключается основное условие применения дифракционных методов.

63. Понятие характеристического времени метода.

64. На чём основано измерение нуль-методом.

65. Смысл полной ширины на полувысоте пика (ПШПВ) или FWHM (Full Width on Half Magnitude).

66. Вероятность образования отрицательного иона (при захвате электрона) при ионизации электронным ударом: 1) примерно в тысячу раз больше, чем вероятность образования положительного иона; 2) примерно в несколько десятков раз меньше, чем вероятность образования положительного иона; 3) примерно в тысячу раз меньше, чем вероятность образования положительного иона; 4) примерно в несколько сотен раз меньше, чем вероятность образования положительного иона; 5) примерно в несколько сотен раз больше, чем вероятность образования положительного иона.

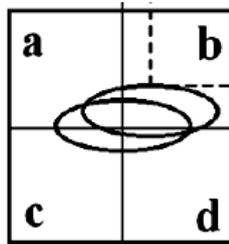
67. Что называют фокусировкой по направлению: 1) это воздействие магнитного поля, отклоняющее пучок ионов в заданном направлении; 2) уменьшение расходимости ионного пучка магнитным полем в области регистрации ионных токов; 3) это ошибка фокусировки вследствие разброса энергии ионов пучка; 4) это ошибка фокусировки вследствие разброса энергии ионизирующих частиц; 5) это диаметр ионного пучка, возникший вследствие нестабильности ускоряющего напряжения.

68. К недостаткам СТМ относят: 1) Высокую стоимость оборудования; 2) Невысокое латеральное разрешение; 3) Невозможность исследования диэлектриков; 4) Невысокое разрешение по вертикали; 5) Чувствительность к помехам.

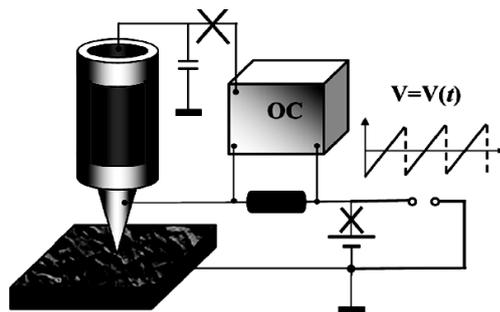
69. Сигнал MAG – это сигнал: 1) соответствующий амплитуде переменной составляющей сигнала LASER на частоте модуляции; 2) соответствующий постоянной составляющей сигнала DFL; 3) соответствующий постоянной составляющей сигнала LASER; 4)

соответствующий постоянной составляющей сигнала FL; 5) соответствующий амплитуде переменной составляющей сигнала DFL на частоте модуляции.

70. . Значение сигналов  $(A+B)-(C+D)$  является сигналом: 1) DFL; 2) LF; 3) LASER; 4) MAG; 5) верх-низ.



71. Объясните по рисунку суть методики зондовой микроскопии.



72. Последовательность изготовления пьезокерамики используемой в сканерах СЗМ.

73. Что определяет второе слагаемое в потенциале Леннарда-Джонса

$$U(r) = 4\epsilon \left[ \left( \frac{\sigma}{r} \right)^{12} - \left( \frac{\sigma}{r} \right)^6 \right],$$

1) слагаемое определяет потенциальную энергию отталкивания атомов при обменном взаимодействии после перекрытия электронных облаков; 2) слагаемое определяет потенциальную энергию Ван-дер-Ваальсовых дальнедействующих сил притяжения диполь-дипольного индуцированного взаимодействия; 3) глубину потенциальной ямы в зависимости потенциальной энергии Ван-дер-Ваальсова взаимодействия атомов зонда и образца; 4) потенциальную энергию теоретически не поддающейся описанию; 5) потенциальную энергию, которая описывается кривой Морзе.

74. Какое утверждение является верным: 1) Когда размер объекта уменьшается, соотношение между числом атомов на поверхности и числом атомов в объеме объекта уменьшается; 2) Когда размер объекта уменьшается, соотношение между числом атомов на поверхности и числом атомов в объеме объекта не меняется; 3) Когда размер объекта уменьшается, соотношение между числом атомов на поверхности и числом атомов в объеме объекта увеличивается.

75. Лучшей технологией для изготовления единственного в своем роде устройство с минимальным разрешением 10 нм является: 1) Электронно-лучевая литография; 2) Обычная фотолитография; 3) Фокусируемый ионный пучок; 4) Использование процессов самоорганизации.

76. Как определяется длина волны нерелятивистских частиц дифракционных методов через их энергию.

77. Как определяется характеристическое время метода для частиц.

78. Приведите примеры измерения физической величины нуль-методом.

79. Запишите выражение для абсолютного энергетического разрешения.

80. Что понимают под условием молекулярности пучка: 1) когда все частицы в пучке являются молекулами разных веществ; 2) когда средняя длина свободного пробега молекул в пучке намного больше, чем диаметр отверстия из которого выходит пучок; 3) когда средняя длина свободного пробега молекул в пучке намного меньше, чем диаметр отверстия из которого выходит пучок; 4) когда все частицы в пучке являются молекулами только одного вещества; 5) когда средняя длина свободного пробега молекул в пучке примерно равна диаметру отверстия из которого выходит пучок .

81. Выражение для ошибки фокусировки магнитного масс-спектрометра имеет вид:

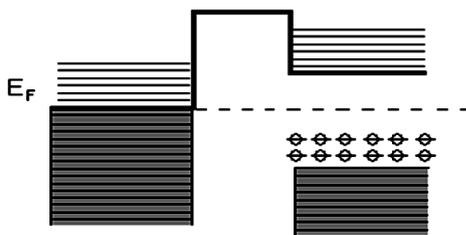
А)  $AB \approx R\alpha$     В)  $AB \approx \frac{R}{\alpha^2}$     С)  $AB \approx R\alpha^2$     D)  $AB \approx \sqrt{R\alpha^2}$     E)  $AB \approx \sqrt{\frac{R}{\alpha^2}}$

82. Типичный радиус закругления коммерческого зонда АСМ составляет: 1) 50 нм; 2) На конце зонда находится 1 атом; 3) 10 нм; 4) 100 нм; 5) 1 нм.

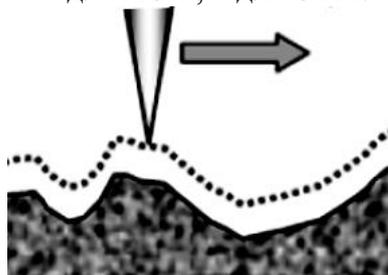
83. Укажите примерный размер пятна лазерного пучка на зеркальной поверхности конца балки кантилевера: 1) 50 мкм; 2) 1 мкм; 3) 100 нм; 4) 50 нм; 5) 10 мкм.

84. Какой из видов сигналов четырёхсекционного фотодетектора существенен для метода микроскопии латеральных сил: 1) DFL; 2) LF; 3) LASER; 4) MAG; 5) Set point.

85. В спектроскопических методиках СТМ для объяснения ВАХ контакта используется зонные диаграммы. Какому контакту зонд-образец соответствует рисунок: 1) металл-металл; 2) металл-сверхпроводник; 3) металл-диэлектрик; 4) металл-полупроводник; 5) металл-вакуум.



86. Объясните режим работы СЗМ изображённый на рисунке: 1) режим постоянной высоты для АСМ; 2) режим постоянной высоты над образцом для СТМ; 3) режим постоянного тока для АСМ; 4) спектроскопическая методика, либо для АСМ, либо для СТМ; 5) топографический режим и для АСМ, и для СТМ.



87. Выражение

$$W \approx \exp\{-k\Delta Z\}$$

, определяет:

- 1) потенциальную энергию электронов при переходе туннельного контакта зонд-образец;
- 2) высоту потенциального барьера между вершиной зонда и поверхностью образца;
- 3) может определять вероятность туннелирования электрона через прямоугольный потенциальный барьер, при коэффициенте затухания волны вероятности в зоне барьера  $k$ ;
- 4) коэффициент прохождения электронов при автоэлектронной эмиссии в вакуум;
- 5) высоту потенциального барьера над уровнем Ферми в металле зонда.

88. Какое из следующих утверждений об атомно-силовой микроскопии (АСМ) является самым правильным: 1) АСМ может визуализировать структуры белка в молекулах ДНК; 2) АСМ основана на передвижении очень острой иглы над поверхностью образца, что позволяет "чувствовать" форму поверхности; 3) АСМ может визуализировать нефиксированные образцы в водном растворе.

89. Какая газовая среда находится внутри сканирующего электронного микроскопа (СЭМ): 1) Гелий; 2) Азот; 3) Вакуум; 4) Аргон.

90. Как определяется длина волны релятивистских частиц дифракционных методов через их энергию.

91. Как определяется характеристическое время метода для волн.

92. Что такое чувствительность метода (дифференциальная чувствительность).

93. Запишите выражение для относительного энергетического разрешения.

94. Что называют кривыми эффективности ионизации: 1) это зависимости сечения ионизации  $\sigma$  (или ионного тока  $I$ ) от энергии ионизирующих частиц  $E$ ; 2) это зависимость числа образованных ионов от числа молекул в пучке; 3) это зависимости сечения ионизации  $\sigma$  от ионного тока  $I$ ; 4) это зависимость ионного тока  $I$  от ускоряющей их разности потенциалов  $U$ ; 5) это зависимость сечения ионизации  $\sigma$  от ускоряющей их разности потенциалов  $U$ .

95. Масс-спектрометрический метод основан на разделении смеси газообразных ионов посредством электрического или магнитного поля либо их комбинации по отношению  $m/q$  и получении их спектра масс. Укажите выражение  $m/q$  для однозарядных ионов в магнитном масс-спектрометре Демпстера:

$$\text{A) } \frac{m}{e} = \frac{RB}{2U} \quad \text{B) } \frac{m}{e} = \frac{R^2 B^2}{2U} \quad \text{C) } \frac{m}{e} = \frac{R^2 B^2}{2} \quad \text{D) } \frac{m}{e} = \frac{B^2}{2U} \quad \text{E) } \frac{m}{e} = \frac{R^2}{2U}$$

96. Основным достоинством токового режима СТМ является: 1) Высокое быстродействие; 2) Возможность исследования образцов с большими перепадами высот; 3) Невысокие требования к зонду; 4) Возможность исследования слабопроводящих материалов; 5) Возможность исследования диэлектриков и полупроводников.

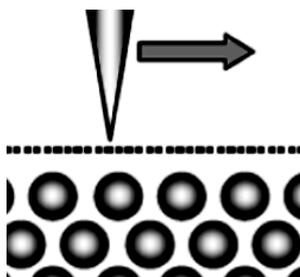
96. Формула Стоуни имеет вид:

$$\text{A) } \delta = \frac{3\sigma(1-\nu)}{E} \quad \text{B) } \delta = \frac{3\sigma(1-\nu)}{E} \left(\frac{L}{t}\right)^2 \quad \text{C) } \tilde{\omega} = \omega_0 \sqrt{1 - \frac{1}{k} \frac{\partial F}{\partial z}}$$

$$\text{D) } \omega_0 = \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{eB}{m}} \quad \text{E) } \omega_0 = \frac{2\pi}{T} = \left(\frac{eB}{m}\right)^2$$

98. Для чего используется сигнал Laser, вырабатываемый фотодетектором АСМ: 1) для отработки сигнала пропорционального рельефу поверхности; 2) для отработки сигнала, возникающего при вращательной деформации кантилевера; 3) для первоначальной настройки (юстировки) фотодетектора АСМ; 4) для отработки управляющего сигнала системой обратной связи; 5) указывает мощность лазера.

99. Объясните режим работы СЗМ изображённый на рисунке: 1) режим постоянного тока для АСМ; 2) топографический режим для СТМ; 3) режим постоянной высоты и для АСМ и для СТМ; 4) спектроскопическая методика, либо для АСМ, либо для СТМ; 5) топографический режим и для АСМ, и для СТМ.



100. Какие силы взаимодействия зонд-образец используются в бесконтактной методике АСМ: 1) только силы Ван-дер-Ваальса; 2) отталкивающие силы Ван-дер-Ваальса; 3) либо электрические силы (ЭСМ), либо магнитные силы (МСМ); 4) либо дальнедействующие дипольные взаимодействия силами Ван-дер-Ваальса, либо электростатические, либо магнитные силы; 5) только адгезионные капиллярные силы притяжения.

101. Чем определяется высокое разрешение в СТМ по вертикали:

1) точной работой оптических датчиков определения положения зонда над образцом; 2) низкой скоростью сканирования поверхности образца; 3) экспоненциальной зависимостью туннельного тока от расстояния зонд-образец; 4) маленьким радиусом кривизны кантилевера; 5) пользовательскими настройками системы обратной связи.

102. В чём заключаются условие устойчивости решения обратных задач.

103. Электронные микроскопы имеют гораздо более высокое разрешение, чем любой человеческий глаз или обычной световой микроскоп, потому что: 1) Имеют линзы с большим увеличением; 2) Используется пучок электронов, который обладает очень короткой (нанометровых) длиной волны; 3) Все ответы; 4) Используются линзы гораздо более высокого качества.

104. Какое из следующих утверждений верно: 1) Самоорганизация может произойти спонтанно; 2) Самоорганизация является процессом, который происходит только в лаборатории; 3) Самоорганизация является процессом, который происходит только в природе; 4) Самоорганизация невозможна в принципе.

105. Чем определяется особенности применения электронографического метода в исследовании вещества.

106. Приведите пример псевдо-вращения Берри.

107. Что понимают под пределом разрешения метода.

108. Что такое "флуктуации ионизации".

109. Что называют сечением ионизации: 1) Сечение ионизации ( $m^2$ ) – это площадь сечения пучка молекул, вышедших из системы напуска, которые подвергаются ионизации. Оно не зависит от типа молекул и энергии ионизирующих частиц; 2) Сечение ионизации ( $m^2$ ) – используется для характеристики вероятности ионизации и зависит от типа молекул и энергии ионизирующих частиц. Она выражает вероятность ионизации одним электроном; 3) Сечение ионизации ( $m^2$ ) – это площадь сечения пучка молекул, вышедших из системы напуска, которые подвергаются ионизации. Оно не зависит от типа молекул и энергии ионизирующих частиц; 4) Сечение ионизации ( $m^2$ ) – это площадь сечения пучка ионов, непосредственно перед попаданием в анализирующую часть; 5) Сечение ионизации ( $m^2$ ) – это площадь камеры источника ионов, где движется молекулярный пучок. Эта площадь перпендикулярна потоку ионизирующих частиц.

110. Разрешающая способность масс-спектрометра определяется минимальной разностью масс двух частиц, пики которых разделены в масс-спектре. Для масс-спектрометра Демпстера разрешающая способность определяется характеристиками пучка (радиусом траектории, уширения пучка вследствие нестабильности  $U$  и неоднородности магнитного поля) и элементов установки (шириной входной и выходной щелей анализирующей части):

$$\begin{aligned}
 \text{A) } P_{\text{м.с.}} &= \frac{m}{\Delta m} = \frac{R^2}{S_1 + S_2 + \delta} & \text{B) } P_{\text{м.с.}} &= \frac{m}{\Delta m} = \frac{S_1 + S_2 + \delta}{R} & \text{C) } P_{\text{м.с.}} &= \frac{m}{\Delta m} = \frac{R}{2S_1 + 2S_2} \\
 \text{D) } P_{\text{м.с.}} &= \frac{m}{\Delta m} = \frac{R}{S_1 + S_2 + \delta} & \text{E) } P_{\text{м.с.}} &= \frac{m}{\Delta m} = R(S_1 + S_2 + \delta)
 \end{aligned}$$

111. При настройке фотоприемника АСМ максимизации подвергается сигнал: 1) LF; 2) DFL; 3) Сумма сигналов DFL и LF; 4) LASER; 5) Ни один из перечисленных.

112. Резонансная частота колебаний кантилевера (при бесконтактном методе) при приближении последнего к поверхности: 1) Остается неизменной; 2) Смещается вправо по оси частот; 3) Смещается влево по оси частот; 4) Испытывает осцилляции ; 5) Испытывает модуляцию.

113. Сигнал

$$W_P = P(FBI(t) - SP)$$

, является:

1) интегральной компонентой сигнала коррекции, вырабатываемого обратной связью АСМ; 2) пропорциональной компонентой сигнала коррекции; 3) дифференциальной компонентой сигнала коррекции; 4) компонентой отрабатывающей шероховатость поверхности образца при быстром сканировании.

114. В чём преимущество кантилевера из IrPt от кантилевера из W: 1) первый обладает лучшей стабильностью параметров и менее жёсткий; 2) первый обладает меньшей массой и адсорбцией вещества поверхности; 3) первый имеет больший коэффициент линейного расширения и меньшую электропроводность; 4) первый имеет больший модуль Юнга и коэффициент Пуассона; 5) допускает большую частоту сканирования.

115. В результате сканирования края изображения оказываются заваленными. Почему. Как исправить.

116. Чем определяется атомарное разрешение в СТМ:

1) точной работой оптических датчиков определения положения зонда над образцом; 2) низкой скоростью сканирования поверхности образца; 3) экспоненциальной зависимостью туннельного тока от расстояния зонд-образец и наличием атома или группы атомов на вершине зонда; 4) маленьким радиусом кривизны кантилевера; 5) пользовательскими настройками системы обратной связи.

117. Лучшим описанием технологии изготовления "снизу вверх" является: 1) Эта технология имеет предел 0,1 мкм (100 нм); 2) Строительство чего-либо путем сборки мелких компонентов; 3) Структуры получают разрезанием материала от более крупного элемента; 4) Используется метод прямой гравировки без маски фоторезиста.

118. Что является верным в отношении атомной силовой микроскопии (АСМ), сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) и просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ): 1) Все указанные методы работают в условиях вакуума; 2) Все указанные методы позволяют исследовать структуры, имеющие размер меньше 100 нм; 3) Все указанные методы используют электронный пучок для работы с изображениями.

119. Чем определяется особенности применения рентгенографического метода в исследовании вещества.

120. Характерная длина волны рентгенографического метода.

121. Понятие динамического диапазона метода измерения.

122. Как связаны относительные флуктуации с числом пар генерируемых зарядов при регистрации частиц в ионизационных датчиках.

123. Что называют потенциалом появления иона (ПП): 1) Минимальная энергия (ускоряющая разность потенциалов) ионизирующих частиц (электронов, фотонов и др.) достаточная для фрагментации исходной молекулы на осколки (нейтральные частицы, ионы, электроны); 2) Минимальная энергия достаточная для ионизации атома; 3) То же самое, что и потенциал ионизации; 4) Минимальная энергия (ускоряющая разность

потенциалов) ионизирующих частиц (электронов, фотонов и др.) достаточная для ионизации атома (молекулы) и соответственно появления иона; 5) Максимальная энергия ионизирующих частиц (электронов, фотонов и др.), при которой молекулы ионизируются, но не фрагментируются.

124. Во времяпролётном масс-спектрометре, при синхронизации импульсов ИИ и срабатывания датчика (детектора), можно измерять время пролета разных ионов и определять их массы. Время пролёта определяют согласно выражению:

$$\text{A) } t = \frac{L}{v} = L \sqrt{\frac{m}{2eU}} \quad \text{B) } t = \frac{L}{v} = L \sqrt{\frac{2eU}{m}} \quad \text{C) } t = \frac{L}{v} = L \sqrt{\frac{m^2}{2eU}}$$

$$\text{D) } t = \frac{L}{v} = L \frac{m}{2eU} \quad \text{E) } t = \frac{L}{v} = L \frac{2eU}{m}$$

125. Неоднозначная зависимость удлинения пьезосканера от направления изменения электрического напряжения называется: 1) Крипом; 2) Дребзгом пьезокерамики; 3) Обратным пьезоэффектом; 4) Гистерезисом ; 5) Прямим пьезоэффектом.

126. Потенциал Ленарда-Джонса имеет вид:

$$\text{A) } U(r) = 4\epsilon \left(\frac{\sigma}{r}\right)^{12} \quad \text{B) } U(r) = 4\epsilon \left[ \left(\frac{\sigma}{r}\right)^{12} - \left(\frac{\sigma}{r}\right)^6 \right] \quad \text{C) } U(r) = 4\epsilon \left(\frac{\sigma}{r}\right)^6$$

$$\text{D) } U(r) = 4\epsilon \left[ 1 - \left(\frac{\sigma}{r}\right)^6 \right] \quad \text{E) } U(r) = 4\epsilon \left[ \left(\frac{\sigma}{r}\right)^{12} - 1 \right]$$

127. Сигнал

$$W_I = I \int_{t-\tau}^t (FBI(t') - SP) dt'$$

, является:

1) интегральной компонентой сигнала коррекции, вырабатываемого обратной связью АСМ; 2) пропорциональной компонентой сигнала коррекции; 3) дифференциальной компонентой сигнала коррекции; 4) компонентой обрабатывающей шероховатость поверхности образца при быстром сканировании.

128. Объясните работу трипода наноэдукатора на основе элемента, изображённого на рисунке:



129. Для какой методики АСМ характерны следующие достоинства: получение изображений с атомарным разрешением, высокая скорость сканирования, возможность измерения локального трения.

1) бесконтактный режим АСМ; 2) полуконтактный режим АСМ; 3) электросилового режим АСМ; 4) контактный режим АСМ; 5) метод Кельвина в АСМ.

130. Как изготавливают зонды АСМ: 1) перерезанием вольфрамовой или иридиево-платиновой проволоки под произвольным углом; 2) жидко- или газофазным химическим травлением кремния или нитрида кремния; 3) перерезанием вольфрамовой или иридиево-платиновой проволоки под углом в  $45^\circ$  с элементами пластической деформации; 4) путём

заострения в высоком электрическом поле на конце острия зонда; 5) путём лазерной абляции материала заготовки зонда.

131. Приведите пример корректно и некорректно поставленной задачи.

132. Лучшей технологией для изготовления крупной партии устройств с минимальным разрешением 200 нм является: 1) Фокусируемый ионный пучок; 2) Использование процессов самоорганизации; 3) Обычная фотолитография; 4) Электронно-лучевая литография.

133. Кто первым ввёл понятие нанотехнологий: 1) К. Русска в 1982 г.; 2) Н. Танигучи в 1974 г.; 3) Э. Ферми в 1960 г.; 4) А. Эйнштейн в 1905 г.

134. Чем определяется особенности применения нейтронографического метода в исследовании вещества.

135. Характерная длина волны нейтронографического метода.

136. Понятие пространственного (поверхностного) разрешения метода.

137. Чем обусловлены "темновые токи" в ФЭУ (фотоэлектронных умножителях).

138. Для большинства молекул кривые эффективности ионизации электронным ударом имеют максимум при энергии электронов: 1) ~100-150 эВ; 2) ~10-40 эВ; 3) ~70-80 эВ; 4) ~1-10 кэВ; 5) ~0,2-0,25 эВ.

139. Частота обращения ионов в спектрометре ион-циклотронного резонанса не зависит от их энергии, но зависит от индукции магнитного поля и отношения массы иона к его заряду согласно соотношению:

$$\text{A) } \omega_0 = \frac{T}{2\pi} = \frac{eB}{m} \quad \text{B) } \omega_0 = \frac{2\pi}{T} = \frac{m}{eB} \quad \text{C) } \omega_0 = \frac{2\pi}{T} = \frac{eB}{m}$$

$$\text{D) } \omega_0 = \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{eB}{m}} \quad \text{E) } \omega_0 = \frac{2\pi}{T} = \left(\frac{eB}{m}\right)^2$$

140. Интегральная компонента системы ОС в АСМ отвечает за: 1) Отработку мелких деталей рельефа; 2) Прописывание рельефа глубоких впадин; 3) Отработку крупных деталей рельефа; 4) Прописывание рельефа больших выступов; 5) Ни за одну из названных задач.

141. Как определяется коэффициент жёсткости и собственная частота колебаний кантилевера АСМ через геометрические и физические параметры балки.

142. Сигнал

$$W_D = D \frac{\partial(FBI(t) - SP)}{\partial t}$$

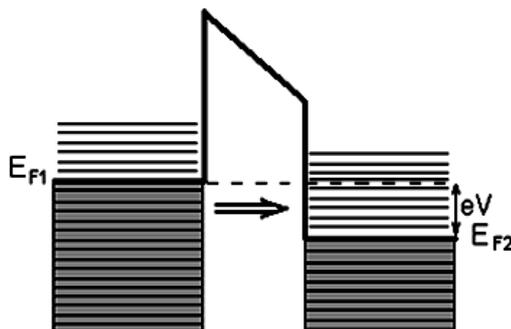
, является:

1) интегральной компонентой сигнала коррекции, вырабатываемого обратной связью АСМ; 2) пропорциональной компонентой сигнала коррекции; 3) дифференциальной компонентой сигнала коррекции; 4) компонентой обрабатывающей шероховатость поверхности образца при быстром сканировании.

143. В какой методике СТМ зонд останавливают над одной точкой над поверхностью, отключают обратную связь и меняют потенциал зонда: 1) АСМ в режиме электросилового микроскопии; 2) АСМ в режиме определения зарядов, распределённых по поверхности; 3) СТМ в спектроскопическом режиме по определению ВАХ туннельного контакта; 4) АСМ в спектроскопическом режиме определения капиллярных сил; 5) АСМ в спектроскопическом режиме определения локальной жёсткости образца.

144. В спектроскопических методиках СТМ для объяснения ВАХ контакта используется зонные диаграммы. Какому контакту зонд-образец соответствует рисунок: 1) металл-

металл; 2) металл-сверхпроводник; 3) металл-диэлектрик; 4) металл-полупроводник; 5) металл-вакуум.



145. Для какой методики АСМ характерны следующие достоинства: уменьшение боковых сил между зондом и поверхностью, повышение чувствительности путём использования резонансных свойств системы, уменьшение шумов с частотной зависимостью  $1/f$ , за счёт переноса спектра сигнала в область высоких частот.

1) бесконтактный режим АСМ; 2) полуконтактный режим АСМ; 3) электросилового режим АСМ; 4) контактный режим АСМ; 5) метод Кельвина в АСМ.

**Шкала оценивания результатов тестирования:** в соответствии с действующей в университете балльно-рейтинговой системой оценивание результатов промежуточной аттестации обучающихся осуществляется в рамках 100-балльной шкалы, при этом максимальный балл по промежуточной аттестации обучающихся по очной форме обучения составляет 36 баллов, по очно-заочной и заочной формам обучения – 60 баллов (установлено положением П 02.016).

Максимальный балл за тестирование представляет собой разность двух чисел: максимального балла по промежуточной аттестации для данной формы обучения (36 или 60) и максимального балла за решение компетентностно-ориентированной задачи (6).

Балл, полученный обучающимся за тестирование, суммируется с баллом, выставленным ему за решение компетентностно-ориентированной задачи.

Общий балл по промежуточной аттестации суммируется с баллами, полученными обучающимся по результатам текущего контроля успеваемости в течение семестра; сумма баллов переводится в оценку по 5-балльной шкале следующим образом:

Соответствие 100-балльной и 5-балльной шкал

| Сумма баллов по 100-балльной шкале | Оценка по 5-балльной шкале |
|------------------------------------|----------------------------|
| 100-85                             | отлично                    |
| 84-70                              | хорошо                     |
| 69-50                              | удовлетворительно          |
| 49 и менее                         | неудовлетворительно        |

**Критерии оценивания результатов тестирования:**

Каждый вопрос (задание) в тестовой форме оценивается по дихотомической шкале: выполнено – **2 балла**, не выполнено – **0 баллов**.

**2.3 КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ЗАДАЧИ (в том числе задания по практической подготовке (ЗПП) (кейс-задачи (КЗ)) )**

**По теме № 1\_ «Основы применения масс-спектрометрических методов исследования в нанодиагностике»**

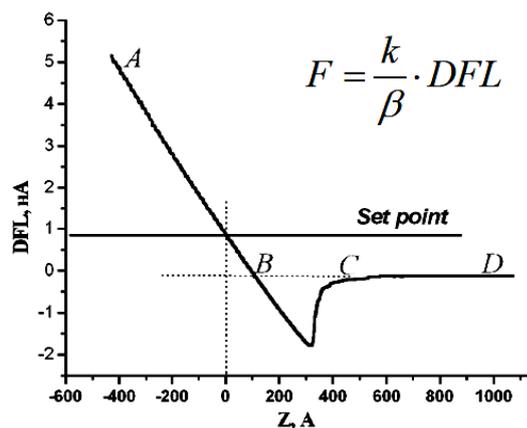
1. Перестройка химических связей в молекуле при псевдобрращении Бери происходит за время  $\sim 5$  нс. Можно ли зарегистрировать эту перестройку электронографическим методом, если электроны ускоряются разностью потенциалов в 150 кВ?
2. Характеристическое рентгеновское излучение имеет длину волны 1 пм. Найдите характеристическое время метода. Можно ли зарегистрировать этим излучением перестройку химических связей в молекуле, которая происходит за время  $\sim 10$  нс.
3. Разработайте методику определения процентных соотношений для ионных токов, полученных в масс-спектрометре Демпстера от объекта ячейки Кнудсена в виде смеси мономеров, димеров и тримеров.
4. Разрешит ли масс-спектрометр с одинаковой шириной входной и выходной щелями  $S_1 = S_2 = 0,1$  мм ионы  $\text{CO}_2^+$  с изотопами углерода  $^{12}\text{C}$  и  $^{14}\text{C}$ , если радиус кривизны  $R = 42$  см. Положить уширение ионного пучка  $\delta$  равной ошибке фокусировки с углом расхождения  $\sim 1,1^\circ$ .
5. () Определить ошибку фокусировки иона  $\text{CO}_2^+$  (массу найти по периодической системе Менделеева), ускоренного в ИИ электрическим полем с разностью потенциалов 2,5 кВ ( $U_{\text{уск}} = 2,5$  кВ) и попавшего в анализирующей части в однородное поперечное магнитное поле  $B = 1,5$  Тл, если расходимость ионного пучка на выходе из ИИ  $\sim 1,5^\circ$ .

**По теме № 3\_ «Атомно-силовая микроскопия»**

6. (ЗПП) Предложите методику примерного определения и экспериментальной проверки резонансной частоты колебания кантилевера, размеры которого неизвестны. Для этого можно использовать растровый электронный микроскоп, атомно-силовой микроскоп.
7. (ЗПП) В результате долгого прижима (порядка 3 лет) отполированных брусков металлов свинца и олова произошла диффузия атомов одного металла в другой. Предложите методику определения характерной глубины проникновения одного металла в другой с использованием ЭДС, РЭМ и соответствующее прикладное программное обеспечение.
8. (КЗ) В системе грубой подачи столика с образцом к зонду СТМ используется шаговый двигатель, совмещённый с микрометрическим винтом с шагом 0,1 мм и рычажным редуктором с коэффициентом редукции 20. Если статор состоит из двух пар электромагнитных катушек (2 пары полюсов), а ротор из 360 пар полюсов постоянных магнитов, определите минимальный шаг смещения столика образца. С какой скоростью перемещается столик образца, если на катушки статора подавать импульсы с частотой 10 Гц?

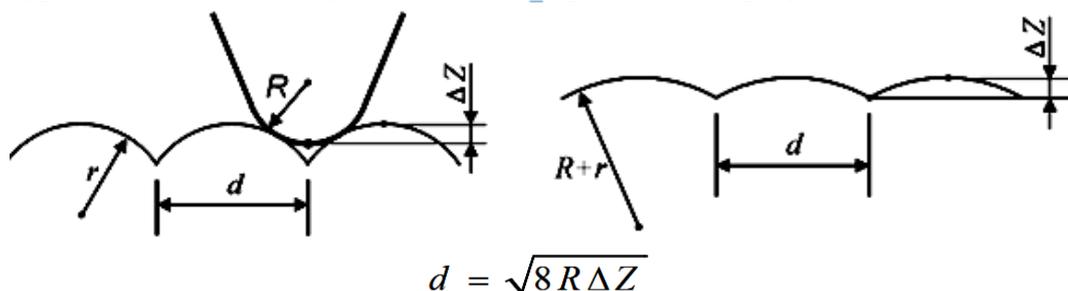
**По теме № 4\_ «Измерительные методики АСМ.»**

9. (КЗ) На рисунке показан график зависимости сигнала DFL от расстояния зонд-поверхность при отсутствии сканирования (спектроскопический метод). Определите коэффициент  $\beta$  в законе Гука, описывающего силу взаимодействия зонда-образца.



10. Оцените величину температурного дрейфа пьезосканера АСМ длиной 0,8 см при увеличении его температуры в процессе сканирования, за счёт диссипации энергии при деформации, на 1,5 К. Считать, что сканер изготовлен из пьезокерамики ЦТС–19 с температурным коэффициентом линейного расширения  $2 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ .

11. (КЗ) На рисунке изображена схема для объяснения локального разрешения АСМ. Если для вертикального разрешения принять 0,02 Ангстрема, найдите для промышленного кантилевера с радиусом кривизны острия 10 нм локальное разрешение, выведя уравнение связи между локальным и вертикальным разрешениями.



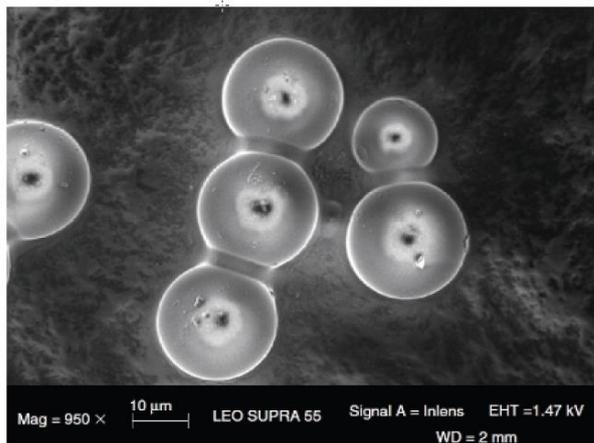
12. (КЗ) При сканировании кантилевером в контактном режиме одностенной УНТ, находящейся на подложке, был получено, что её диаметр равнялся 25 нм. Стоит ли верить этим данным? Предложите методику определения радиуса зонда кантилевера по изображениям УНТ.

**По теме № 6 «Элементы электронно-оптических приборов»**

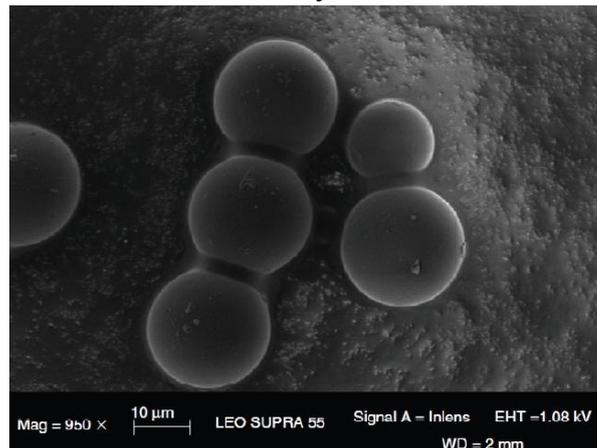
13. (КЗ) На электронном микроскопе JSM 6610 Iv в результате несанкционированного доступа нерадивых студентов, в неработающем состоянии микроскопа, была сбита настройка апертуры объективной линзы вращением ручек её смещения по оси X и Y. В результате при включении всех узлов микроскопа изображения так и не было получено. Предложите последовательность действий, которые вы вынуждены будете совершить, чтобы настроить электронную колонну микроскопа для получения качественных изображений.

14. (ЗПП) При наблюдении в РЭМ LEO SUPRA 55 силиконовых шариков (см. рисунок а)) были обнаружены загадочные образования на вершинах. Однако, при изменении ускоряющего напряжения они исчезли. Объясните, используя ваши знания в электронной

микроскопии, что это за образования и почему они исчезли.



а



б

15. (ЗПП) При наблюдении наноразмерных металлических структур на растровом электронном микроскопе JSM 6610 Iv, полученных на подложке посредством магнетронного напыления из-за получившейся зеркальной поверхности оказалось практически невозможно качественно сделать ряд настроек (астигматизма по X и Y, настройку апертуры относительно оси электронной колонны в режиме Wobble, размер точки Spot Seis и др.). Предложите способы произвести качественную настройку электронной пушки.

#### По теме № 7 «Основы растровой и просвечивающей электронной микроскопии.»

16. (ЗПП) При получении изображения на электронном микроскопе JSM 6610 Iv дендритных структур, полученных при пропускании электрического тока между медными электродами через раствор УНТ в плавиковой кислоте, оказалось, что изображение на большом увеличении порядка 50 000 крат недостаточно для получения более точных размеров, из-за расплывания изображения по каким-то причинам. Предложите последовательность действий, которые на ваш взгляд позволят улучшить качество изображения и кратность увеличения.

17. (ЗПП) При производстве микросистемной техники на контактные ножки некоторых ответственных электронных элементов напыляется слой золота определённой толщины и чистоты. На заводе выпускающем электронику для "чёрных ящиков" стало много выбраковываться деталей с такими элементами из-за нарушения контакта. Предложите способ контроля за соблюдением технологии пайки таких деталей и выяснения причин брака с помощью аналитической электронной микроскопии.

18. (ЗПП) При быстром запуске воздуха в электронную колонну микроскопа, сразу после выключения катодной пушки, оказалось, что при последующем наблюдении объектов качество изображения стало при всех тех же параметрах менее чётким. Почему это произошло, как это обнаружить и как этого избежать в будущем?

19. (ЗПП) При наблюдении в РЭМ JSM 6610 Iv шарика оловянно-свинцового припоя были обнаружены светлые и темные области. При увеличении тёмного включения было обнаружено изменение его формы (образование поплыло). Объясните наблюдаемые явления и что нужно предпринять, что бы прекратилось изменение формы тёмного включения? Как проверить ваши доводы?

**По теме № 7\_ «Электронно-зондовый рентгеновский микроанализ и рентгеновские методы исследования»**

20. (ЗПП) При наблюдении нанотрубок, полученных пиролизическим способом на электронном микроскопе JSM 6610 Iv и проведении ЭДС- анализа, оказалось, что кроме характеристических пиков, соответствующих углероду наблюдаются пики алюминия. Причём по процентам получается алюминия больше. В чём причина и как решить эту проблему по анализу УНТ?
21. (ЗПП) При наблюдении в электронный микроскоп полированного шлифа металлического образца, который для полировки на станке был залит в держатель из эпоксидного клея, было обнаружено, что образец самопроизвольно изменяет своё местоположение. Качественного снимка его поверхности (при медленной скорости сканирования электронного пучка) оказалось невозможно произвести. Почему это происходит, и как всё же получить качественное изображение поверхности?
22. (ЗПП) В результате термической обработки и проникновении атомов хрома в поверхность железной детали, на достаточно большую глубину, не меньше чем 20 мкм, намечено при помощи ЭДС определить изменение процентного содержания атомов хрома при диффузии в металлическую деталь от глубины. Предложите способ определения зависимости процентного содержания хрома от глубины посредством применения ЭДС и явления контаминации.
23. (КЗ) Одними из основных сплавов серебра является его сплавы с медью. При определении состава эталонного сплава серебра и меди на ЭДС при ускоряющем напряжении 15 кВ оказалось содержание серебра значительно меньше, чем положено. Объясните причину этого. Как преодолеть данное затруднение в определении состава меди и серебра?
24. (КЗ) При производстве микросистемной техники на контактные ножки некоторых ответственных электронных элементов напыляется слой золота определённой толщины и чистоты. На заводе выпускающем электронику для "чёрных ящиков" стало много выбраковываться деталей с такими элементами из-за нарушения контакта. Предложите способ контроля за соблюдением технологии пайки таких деталей и выяснения причин брака с помощью аналитической электронной микроскопии.

**Шкала оценивания решения компетентностно-ориентированной задачи:** в соответствии с действующей в университете балльно-рейтинговой системой оценивание результатов промежуточной аттестации обучающихся осуществляется в рамках 100-балльной шкалы, при этом максимальный балл по промежуточной аттестации обучающихся по очной форме обучения составляет 36 баллов, по очно-заочной и заочной формам обучения – 60 (установлено положением П 02.016).

Максимальное количество баллов за решение компетентностно-ориентированной задачи – 6 баллов.

Балл, полученный обучающимся за решение компетентностно-ориентированной задачи, суммируется с баллом, выставленным ему по результатам тестирования.

Общий балл промежуточной аттестации суммируется с баллами, полученными обучающимся по результатам текущего контроля успеваемости в течение семестра; сумма баллов переводится в оценку по 5-балльной шкале следующим образом:

Соответствие 100-балльной и 5-балльной шкал

| <i>Сумма баллов по 100-балльной шкале</i> | <i>Оценка по 5-балльной шкале</i> |
|---|-----------------------------------|
| 100-85                                    | отлично                           |
| 84-70                                     | хорошо                            |
| 69-50                                     | удовлетворительно                 |
| 49 и менее                                | неудовлетворительно               |

***Критерии оценивания решения компетентностно-ориентированной задачи:***

**6-5 баллов** выставляется обучающемуся, если решение задачи демонстрирует глубокое понимание обучающимся предложенной проблемы и разностороннее ее рассмотрение; свободно конструируемая работа представляет собой логичное, ясное и при этом краткое, точное описание хода решения задачи (последовательности (или выполнения) необходимых трудовых действий) и формулировку доказанного, правильного вывода (ответа); при этом обучающимся предложено несколько вариантов решения или оригинальное, нестандартное решение (или наиболее эффективное, или наиболее рациональное, или оптимальное, или единственно правильное решение); задача решена в установленное преподавателем время или с опережением времени.

**4-3 балла** выставляется обучающемуся, если решение задачи демонстрирует понимание обучающимся предложенной проблемы; задача решена типовым способом в установленное преподавателем время; имеют место общие фразы и (или) несущественные недочеты в описании хода решения и (или) вывода (ответа).

**2-1 балла** выставляется обучающемуся, если решение задачи демонстрирует поверхностное понимание обучающимся предложенной проблемы; осуществлена попытка шаблонного решения задачи, но при ее решении допущены ошибки и (или) превышено установленное преподавателем время.

**0 баллов** выставляется обучающемуся, если решение задачи демонстрирует непонимание обучающимся предложенной проблемы, и (или) значительное место занимают общие фразы и голословные рассуждения, и (или) задача не решена.