



Получено: 5.08.2024 г. | Принято: 9.08.2024 г. | DOI: <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2024.17.6.392.398>

Научная статья

"ФЕМТОСКАН ОНЛАЙН" В НАУЧНОЙ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ: ПОСЧИТАТЬ, ИЗМЕРИТЬ И ВИЗУАЛИЗИРОВАТЬ

А.И.Ахметова^{1, 2}, к.ф.-м.н., науч. сотр., ORCID: 0000-0002-5115-8030

Т.О.Советников^{1, 2, 3}, асп., инж., пед. доп. обр., ORCID: 0000-0001-6541-8932

Л.Н.Оболенская^{3, 4}, к.х.н., учит., инж., ORCID: 0009-0002-2347-2353

И.В.Яминский^{1, 2}, д.ф.-м.н., проф., ген. дир., ORCID: 0000-0001-8731-3947 / yaminsky@nanoscopy.ru

Аннотация. ПО "ФемтоСкан Онлайн" используется для обработки данных атомно-силовой, оптической и электронной микроскопии. Но это вовсе не значит, что его применяют исключительно в научных или производственных целях. Удобный программный интерфейс, яркие цветовые палитры и наглядное представление данных позволяет обучать и школьников основам физики объектов нанометрового масштаба. Красочные изображения становятся особенно интересны, если палитру создавал сам школьник. Простая подготовка образцов и понятный алгоритм обработки данных делают ПО незаменимым инструментом в современном образовании, что успешно применяют на занятиях по химии и в рамках проектной деятельности учащихся в школе № 2065.

Ключевые слова: обработка и анализ данных, атомно-силовая микроскопия, сканирующая зондовая микроскопия, бионаноскопия

Для цитирования: А.И. Ахметова, Т.О. Советников, Л.Н. Оболенская, И.В. Яминский. "ФемтоСкан онлайн" в научной и образовательной деятельности: посчитать, измерить и визуализировать. НАНОИНДУСТРИЯ. 2024. Т. 17. № 6. С. 392-398. <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2024.17.6.392.398>.

Received: 5.08.2024 | Accepted: 9.08.2024 | DOI: <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2024.17.6.392.398>

Original paper

FEMTOSCAN ONLINE SOFTWARE IN SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL ACTIVITIES: COUNT, MEASURE AND VISUALIZE

А.И.Akhmetova^{1, 2}, Cand. of Sci. (Physics and Mathematics), Researcher, ORCID: 0000-0002-5115-8030

Т.О.Sovetnikov¹, Postgraduate, Engineer, Add. Ed. Teacher, ORCID: 0000-0001-6541-8932

Л.Н.Obolenskaya^{3, 4}, Cand. of Sci. (Chemistry), Chemistry teacher, Engineer, ORCID: 0009-0002-2347-2353

И.В.Yaminsky^{1, 2}, Doct. of Sci. (Physics and Mathematics), Prof., Director, ORCID: 0000-0001-8731-3947 /

yaminsky@nanoscopy.ru

Abstract. FemtoScan Online software is used to process data from atomic force, optical and electron microscopy. But this does not mean that it is used exclusively for scientific or industrial purposes. A convenient software interface, bright color palettes and visual representation of data allows you to teach schoolchildren the basics of physics of nanometer-scale objects. Colorful images become especially interesting if the palette was prepared by

¹ МГУ имени М.В.Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия / Lomonosov Moscow State University, Physical Department, Moscow, Russia

² ООО НПП "Центр перспективных технологий", Москва, Россия / Advanced Technologies Center, Moscow, Russia

³ ГБОУ Школа № 2065, Москва, Россия / SBEI School No. 2065, Moscow, Russia

⁴ НОЦ "Нанотехнологии" РУДН, Москва, Россия / Scientific and Educational Center "Nanotechnology" RUDN, Moscow, Russia



the schoolchildren himself. Simple sample preparation and a clear data processing algorithm make the software an indispensable tool in modern education, which is successfully used in chemistry and within the framework of students' project activities classes at school No. 2065.

Keywords: data processing and analysis, atomic force microscopy, scanning probe microscopy, bionanoscopy

For citation: A.I. Akhmetova, T.O. Sovetnikov L.N. Obolenskaya, I.V. Yaminsky. FemtoScan online software in scientific and educational activities: count, measure and visualize. NANOINDUSTRY. 2024. Vol. 17. No. 6. PP. 392–398. <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2024.17.6.392.398>.

ВВЕДЕНИЕ

Проект по применению программного обеспечения "ФемтоСкан Онлайн" разработан для широкого использования инициативными преподавателями в качестве дополнительного обучения школьников всех возрастов. Школьники могут наглядно представить объекты, с которыми сталкиваются в школьной программе на уроках физики – поверхности материалов, наночастицы, атомы; химии – реакции на поверхности, окисление, коррозия и др.; биологии – кишечная палочка, вирус, нейроны, стволовые и опухолевые клетки, ДНК и РНК [1].

С помощью программного обеспечения ученики смогут изучить объекты наномира: атомную решетку различных материалов (графита, золота и т.д.), биомолекулы, вирусы растений, клетки высших организмов, бактерий, современные наноматериалы, научатся взаимодействовать с программным обеспечением, используемом в реальной научной работе и в промышленности. Использование программного обеспечения "ФемтоСкан Онлайн" уже апробировано на базе Университетской гимназии МГУ, ГБОУ Школы № 2065 и в созданном нами при поддержке правительства Москвы ЦМИТ "Нанотехнологии" физического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова.

"ФемтоСкан Онлайн" позволяет проанализировать 3D-изображения, полученные с помощью атомно-силовой, электронной и оптической микроскопии. Для каждого из объектов исследования в зондовой микроскопии можно посчитать геометрические размеры объекта, шероховатость поверхности, периметр, площадь, объем, построить сечение и измерить углы, и даже создать собственную короткометражку с пролетом над поверхностью. Таким образом, школьники могут не только наглядно представить объекты, с которыми сталкиваются в школьной программе на уроках физики, химии и биологии, но и подготовить собственный научный проект и принять участие в конкурсах и конференциях.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В одной из работ со школьниками исследовались характеристики новых недорогих и безопасных индикаторов "свет – время – температура"

INTRODUCTION

The project on application of FemtoScan Online software has been developed for wide use by initiative teachers as additional training for schoolchildren of all ages. Schoolchildren can visualise objects that they encounter in the school curriculum during physics lessons – surfaces of materials, nanoparticles, atoms, chemistry – reactions on surfaces, oxidation, corrosion and others, biology – E. coli, virus, neurons, stem and tumour cells, DNA and RNA [1].

Using this software, students will be able to study the nanoworld objects: atomic lattice of various materials (graphite, gold, etc.), biomolecules, plant viruses, cells of higher organisms, bacteria, modern nanomaterials, and learn to interact with software used in real scientific work and in industry. The use of FemtoScan Online software has already been tested at the MSU University Gymnasium, State Budgetary Educational Institution School No. 2065 and at the Physical Department of Lomonosov Moscow State University, YICC "Nanotechnologies" created with the support of the Moscow City Government.

FemtoScan Online allows analysing 3D images obtained by atomic force, electron and optical microscopy. For each of the objects studied in probe microscopy, it is possible to calculate geometric dimensions of the object and surface roughness, calculate the perimeter, area, volume, construct a cross-section and measure angles, and even make your own short film with a fly-through of the surface. Thus, schoolchildren can not only visualise the objects they encounter in the school programme in physics, chemistry and biology lessons, but also prepare their own scientific project and take part in competitions and conferences.

RESEARCH METHODS

In one of the works with schoolchildren the characteristics of new inexpensive and safe indicators "light-time-temperature" for products of pharmaceutical and food industries were studied. For this purpose, stable sols of titanium dioxide nanoparticles modified with titanium (IV) peroxocomplexes were obtained and characterised. Electron absorption spectroscopy, dynamic

для продукции фармацевтической и пищевой промышленности. Для этого были получены и охарактеризованы стабильные золи наночастиц диоксида титана, модифицированных пероксокомплексами титана (IV). Электронная абсорбционная спектроскопия, динамическое рассеяние света, сканирующая зондовая микроскопия и экспериментальные кинетические данные показывают, что, варьируя условия синтеза и, следовательно, стабильность пероксокомплексов Ti (IV), можно обеспечить симбатность их обесцвечивания с деградацией конкретного мечтного объекта после истечения срока годности и/или при несоблюдении требуемых температурных условий и/или при хранении на свету. Наиболее важным результатом данного исследования является то, что были обнаружены корреляции между условиями модификации золей пероксида титана, их оптическими свойствами, морфологией полученных из них пленок и кинетикой их обесцвечивания при освещении [2].

Другой пример – приданье биосовместимости и коррозионной стойкости титановым штифтам для имплантов. Существуют две проблемы, связанные с титановыми имплантами (наиболее используемыми благодаря химической стойкости и механической прочности Ti). Первая проблема – значительное различие физико-химических и механических свойств костной ткани и титана, которое вызывает активное отторжение у организма человека. Поэтому необходимо создать переходный слой между титаном и костной тканью, улучшающий остеointеграцию. Вторая проблема – возможность химической и биодеградации поверхности титана. Она приводит к необходимости замены титановых имплантов. Это тоже решаемо с помощью нанесения покрытия, улучшающего стойкость поверхности импланта. Для решения обеих этих проблем нам идеально подходит ГА (гидроксиапатит), но новая проблема возникает при нанесении ГА, даже наноразмерного, на поверхность титана, так как он не схож с любым металлом, а значит его пленка непрочна. Мы впервые придумали сделать связующим слоем нано-TiO₂, полученный из сульфата титанила.

С помощью массивов данных, визуализированных и обработанных с помощью "ФемтоСкан Онлайн", было установлено, что толщина двойного слоя нано-TiO₂ (анатаза) + нано-гидроксиапатит на отшлифованной титановой пластине меньше, чем суммарная толщина каждой из этих нанопленок (рис.1, 2), нанесенных по отдельности.

На рис.1 видно, что рельеф слоя гидроксиапатита характеризуется перепадом высот до 300 нм.

Чтобы оценить толщину двойного нанопокрытия, а не только перепад высот, зубочисткой была линейно поцарапана часть напыления с последующим сканированием участка на АСМ (рис.3). Изображение

light scattering, scanning probe microscopy and experimental kinetic data show that by varying the synthesis conditions and hence the stability of the Ti (IV) peroxocomplexes, it is possible to ensure that their decoloration is symbiotic with degradation of the particular labelled object after expiry and/or when the required temperature conditions are not met and/or when stored in the light. The most important result of this study is that correlations were found between modification conditions of titanium peroxide sols, their optical properties, morphology of the films obtained from them, and the kinetics of their decoloration under illumination [2].

Another example is making titanium implant posts biocompatible and corrosion resistant. There are two problems associated with titanium implants (most used due to the chemical resistance and mechanical strength of Ti). The first problem is the significant difference between physicochemical and mechanical properties of bone tissue and titanium, which causes active rejection in the human body. Therefore, it is necessary to make a transition layer between titanium and bone tissue that improves osseointegration. The second problem is the possibility of chemical and biodegradation of the titanium surface. This leads to the need to replace titanium implants. This can also be solved by applying a coating that improves the resistance of the implant surface. HA (hydroxyapatite) is ideal for solving both these problems, but a new problem arises when applying HA, even nanoscale, to the surface of titanium, as it is not similar to any metal, and therefore its film is fragile. We first came up with the idea of making nano-TiO₂ derived from titanyl sulphate as a bonding layer.

Using data sets visualised and processed using FemtoScan Online, it was found that the thickness of the double layer of nano-TiO₂ (anatase) + nano-hydroxyapatite on the ground titanium plate was less than the combined thickness of each of these nano-films (Figs.1, 2) applied individually.

Figure 1 shows that topography of the hydroxyapatite layer is characterised by a height difference of up to 300 nm.

To estimate thickness of the double nanocoating and not only the height difference, a toothpick was used to linearly scratch a part of the sputtering with subsequent scanning of the area on AFM (Fig.3). The image was obtained in contact mode: the height of the step was about 250–300 nm based on the cross-sectional data.

It is also noteworthy that this software can be used to monitor the etching of LEGO MINDSTORMS® parts made of ABS used in the construction of robotic devices for the synthesis and study of nano-objects by high school students [3]. According to the table [4], the solvent most hazardous to ABS, acetic acid, was selected.

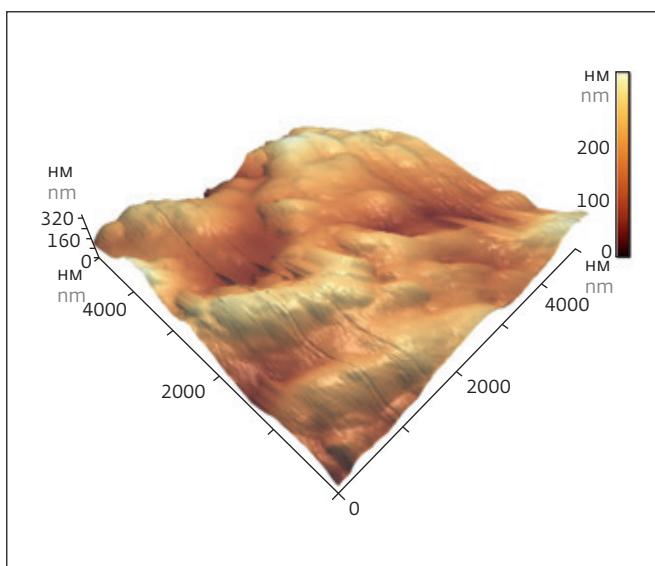


Рис.1. 3D-рельеф типичного участка покрытия из гидроксиапатита. Рельеф анатаза на титане (рис.2) имеет перепад высот до 300 нм

Fig.1. 3D relief of a typical hydroxyapatite coating area. The relief of anatase on titanium (Fig.2) has a height difference of up to 300 nm

получено в контактном режиме: высота ступени составила около 250–300 нм по данным сечения.

Также примечательно, что это ПО можно применять для мониторинга травления деталей LEGO MINDSTORMS® из ABS, применяемых в конструировании старшеклассниками робоустановок для синтеза и изученияnanoобъектов [3]. По таблице [4] был выбран растворитель, наиболее опасный для ABS – уксусная кислота. Одна из однотипных деталей была отсканирована без всякой обработки (рис.4). Снимки получены в резонансном режиме на микроскопе "ФемтоСкан", кантilever NSG10. На полученных кадрах топографии образца наблюдаем достаточно ровную поверхность детали. Из особенностей рельефа стоит отметить продольговатые рытвины (впадины) длиной 200–400 нм и шириной/глубиной в среднем около 150 нм. Также на поверхности присутствуют в небольшом количестве "мусорные" объекты с латеральными размерами от 100 до 200 нм и высотой 50–150 нм, а также их агрегаты средних и относительно крупных размеров.

Вторая деталь была отсканирована после 2 ч работы в качестве лопасти мешалки, вращавшейся (150 об/мин) в "ледяной" уксусной кислоте 2 ч (рис.5). На полученных кадрах в большом количестве наблюдаем выпавшие в осадок на поверхности детали наночастицы латеральным размером около 100 нм и высотой от 30 до 60 нм, а также их агрегаты. Отчетливо видно, как частицы и агрегаты собираются в области рытвин и других особенностей рельефа исходной детали.

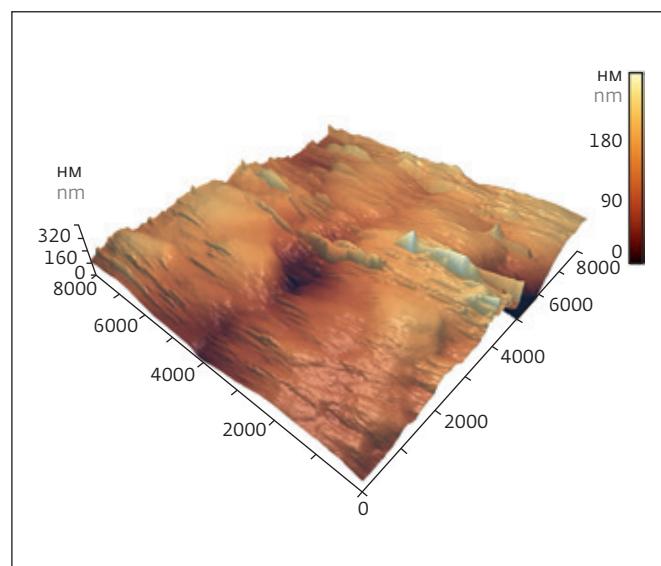


Рис.2. 3D-рельеф типичного участка покрытия из наноанатаза

Fig.2. 3D relief of a typical nano-anatase pavement section

One of the identical parts was scanned without any processing (Fig.4). Images were obtained in resonance mode on a FemtoScan microscope, cantilever NSG10. On the obtained images of sample topography we observe rather flat surface of the part. Among the relief features we should note oblong potholes (depressions) with the length of 200–400 nm and width/depth of about 150 nm on average. Also on the surface there are in small quantity "rubbish" objects with lateral dimensions from 100 to 200 nm and height of 50–150 nm, as well as their aggregates of medium and relatively large sizes.

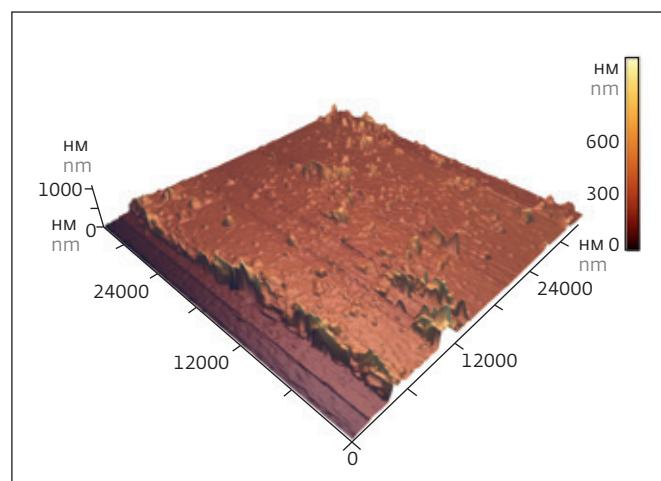


Рис.3. 3D-рельеф "царапанного" участка покрытия "анатаз + гидроксиапатит"

Fig.3. 3D relief of the "scratched" section of the "anatase + hydroxyapatite" coating

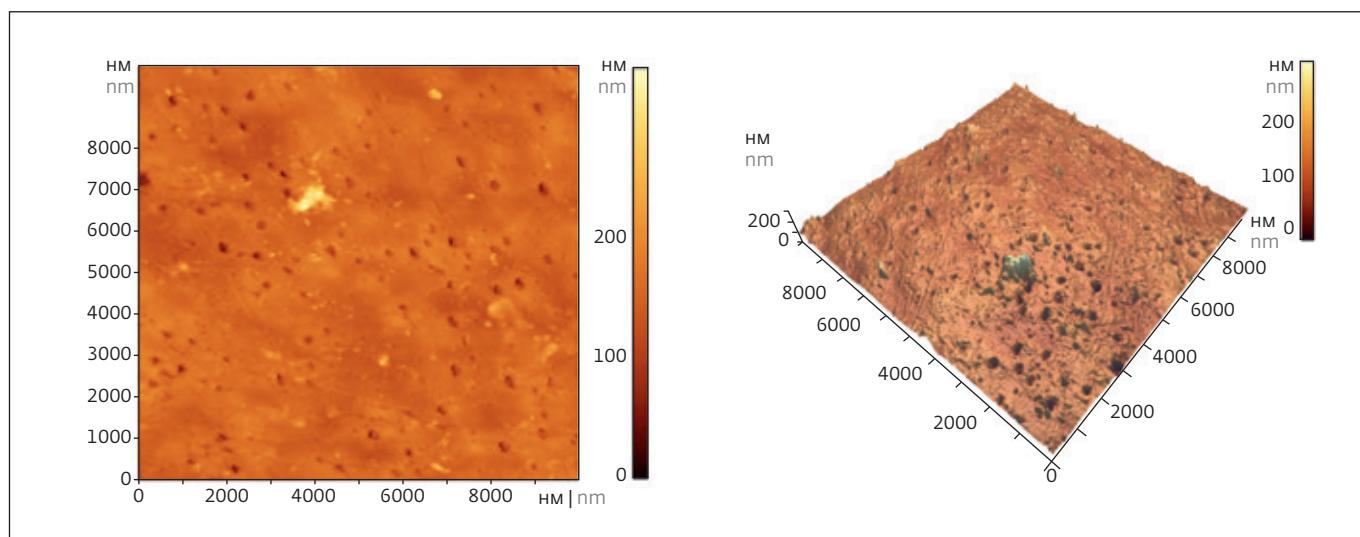


Рис.4. 2D- и 3D-визуализация рельефа характерного участка поверхности необработанной детали
Fig.4. 2D and 3D visualisation of the characteristic surface area relief of the unprocessed part

После аналогичного перемешивания в течение 4 ч наблюдаются (рис.6) выпавшие в осадок на поверхности детали наночастицы с латеральным размером около 150 нм и высотой от 40 до 60 нм, а также их агрегаты преимущественно крупных размеров в несколько сотен нанометров. Частицы и агрегаты все так же собираются в области неровностей поверхности исходной детали.

Четвертая деталь из той же серии была отсканирована после синтеза наномагнетита, в ходе которого она выступала лопастью верхнеприводной мешалки. На полученных кадрах топографии детали наблюдается (рис.7) перепад высот до 900 нм по сравнению

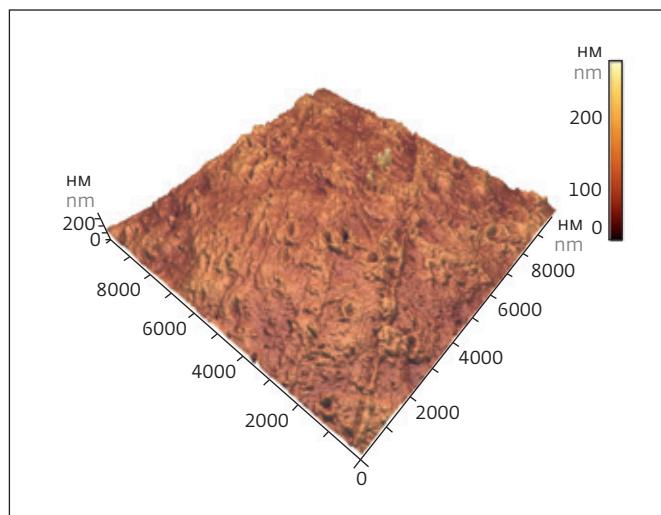


Рис.5. 3D-визуализация рельефа характерного участка поверхности детали после 2 ч перемешивания уксусной кислоты
Fig.5. 3D visualisation of the characteristic area relief of the part surface after 2 h of acetic acid agitation

The second part was scanned after 2 h of operation as a stirrer blade rotated (150 rpm) in "ice-cold" acetic acid for 2 h (Fig.5). In the obtained frames, nanoparticles with lateral size of about 100 nm and height of 30 to 60 nm, as well as their aggregates, are observed precipitated on the surface of the part in large numbers. It is clearly visible how particles and aggregates are collected in the area of potholes and other relief features of the original part.

After similar stirring for 4 h, nanoparticles with lateral size of about 150 nm and height of 40 to 60 nm, as well as their aggregates with predominantly large sizes of several hundred nanometres are observed (Fig.6) precipitated on the part surface. The particles and aggregates are still "collected" in the area of irregularities in the surface of the original part.

The fourth part from the same series was scanned after synthesis of nanomagnetite, during which it acted as a blade of a top-driven stirrer. In obtained frames of the part topography, a height difference of up to 900 nm is observed (Fig.7) compared to the previous samples of parts. Nanoparticles with lateral dimensions of 100 to 150 nm and heights of 30–60 nm, as well as their aggregates of medium and relatively large sizes are present on the surface. The particles and aggregates are collected in the area of depressions and other relief features of the original part.

CONCLUSIONS

Thus, FemtoScan Online software can be used for data processing at chemistry and physics lessons, for preparation of schoolchildren's competitive projects, for participation in conferences and Olympiads. These data will

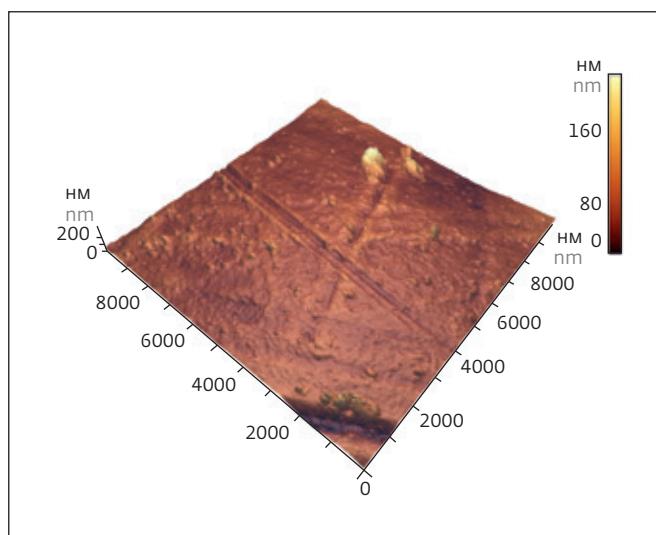


Рис.6. 3D-визуализация рельефа характерного участка поверхности детали после 4 ч перемешивания уксусной кислоты
Fig.6. 3D visualisation of the characteristic area relief of the part surface after 4 h of acetic acid agitation

с предыдущими образцами деталей. На поверхности присутствуют наночастицы с латеральными размерами от 100 до 150 нм и высотой 30–60 нм, а также

always be unique, and schoolchildren will be involved in the research process at a safe level as they will process the obtained images and interpret them independently.

At the Physical Department of MSU in the Youth Innovative Creativity Centre "Nanotechnologies" we are also actively engaged in studying objects of the nano-world with schoolchildren. The use of FemtoScan Online implies interactive participation of children in the selection of research objects, development of original colour palette, video clips, presentations while performing independent research. For each school that applies to us, we provide free of charge FemtoScan Online software package, image atlas and a set of tasks for data processing, construction and analysis. Thus, three-dimensional images will become available for research for any schoolchild.

PEER REVIEW INFO

Editorial board thanks the anonymous reviewer(s) for their contribution to the peer review of this work. It is also grateful for their consent to publish papers on the journal's website and SEL eLibrary eLIBRARY.RU.

Declaration of Competing Interest. The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.



ТЕЛЕГРАММ КАНАЛ
НАУЧНОГО ИЗДАТЕЛЬСТВА
ТЕХНОСФЕРА:



- Онлайн репортажи с крупнейших выставок отрасли
- Анонсы мероприятий с участием технических экспертов отрасли
- Скидки на журналы издательства до 25%
- Конкурсы и розыгрыши от ведущих компаний
- Книжные новинки и презентации новых выпусков журналов

Подписывайтесь и оставайтесь в курсе главных событий научно-технической сферы



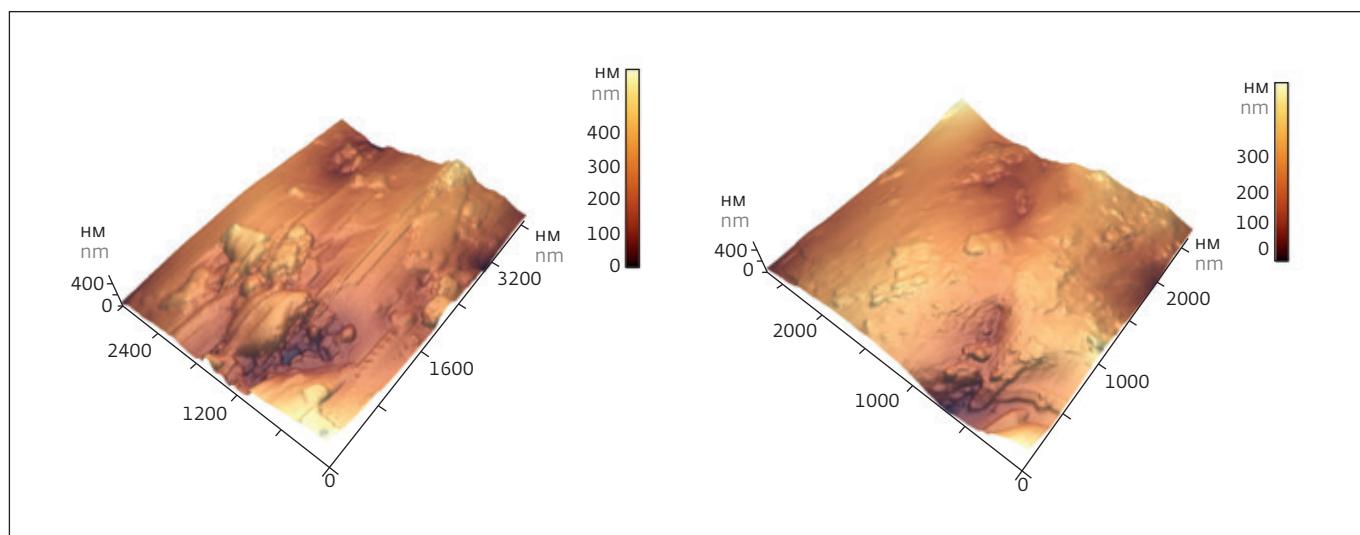


Рис.7. 3D-визуализация рельефа различных участков поверхности детали после ее применения в синтезе наномагнетита
Fig.7. 3D visualisation of the different areas relief of the part surface after its application in the synthesis of nanomagnetite

их агрегаты средних и относительно крупных размеров. Частицы и агрегаты собираются в области впадин и других особенностей рельефа исходной детали.

ВЫВОДЫ

Таким образом, ПО "ФемтоСкан Онлайн" может использоваться для обработки данных на уроках химии и физики, подготовки конкурсных проектов школьников, участия в конференциях и олимпиадах. Эти данные всегда будут уникальны, и школьники будут максимально вовлечены в процесс исследования на безопасном уровне, так как обрабатывать полученные изображения и интерпретировать их будут самостоятельно.

На физическом факультете МГУ в Центре молодежного инновационного творчества "Нанотехнологии" мы также активно занимаемся со школьниками изучением объектов наномира. Использование "ФемтоСкан Онлайн" предполагает интерактивное участие ребят в выборе объектов исследования, разработке оригинальной цветовой палитры, видеороликов, презентаций при выполнении самостоятельных исследований. Для каждой школы, обратившейся к нам, мы предоставляем бесплатно пакет ПО "ФемтоСкан Онлайн", атлас изображений и набор задач по обработке, построению и анализу данных. Таким образом, трехмерные картинки станут доступными для исследования любому школьнику.

ИНФОРМАЦИЯ О РЕЦЕНЗИРОВАНИИ

Редакция благодарит анонимного рецензента (рецензентов) за их вклад в рецензирование этой работы, а также за размещение статей на сайте

журнала и передачу их в электронном виде в НЭБ eLIBRARY.RU.

Декларация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов или личных отношений, которые могли бы повлиять на работу, представленную в данной статье.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Yaminsky I.V. FemtoScan online software: from middle to high school. NANOINDUSTRY. 2024. Vol. 17. No. 5. PP. 276–280. <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2024.17.5.276.280>
- Yaminsky I.V., Akhmetova A.I., Kur'yakov V.N. et al. Hydrosols of Titanium Dioxide Nanoparticles Containing Ti(IV) Peroxo Complexes: Modification, Optical Properties, Morphology, and Bleaching Kinetics. Inorg Mater. 2020. No. 56. PP. 1159–1166. <https://doi.org/10.1134/S0020168520110175>
- Kolyasnikov O.V., Gilev A.S., Obolenskaya L.N. Digitalization of a school chemical experiment as a way to expand the range of possible activities // Collection of abstracts. Science and universities chemical education: problems and solutions. Proceedings of the VII International scientific and practical conference dedicated to the 90th anniversary of SUHPU, Faculty of Natural Sciences and Technology and Department of Chemistry, Ecology and Methods of Teaching Chemistry. Chelyabinsk. 2024. PP. 254–258.
- Электронный источник: Chemical resistance table URL: https://alart.su/upload/himstojkost/081120_cf_himstojkost.pdf. (Дата подачи: 03.09.24).



21–23 октября 2024 года

- **III Международная научная конференция
«Инновационные технологии ядерной
медицины и лучевой диагностики
и терапии»**

В рамках Конференции
предусмотрен конкурс научных работ

Регистрация:
protonconf.lebedev.ru

Место проведения:
ФИАН, Ленинский пр-т, 53



24–25 октября 2024 года

- **VI Международная молодёжная школа
«Инновационные ядерно-физические методы
высокотехнологичной медицины»**

Тема VI Школы:
**«Современные ядерно-физические
методы диагностики»**

Регистрация:
protonschool.lebedev.ru

Место проведения:
ФИАН, Ленинский пр-т, 53





ТЕХНОСФЕРА
РЕКЛАМНО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР

100% ГАРАНТИЯ
ПОЛУЧЕНИЯ ВСЕХ НОМЕРОВ



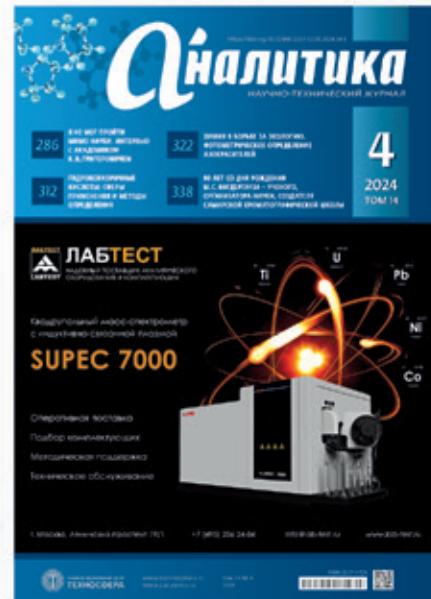
Стоимость 2200 р. за номер

Периодичность: 10 номеров в год
www.electronics.ru



Стоимость 1450 р. за номер

Периодичность: 8 номеров в год
www.photonics.su



Стоимость 1450 р. за номер

Периодичность: 6 номеров в год
www.j-analytics.ru

ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛЫ

www.technosphera.ru



Стоимость 1300 р. за номер
Периодичность: 8 номеров в год
www.lastmile.su



Стоимость 1300 р. за номер
Периодичность: 8 номеров в год
www.nanoindustry.ru



Стоимость 1800 р. за номер
Периодичность: 4 номера в год
www.stankoinstrument.su