







Б.М. Усеинов^{1*} , А.Г. Маркова¹ , А.В. Первиков² , С.А. Сартин¹ ,
М.Б. Шогжанова¹ , Г.У. Сейльбекова¹ 

¹Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева, г.Петропавловск, Казахстан

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г.Томск, Россия

*e-mail: buseinov@gmail.com

ОСОБЕННОСТИ ПРЕПОДАВАНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ “НАНОТЕХНОЛОГИИ В ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ” В СЕВЕРО-КАЗАХСТАНСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ ИМЕНИ М.КОЗЫБАЕВА

Нанотехнологии впечатляющими масштабами захватили информационное поле, так или иначе связанное с научной тематикой. В современном мире термин “нанотехнологии” на слуху почти у каждого обывателя, в маркетинговых целях встречаются злоупотребления с отсылкой на эту область. Приведено определение, ограничивающее область применения данного термина. В то же время показаны прорывные возможности с использованием этой междисциплинарной сферы для науки, новейшие выдающиеся исследования как для продвижения цифровизации, так и для познания самого человека. В Северо-Казахстанском университете с 2022 года проводятся занятия по дисциплине “Нанотехнологии в естественно-научных исследованиях” с использованием высокоточного современного оборудования. Поставлена цель раскрыть особенности преподавания этой дисциплины на кафедре Физики. Рассмотрена важность обучения специалистов различных образовательных программ естественно-научного направления этой дисциплине, необходимость применения практических навыков исследования на передовом научном оборудовании: атомно-силовом микроскопе, сканирующем туннельном микроскопе. Приведены результаты сканирования студентами, полученные на лабораторных занятиях. Раскрыты аспекты преподавания этой дисциплины в Северо-Казахстанском университете на кафедре Физики, показана значимость полученных знаний и навыков в становлении будущего конкурентноспособного на рынке труда специалиста.

Ключевые слова: нанотехнологии, естественно-научные исследования, атомно-силовой микроскоп, сканирующий туннельный микроскоп, лабораторная работа, СЗМ-изображение.

Б.М. Усеинов^{1*}, А.Г. Маркова¹, А.В. Первиков², С.А. Сартин¹, М.Б. Шогжанова¹, Г.У. Сейльбекова¹

¹М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Петропавл қ., Қазақстан

²РФА СБ Күш физикасы және материалтану институты, Томск қ., Ресей

*e-mail: buseinov@gmail.com

М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университетінде «Жаратылыстану ғылымдарындағы нанотехнологиялар» пәнін оқыту ерекшеліктері

Нанотехнологиялар ақпараттық өрісті қандай да бір жолмен ғылыми тақырыптарға байланысты әсерлі ауқымда түсірді. Қазіргі заманда «нанотехнология» терминін іс жүзінде әрбір лайман тыңдайды, маркетинг мақсатында осы салаға сілтеме жасай отырып, теріс пайдаланулар орын алады. Бұл терминнің қолданылу аясын шектейтін анықтама келтіріледі. Сонымен қатар, осы пәнаралық саланы ғылым үшін пайдалана отырып, серпінді мүмкіндіктер, цифрландыруды ілгерілету үшін де, адамның өзін білуі үшін де ең соңғы көрнекті зерттеулер көрсетілген. 2022 жылдан бастап Солтүстік Қазақстан университетінде «Жаратылыстану ғылымын зерттеудегі нанотехнологиялар» пәні бойынша жоғары дәлдіктегі заманауи жабдықтарды пайдалана отырып сабақтар өткізілуде. Мақсаты – физика кафедрасында осы пәнді оқытудың ерекшеліктерін ашу. Бұл пән бойынша жаратылыстану ғылымдарының әр түрлі білім беру бағдарламаларының мамандарын даярлаудың маңыздылығы, алдыңғы қатарлы ғылыми жабдықтарға практикалық зерттеу дағдыларын қолдану қажеттілігі қарастырылады: атом күшінің микроскопы, туннельдік микроскопты сканерлеу. Зертханалық сабақтарда алынған оқушылардың сканерлеу нәтижелері келтіріледі. Физика кафедрасы жанындағы Солтүстік Қазақстан университетінде осы пәнді оқыту аспектілері ашылып, еңбек нарығында болашақ

бәсекеге қабілетті маманды қалыптастыруда алған білімдері мен дағдыларының маңыздылығы көрсетілген.

Түйін сөздер: нанотехнологиялар, жаратылыстану ғылымын зерттеу, атом күшінің микроскопы, туннельдік микроскопты сканерлеу, зертханалық жұмыстар, СПМ бейнесі.

B.M. Useinov^{1*}, A.G. Markova¹, A.V. Pervikov², S.A. Sartin¹, M.B. Shogzhanova¹, G.E. Seilbekova¹

¹M. Kozybayev North Kazakhstan University, Petropavlovsk, Kazakhstan

²Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS, Tomsk, Russia

*e-mail: b.useinov@gmail.com

Features of teaching the discipline "Nanotechnologies in natural sciences" at the M. Kozybayev North Kazakhstan University

Nanotechnology has captured the information field on an impressive scale, which is in one way or another related to scientific topics. In the modern world, the term "nanotechnology" is heard by almost every layman, for marketing purposes there are abuses with reference to this area. A definition is given that restricts the scope of this term. At the same time, breakthrough opportunities with the use of this interdisciplinary field for science, the latest outstanding research both for the promotion of digitalization and for the knowledge of man himself are shown. Since 2022, North Kazakhstan University has been conducting classes in the discipline "Nanotechnology in Natural Science Research" using high-precision modern equipment. The goal is to reveal the features of teaching this discipline at the Department of Physics. The importance of training specialists of various educational programs of the natural sciences in this discipline, the need to apply practical research skills on advanced scientific equipment: atomic force microscope, scanning tunneling microscope are considered. The results of scanning by students obtained in laboratory classes are given. The aspects of teaching this discipline at the North Kazakhstan University at the Department of Physics are revealed, the importance of the knowledge and skills gained in the formation of a future competitive specialist in the labor market is shown.

Key words: nanotechnology, natural science research, atomic force microscope, scanning tunneling microscope, laboratory work, SPM image.

Введение

Нанотехнологии ворвались в жизнь человека, даже если он не подозревает об этом. Направление зреть в "микрокосмос" задал еще в 1959 году Ричард Фейман в своей статье "Plenty of Room at the Bottom" ("Внизу много места") [1]. Закон Мура (наблюдение) задает уменьшение интегральных микросхем, ограничение этим тенденциям создает лишь сама природа: строение вещества [2]. И тем не менее кремневые век сменяется веком "графитовым", уже созданы нанотранзисторы, прорывные вычислительные компьютерные мощности используются для реализации ChatGPT, создания нейросетей и уже с высоких трибун говорят о так называемом "искусственном интеллекте".

Глава "Нанотехнологии и наноматериалы" введена даже в школьный учебник физики 11 класса в Казахстане автором Закировой Н.А. [3]. Впечатляющие открытия в этой области не только делают возможным глобальную цифровизацию, создания "искусственного интеллекта", но и по-новому позволяют взглянуть на самого человека.

Исследования Максима Никитина, опубликованные в журнале Nature Chemistry, привели к изобретению ДНК-компьютера [4]. Автор открыл новый фундаментальный механизм хранения информации в ДНК. Это позволит изучить природу самых разнообразных процессов, начиная от сложных заболеваний, тайн генетики, мгновенной памяти и старения до вопросов возникновения жизни на Земле и ее эволюции, а также улучшить специфичность генной терапии и безопасность ДНК/РНК-вакцин за счет выявления и снижения побочных реакций на препараты во время лечения.

Особенного внимания заслуживает тот факт, что Максим Никитин вел разработки самостоятельно, у статьи только один автор. Будучи физиком по образованию, работа в междисциплинарных областях с применением нанотехнологий позволила совершить научный прорыв, который еще даст свои плоды для человечества. Тем более становится актуальным изучение соответствующей дисциплины студентами СКУ естественно-научного направления. Более того это возможность

приобрести еще одну специальность: оператор сканирующего зондового микроскопа.

Среди множества определений термина нанотехнология, можно выделить определение, приведенное в “Концепции развития в Российской Федерации работ в области нанотехнологий на период до 2010 года” [5]. Согласно этой концепции нанотехнология определяется как совокупность методов и приемов, обеспечивающих возможность контролируемым образом создавать и модифицировать объекты, включающие компоненты с размерами объектов менее 100 нм, хотя бы в одном измерении, и в результате этого получившие принципиально новые качества, позволяющие осуществлять их интеграцию в полноценно функционирующие системы большего масштаба.

Положительный момент этого определения заключается в том, что оно четко задает область ограничения до 100 нм, избегая спекуляций на модном термине.

При очевидной теоретической и практической значимости обозначенной темы в казахстанском информационном поле практически отсутствуют публикации об особенностях преподавания дисциплины “Нанотехнологии в естественнонаучных исследованиях”, особенно реализованный опыт проведения лабораторных занятий по этой дисциплине. Новизна заключается во введении в обучение исследовательского процесса.

Метод исследования

Дисциплина “Нанотехнологии в естественнонаучных исследованиях” состоит из проведения лекционных, лабораторных занятий, а также самостоятельной работы студента совместно с преподавателем.

На лекциях и срап используются инновационные методы обучения: дискуссия, дебаты, case-study- метод конкретных обучающих ситуаций, метод блиц-опроса, метод критического мышления, мини-исследование, метод проектов, метод мозгового штурма,

проблемное обучение, лекция-беседа, лекция-визуализация, лекция-диспут, метод «круглого стола», «студенческая трибуна» и другие.

Особого внимания заслуживают лабораторные работы студентов естественнонаучного направления на сканирующем зондовом микроскопе (далее СЗМ), не имеющего аналогов такого уровня в других университетах Казахстана.

На лабораторных занятиях используется сканирующий зондовый микроскоп Solver NANO (Солвер НАНО СЗМ НАНОЭДЮКАТОР 2) производства компании NT-MDT Spectrum Instruments.

Микроскоп сопровождается руководством по эксплуатации. Кафедра Физики оснащена лабораторными работами на основе этого руководства. Методические указания по типовым расчетам, выполнению расчетно-графических, лабораторных работ находятся непосредственно в лабораторной аудитории.

Обязательно выделяется время на лабораторных занятиях на знакомство с методическими указаниями, с правилами эксплуатации, с правилами безопасности, условиями эксплуатации, так как оборудование дорогое, но несмотря на это все студенты в рамках изучения дисциплины обучаются получать СЗМ изображения. Присутствует обязательное заполнение журнала по технике безопасности. Проводится опрос, срез знаний по правилам эксплуатации. Следует отметить, что особо важные моменты в инструкции сопровождаются знаком “Внимание” и текстом, например: Перед включением контроллера необходимо зафиксировать все разъёмы. Отсоединение разъёмов во время работы может привести к повреждению электронных элементов.

Работа на самом микроскопе осуществляется посредством программного обеспечения: Nova Rx. Программа может быть скопирована в любое удобное место компьютера, но защищена от копирования на внешние носители. Ниже на рисунке 1 представлена панель окон и инструментов программы Nova Rx.



Рисунок 1 – Интерфейс программы Nova Rx

Микроскоп снабжен двумя измерительными головками: АСМ – атомно-силовая микроскопия и СТМ – сканирующая туннельная микроскопия.

Атомно-силовая микроскопия – вид зондовой микроскопии, в основе которой лежит силовое взаимодействие атомов. На расстоянии около одного ангстрема между атомами образца и атомом зонда (кантилевера) возникают силы отталкивания, а на больших расстояниях – силы притяжения. Идея устройства очень проста – кантилевер, перемещаясь относительно поверхности и реагируя на силовое взаимодействие, регистрирует ее рельеф. В сканирующих зондовых микроскопах исследование микрорельефа поверхности и ее локальных свойств проводится с помощью специальным образом приготовленных зондов в виде игл. Рабочая часть таких зондов (острие) имеет размеры порядка десяти нанометров. Характерное расстояние между зондом и поверхностью образцов в зондовых микроскопах по порядку величин составляет 0,1 – 10 нм [6].

Работа туннельного микроскопа основана на явлении протекания туннельного тока между металлической иглой и проводящим образцом. Сканирующая туннельная микроскопия предназначена для исследования свойств поверхностей проводящих материалов с разрешением вплоть до атомарного уровня [7]. Туннельный ток, регистрируемый в процессе сканирования, как утверждает Панфилова Е.В., достаточно мал ($0,5 \text{ пА} \div 50 \text{ нА}$), что дает возможность исследовать образцы с низкой проводимостью, в частности, биологические объекты [8]. Одним из недостатков СТМ является сложность интерпретации полученных результатов, так как изображение поверхности, полученное с использованием СТМ, определяется не только рельефом поверхности, но и различными локальными электрическими характеристиками поверхности. Тем более возникает необходимость не только в обучении получения изображения, но и в обучении интерпретации изображения, получения навыков работы с фильтрами.

Перечень предусмотренных лабораторных работ:

1 Получение первого СЗМ изображения.

2 Обработка и количественный анализ СЗМ изображений.

3 Исследование поверхности твердых тел полуконтактным методом атомно-силовой микроскопии.

4 Артефакты в сканирующей зондовой микроскопии.

5 Изготовление зондов для СЗМ методом электрохимического травления.

6 Исследование поверхности твердых тел методами сканирующей туннельной микроскопии.

7 Зондовая литография.

8 Калибровка сканеров [9].

Лабораторная работа проводится в три этапа, каждый из которых оценивается.

1 Допуск. Подготовительный этап включает проверку теоретической подготовки студента к работе, знание этапов лабораторной работы, а также первичный отчет к лабораторной работе, содержащий основные требования к оформлению: номер, название лабораторной работы, цель, приборы и материалы, ход работы, содержащий ключевые этапы выполнения лабораторной работы.

2 Измерения и отчет. В ходе выполнения лабораторной работы студент в отчете фиксирует ключевые аспекты, цифровые данные, сопровождает необходимыми графиками. А также прилагает скриншоты программного окна, которые помогают в последующем этапе восстановить в памяти некоторые операции.

3 Защита лабораторной работы. Включает в себя опрос по контрольным вопросам, прилагаемым к лабораторной, а также в целом оценка результатов деятельности на лабораторном занятии, проверка достигнутых целей.

Результат исследования

К измерениям допускаются группы по 2-3 человека, для этого учебная группа разбивается на подгруппы. За один академический час в среднем такая подгруппа успевает сделать измерения. То есть на одну работу всей учебной группы уходит две недели. Вне работы за микроскопом, подгруппы изучают теоретический материал, получают допуски к лабораторным работам, защищают работы в устном опросе преподавателем, что требует достаточных временных затрат, поэтому уплотнение подгрупп не допустимо ни по санитарным требованиям к эксплуатации микроскопа, ни по эффективному обучению студентов, чтобы каждый студент успел несколько раз за семестр сделать измерения на таком высококлассном оборудовании. Это безусловно передовой опыт, позволяющий выпускнику стать конкурентноспособным специалистом в современном мире.

Представленные ниже изображения (рисунки 2 и 3) получены зондом, самостоятельно

изготовленным студентами на практических занятиях с помощью метода электрохимического травления. Зонд для СТМ головки

изготавливается из вольфрамовой проволоки, толщина на конце достигает одного атома.



Рисунок 2 – Изготовление зонда с помощью электрохимического травления

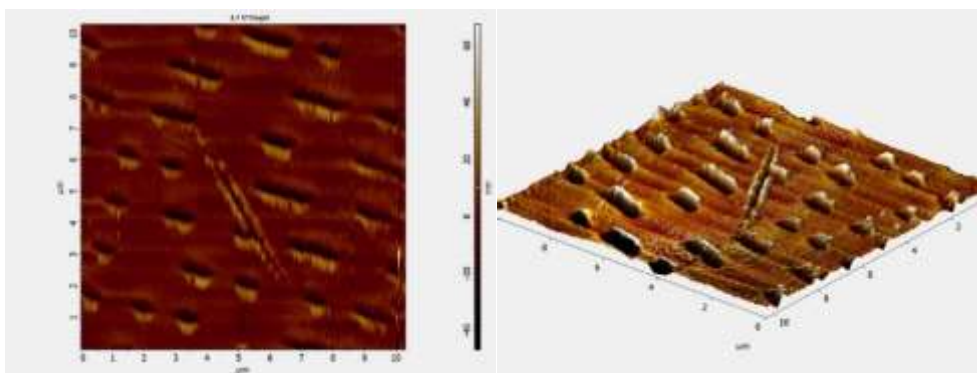


Рисунок 3– Изображение DVD-диска полученное с помощью СТМ измерительной головки в 2D и 3D представлении

После приобретения навыков работы с фильтрами в одной из лабораторных работ

представленная калибровочная решетка (рисунок 4) приобретает вид, представленный на рисунке 5.

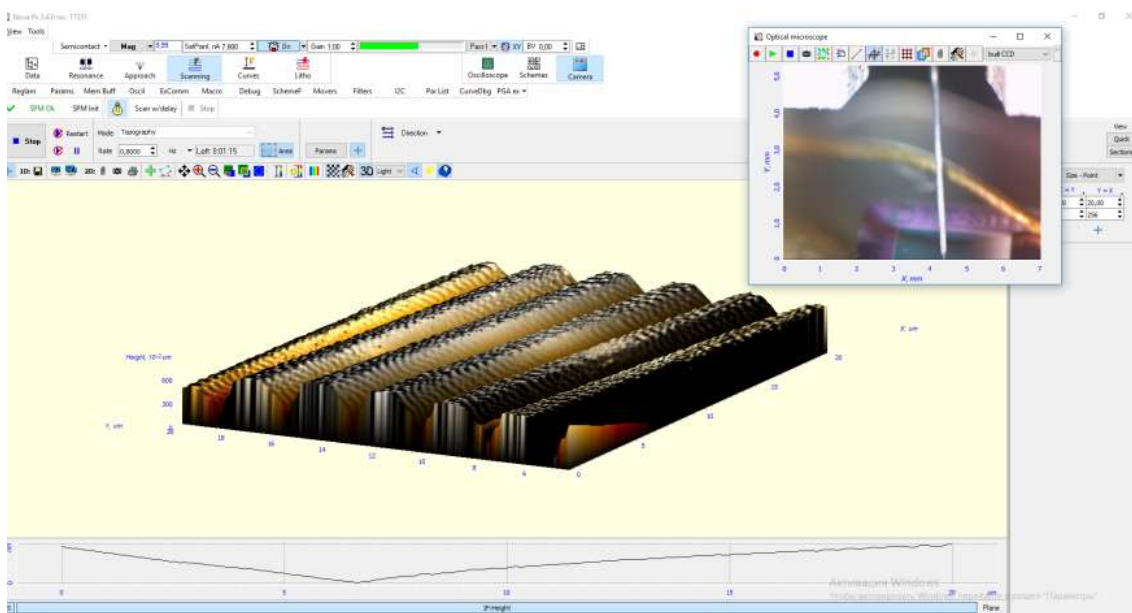


Рисунок 4 – Сканирование. 3D представление изображения калибровочной решетки

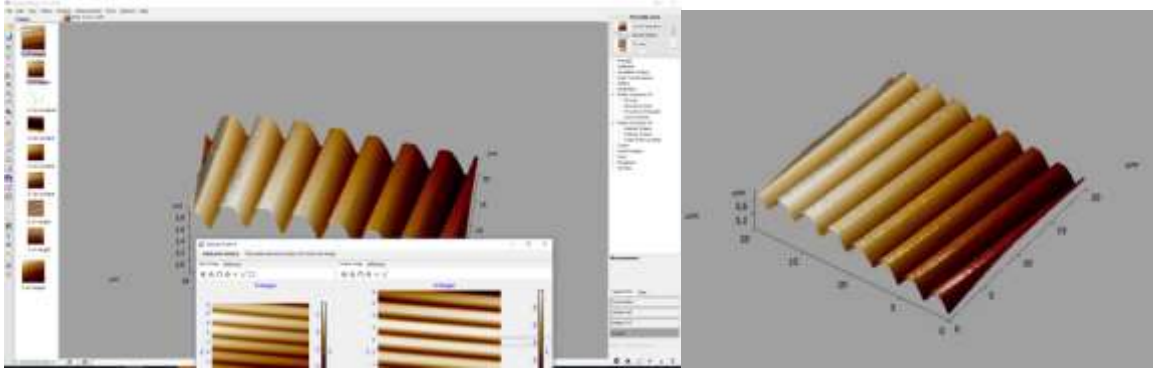


Рисунок 5 - Работа с фильтрами в программе Nova Rx

По сути, мы не видим микро и нано мир, но мы передаем его ощущение. И высотное представление передается цветом, который тоже можно менять (рисунок 6).

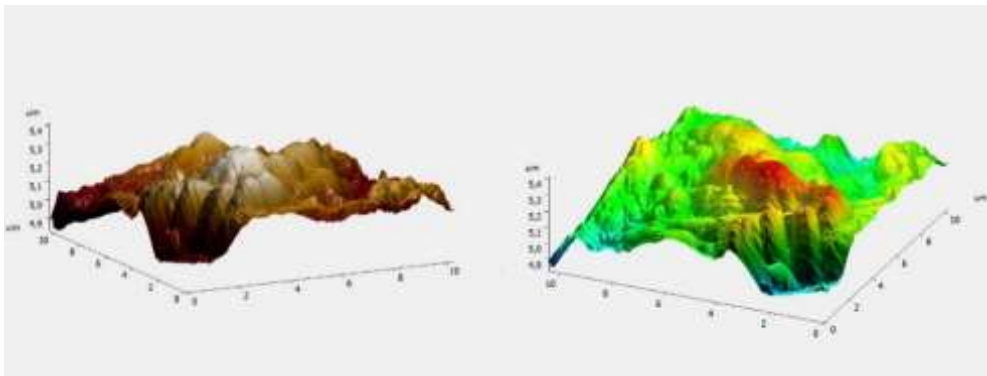


Рисунок 6 – Различное цветовое представление высоты в программе Nova Rx

На лабораторных занятиях проводится сканирование различных поверхностей: DVD-диск, камень, битум, бумага, пленка, кровь, различные металлические образцы после электролиза, стекло, сушеные листья (рисунок 7).

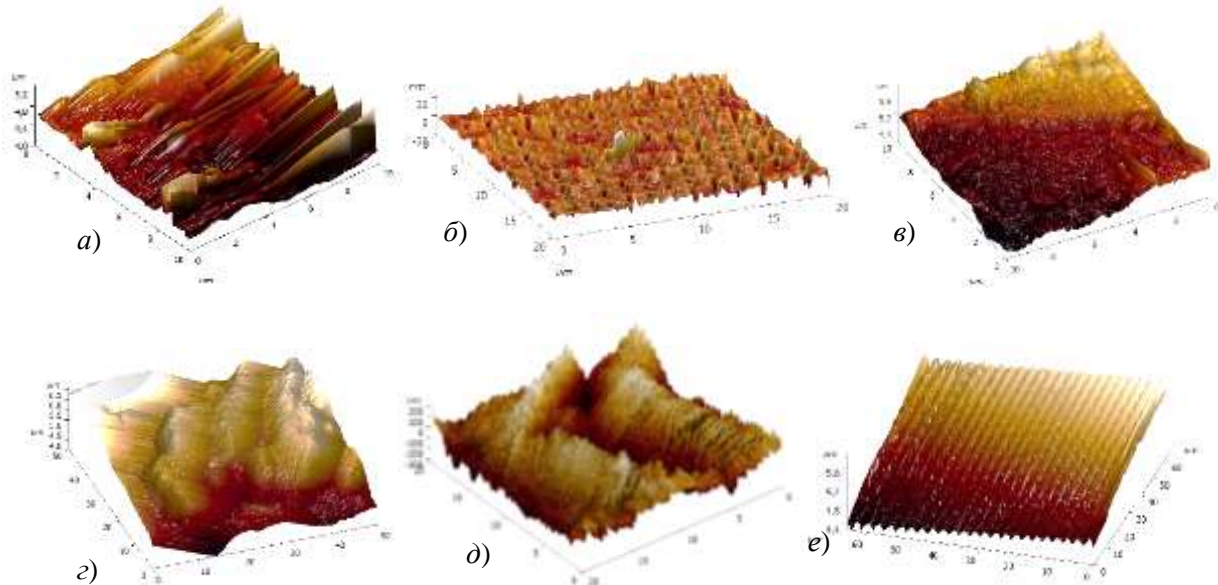


Рисунок 7 – Примеры сканированных поверхностей: а) камень, б) диск, в) поверхность после электролиза, г) бумага, д) кровь сухая, е) калибровочная решетка

Выводы

Приобретение опыта работы с таким передовым оборудованием можно рекомендовать для технических, технологических, даже медицинских специальностей.

Будущему специалисту естественнонаучного направления владение даже теоретическими знаниями в области нанотехнологий и

сканирующей зондовой микроскопии дает конкурентное преимущество на рынке труда, полученные же практические навыки лабораторных исследований могут стать серьезным фундаментом для становления казахстанского ученого, владеющего передовым инструментом познания мира.

Литература

- 1 Feynman R.P. The Wonders That Await a Micro-Microscope //The Saturday Review. –1960. – Vol.2. -P.45-47.
- 2 By Peter J. Denning, Ted G. Lewis Exponential Laws of Computing Growth // Communications of the ACM - January 2017 - Vol. 60 №. 1 - P.54-65
- 3 Закирова Н.А. Аширов Р.Р. Физика. Учебник для 11 класса. – Нур-Султан: Арман-ПВ, 2020. – 336 с.
- 4 Nikitin M.P. Non-complementary strand commutation as a fundamental alternative for information processing by DNA and gene regulation // Nature Chemistry. – 2023. – Vol.15. – P.70-82.
- 5 Концепция развития в РФ работ в области нанотехнологии на период до 2010 г. — М., 2004.
- 6 Нагорнов Ю.С. Изучение биологических объектов методами атомно-силовой микроскопии - Тольятти: ТГУ, 2012. - 67 с.
- 7 Миронов В. Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. Учебное пособие для студентов старших курсов высших учебных заведений. РАН. Институт физики микроструктур. Нижний Новгород, 2004. – 114 с.
- 8 Панфилова Е.В., Сырицкий А.Б., Доброносова А.А. Применение методов сканирующей зондовой микроскопии в исследовании опаловых наноструктур // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2018. – №1. – С.1-11.
- 9 Круглов А.В., Филатов Д.О., Гущина Ю.Ю., Звонкова М.Б., Голубок А.О., Фельштын М.Л., Горбенко О.М., Сапожников И.Д. Сканирующая зондовая микроскопия. – 2018.
- 10 Pervikov A., Lerner M., Krukovskii K. Structural characteristics of copper nanoparticles produced by the electric explosion of wires with different structures of metal grains // Current Applied Physics. – 2017. – Vol.17, Issue 2. – P.201-206.

References

- 1 R.P. Feynman, The Saturday Review, April 2, 45-47 (1960).
- 2 By Peter J. Denning and Ted G. Lewis, Communications of the ACM, №. 1, 54-65 (2017).
- 3 N.A. Zakirova, R.R. Ashirov, Fizika. Uchebnik dlya 11 klassa. (Nur-Sultan: Arman-PV, 2020), 336 p. (in Russ.)
- 4 P.M. Nikitin, Nature Chemistry 15, 70-82 (2023).
- 5 Kontseptsiya razvitiya v RF rabot v oblasti nanotekhnologii na period do 2010 g. M. (2004) (in Russ.)
- 6 Yu.S. Nagornov, Izucheniye biologicheskikh ob"yektov metodami atomno-silovoy mikroskopii (Tol'yatti: TGU, 2012), 67 p. (in Russ.)
- 7 V.L. Mironov, Osnovy skaniruyushchey zondovoy mikroskopii. Uchebnoye posobiye dlya studentov starshikh kursov vysshikh uchebnykh zavedeni. (RAN. Institut fiziki mikrostruktur. Nizhniy Novgorod, 2004) 114 p. (in Russ.)
- 8 Ye.V. Panfilova, A.B. Syritskiy and A.A. Dobronosova, Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii 1, 1-11 (2018) (in Russ.)
- 9 A.V. Kruglov, D.O. Filatov, Yu.Yu. Gushchina, M.B. Zvonkova, A.O. Golubok, M.L. Fel'shtyn, O.M. Gorbenko and I.D. Sapozhnikov, Skaniruyushchaya zondovaya mikroskopiya, (2018) (in Russ.)
- 10 A. Pervikov, M. Lerner and K. Krukovskii, Current Applied Physics 17 (2), 201-206 (2017).

История статьи:

Поступила 01 марта 2024 г.
Принята 12 июня 2024 г.

Article history:

Received 01 March 2024
Accepted 12 June 2024

Информация об авторах:

1. Бейбут Усеинов (автор корреспондент) – канд.физ.-мат.наук, проф., Северо-Казахстанский

Information about authors:

1. Beybut Useinov (corresponding author) – Cand. of Phys. and Math. Sc., Prof., M. Kozybayev North

университет им. М. Козыбаева (Казахстан, г. Петропавловск, email: buseinov@gmail.com)

2. **Агния Маркова** – Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева (Казахстан, г. Петропавловск, email: agni.m@bk.ru)

3. **Александр Первиков** – канд.тех.наук, Институт физики прочности и материаловедения СО РАН (Россия, г.Томск, email: Pervikov@list.ru)

4. **Сергей Сартин** – канд.физ.-мат.наук, доцент, Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева (Казахстан, г. Петропавловск, email: Sartin78@mail.ru)

5. **Меруерт Шогжанова** – Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева (Казахстан, г. Петропавловск, email: bulakmik@mail.ru)

6. **Гульмира Сейльбекова** – Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева (Казахстан, г. Петропавловск, email: tanina.g@bk.ru)

Kazakhstan University (Petropavlovsk, Kazakhstan, email: buseinov@gmail.com).

2. **Agniya Markova** – M. Kozybayev North Kazakhstan University (Petropavlovsk, Kazakhstan, email: agni.m@bk.ru).

3. **Alexander Pervikov** – Cand. of Tech. Sc., Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS (Tomsk, Russia, email: Pervikov@list.ru).

4. **Sergey Sartin** – Cand. of Phys. and Math. Sc., M. Kozybayev North Kazakhstan University (Petropavlovsk, Kazakhstan, email: Sartin78@mail.ru).

5. **Meruert Shogzhanova** – M. Kozybayev North Kazakhstan University (Petropavlovsk, Kazakhstan, email: bulakmik@mail.ru).

6. **Gulmira Seilbekova** – M. Kozybayev North Kazakhstan University (Petropavlovsk, Kazakhstan, email: tanina.g@bk.ru).