



"ФЕМТОСКАН ОНЛАЙН"! ПОЧЕМУ ОН? FEMTOSCAN ONLINE! WHY?

УДК 004.932; ВАК 05.11.01; DOI: 10.22184/1993-8578.2018.84.5.336.342

А.Филонов^{1,2,3}, И.Яминский^{1,2,3}, А.Ахметова^{1,2,3}, Г.Мешков¹
A.Filonov^{1,2,3}, I.Yaminsky^{1,2,3}, A.Akhmetova^{1,2,3}, G.Meshkov¹

"И был на всей земле один язык со словами немногими"
Ветхий Завет, Книга Бытия

Программное обеспечение "ФемтоСкан Онлайн" позволяет проводить обработку, анализ и построение изображений в сканирующей зондовой микроскопии, а также управлять сканирующим зондовым микроскопом в том числе удаленно – через Интернет. "ФемтоСкан Онлайн" воспринимает более 100 различных форматов записи данных от как существующих, так и уже исчезнувших компаний, микроскопы которых используются в лабораториях мира. ПО удобно использовать для анализа больших снимков, так как на экран монитора выводятся два изображения: обзорное со скользящим окном и увеличенное детальное отображение содержимого скользящего окна. При перемещении выбранной области – скользящего окна – синхронно изменяются детальное изображение, сечение вдоль пунктирной линии и Фурье-образ детального изображения. Данная возможность применяется при поиске интересующих исследователя объектов. Также в "ФемтоСкан Онлайн" реализована возможность просмотра трехмерных изображений на стереомониторе. ПО успешно используется в учебной и образовательной работе в вузах, средних школах и в Центре молодежного инновационного творчества "Нанотехнологии".

The FemtoScan Online software allows to process, analyze and create images in scanning probe microscopy, as well as to operate a scanning probe microscope, including remotely via the Internet. FemtoScan Online perceives more than 100 different formats of data developed by both existing and already disappeared companies, microscopes of which are used in laboratories around the world. The software is convenient for analyzing large images, because two images are displayed: an overview with a "sliding" area and an increased detailed view of the content of the "sliding" area. When moving the selected area, the detailed image, the section along the dashed line and the Fourier image are synchronously changed. This feature is used when searching for objects of interest to the researcher. Also in FemtoScan Online you can view 3D images on a stereo monitor. The software is successfully used in educational work in universities, secondary schools and in the Nanotechnology youth innovation creativity center.

В 1996 году появилась первая версия "ФемтоСкан Онлайн" – программного обеспечения, которое позволяет проводить обработку, анализ и построение изображений в сканирующей зондовой микроскопии, а также управлять сканирующим зондовым микроскопом, в том числе удаленным образом через Интернет. В настоящее время это ПО можно считать "стандартом де-факто" для обработки изображений и данных в сканирующей зондовой микроскопии.

Так сложилось, что практически каждая компания, выпускавшая сканирующие зондовые микроскопы, создавала свой оригинальный формат записи данных. Избежать вавилонского смешения языков удалось благодаря "ФемтоСкан Онлайн", который внес определенный порядок в разношерстное и неорганизованное сообщество сканирующей зондовой микроскопии. Если фирмы-разработчики возникали и исчезали, то форматы данных продолжали поддерживаться этим ПО.

¹ МГУ имени М.В.Ломоносова (1, Ленинские Горы, Москва, 119991) / Lomonosov Moscow State University (GSP-1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia).

² ООО НПП "Центр перспективных технологий" (1, строение 75Г, Ленинские горы, Москва, 119234) / Advanced Technologies Center Ltd. (1, building 75G, Leninskie Gory, Moscow, 119234, Russia).

³ ООО "Энергоэффективные технологии" (1, стр.75Г, Ленинские Горы, Москва, 119234) / Energy Efficient Technologies Ltd. (1, building 75G, Leninskie Gory, Moscow, 119234, Russia).

В 2016 году проводящая передовые исследования и прекрасно оборудованная лаборатория сканирующей зондовой микроскопии профессора Ю.Л. Любченко в Медицинском центре Небраски (США) купила микроскоп компании JPK с новым форматом записи данных. Проблему обработки изображений успешно решил "ФемтоСкан Онлайн" благодаря встроенному автоматическому конвертору файлов. Привыкший к удобству не захочет от него отказываться – это правило в полной мере справедливо и для специалистов, работающих в области сканирующей зондовой микроскопии. Современный сканирующий зондовый микроскоп становится высокопроизводительным и быстродействующим прибором, выдающим на-гора тысячи тонн байтовой "руды". Ее обработка может стать бесконечно длительным и утомительным занятием, если под рукой не найдется соответствующего инструмента наивысшей производительности.

Почему именно "ФемтоСкан Онлайн" стал таким инструментом? "Кто хочет быть первым, будь из всех последним и всем слугою", – сказано в Евангелие от Марка. "ФемтоСкан Онлайн" может быть всем слугою. В настоящее время он воспринимает более 100 различных форматов записи данных от как существующих, так и уже исчезнувших компаний, микроскопы которых успешно работают в лабораториях мира. В их числе Digital Instruments, Veeco, Bruker,

Molecular Imaging, NT-MDT, Asylum Research, Advanced Technologies Center [1]. Вряд ли удастся сделать один язык и один стиль для различных форматов файлов, но создать эффективный переводчик – задача вполне реальная, и решена она именно в "ФемтоСкан Онлайн".

Кнопки, всплывающие окна, иконки, клики мыши – неотъемлемые атрибуты любого ПО. Чем меньше действий требуется выполнить для достижения заданной цели, тем лучше для пользователя. В "ФемтоСкан Онлайн" оптимизация таких последовательностей проводилась в тесном контакте с реальными исследователями-пользователями для большинства операций при обработке, анализе и построении изображений.

Большая часть функций "ФемтоСкан Онлайн" интуитивно понятны. Получив начальный опыт применения ПО, можно обратиться к руководству пользователя для детального и глубокого осмысления алгоритмов программы (русская версия – http://www.nanoscopy.net/downloads/FemtoScan/FsOnlineManual_ru.pdf, английская версия – http://www.nanoscopy.net/downloads/FemtoScan/FSOnlineManual_en.pdf).

Рассмотрим несколько примеров использования ПО "ФемтоСкан Онлайн". Изображения большого размера (более 512×512 точек измерения), как правило, содержат много полезной информации и одновременно являются трудоемкими для обработки. В "ФемтоСкан Онлайн" на экран

In 1996, the first version of FemtoScan Online appeared, a software that allows processing, analysis and creation of images in scanning probe microscopy, as well as control of scanning probe microscope, including remotely via the Internet. Currently, this software can be considered as a de facto standard for processing images and data in scanning probe microscopy.

It so happened that almost every company that produced scanning probe microscopes created its own original data recording format. Avoiding the Babylonian confusion of languages was possible thanks to

FemtoScan Online, which introduced a certain order in the heterogeneous and unorganized community of scanning probe microscopy. When the developers appear and disappear, the data formats continued to be supported by this software.

In 2016, a well-equipped laboratory of scanning probe microscopy of Professor Yu.L. Lyubchenko at the University of Nebraska Medical Center (USA), which conducts advanced research, bought a JPK microscope with a new data recording format. The problem of image processing was successfully solved by FemtoScan Online thanks to the built-in automatic

file converter. Accustomed to convenience does not want to give up on and specialists working in the field of scanning probe microscopy are no exception. Up-to-date scanning probe microscope is becoming a high-performance instrument that produces thousands of tons of byte "ore". Its processing can become an endlessly long and tedious task if there is not a corresponding tool of the highest productivity.

Why did FemtoScan Online become such a tool? "Whoever wants to be first must be last of all and servant of all", says the Gospel of Mark. FemtoScan Online can be servant. Currently, it supports more than 100

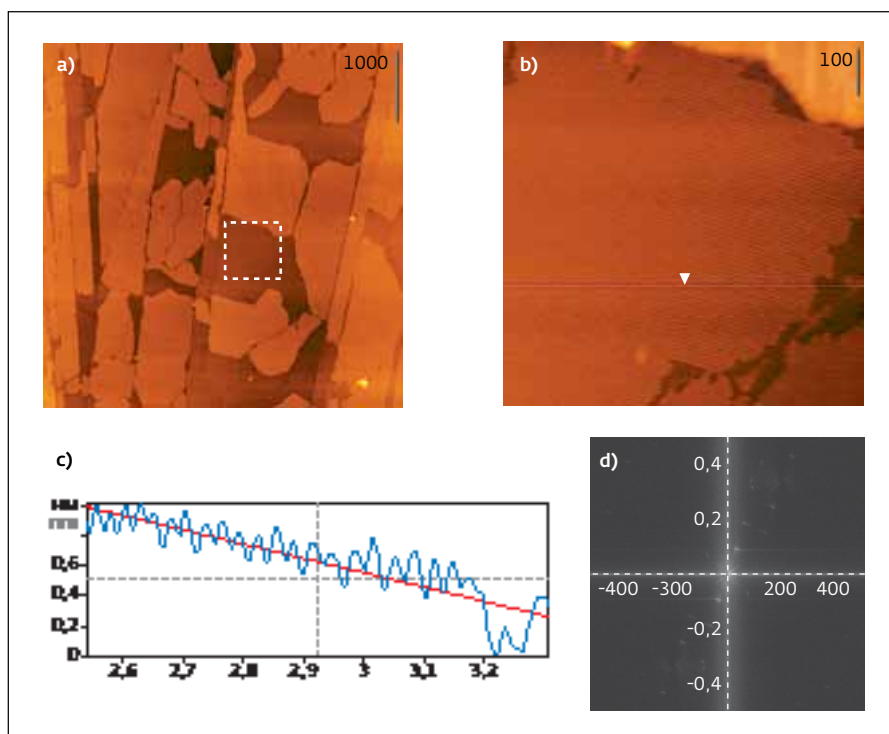


Рис.1. Островковая пленка с гладкими на молекулярном уровне участками: а – обзорный кадр размером 4096 × 4096 пикселей; б – увеличенное изображение скользящего окна, выделенного пунктирным контуром на обзорном кадре. На изображении хорошо видны упорядоченные ряды молекул; с – поперечное сечение вдоль пунктирной линии на изображении б; д – Фурье-образ детального изображения (б). Изображение предоставлено С.Н.Магоновым (2006 год, Veeco)

Fig.1. Island film with smooth molecular level areas: a – overview frame of 4096 × 4096 pixels; b – enlarged image of selected area, highlighted by dashed outline in overview frame. Image clearly shows ordered series of molecules; c – cross-section along dashed line in image b; d – Fourier image of detailed image (b). Image courtesy of S.N. Magonov (2006, Veeco)

different data recording formats from both existing and already disappeared companies, microscopes of which successfully work in laboratories of the world. Among them are Digital Instruments, Veeco, Bruker, Molecular Imaging, NT-MDT, Asylum Research, Advanced Technologies Center [1]. Hardly it will be possible to make one language and one style for different file formats, but it is quite possible to create an effective translator, and it is solved in FemtoScan Online.

Buttons, pop-ups, icons, mouse clicks are essential

attributes of any software. The fewer actions required to achieve a given goal, the better for the user. In FemtoScan Online, optimization of such sequences was carried out in close contact with researchers for the majority of operations when processing, analyzing and creation images.

Most of the functions of FemtoScan Online are intuitively understandable. Having received the initial experience of using the software, you can refer to the user manual for a detailed and deep understanding of the program algorithms (Russian version: http://www.nanoscopy.net/downloads/FemtoScan/FsOnlineManual_en.pdf).

монитора выводятся два изображения: обзорное со скользящим окном (рис.1а) и увеличенное детальное отображение содержимого скользящего окна (рис.1б). Передвигая выбранную область (скользящее окно, выделенное пунктиром на обзорном кадре рис.1а), пользователь в детальном изображении (рис.1б) видит важные особенности образца при заранее выбранном увеличении. При перемещении выбранной области – скользящего окна – синхронно изменяются детальное изображение, сечение вдоль пунктирной линии и Фурье-образ детального изображения. При этом на детальном изображении можно выбирать не одно, а сразу несколько сечений вдоль различных направлений. Исходное и увеличенное изображение можно представлять в различных цифровых палитрах. Эта функция позволяет существенно сократить время анализа экспериментальных данных неоднородных поверхностей.

net/downloads/FemtoScan/FsOnlineManual_en.pdf. English version: http://www.nanoscopy.net/downloads/FemtoScan/FsOnlineManual_en.pdf.

Let's consider some examples of using the FemtoScan Online. Images of large size (more than 512×512 measurement points), as a rule, contain a lot of useful information and are simultaneously labor-intensive for processing. In the FemtoScan Online two images are displayed on the monitor: an overview with a "sliding" area (Fig.1a) and an increased detailed display of the content of the "sliding" area

Возможность смотреть трехмерные изображения на стереомониторе также реализована в "ФемтоСкан Онлайн". В стереорежиме можно выполнить "обзорный пролет" над трехмерными объектами, например, бактерией кишечной палочки. Для построения такого стереофильма в ПО выбирается последовательность трехмерных изображений, полученных в разных ракурсах при различных перспективе и увеличении. На основе этих кадров "ФемтоСкан Онлайн", используя плавные повороты и масштабирование, строит визуальный ряд изображений стереофильма.

Одна из важных задач в области обработки изображений, не только применительно к зондовой микроскопии, – это распознавание (нахождение) объектов интересующей исследователя формы. Человеческий глаз быстро находит интересующую частицу определенной, например, цилиндрической формы на изображении, однако для автоматизации этого процесса нужны четкие математические критерии. В случае нанесения объектов на ровную гладкую поверхность (стандартные подложки для зондовой микроскопии – слюда или графит) изображение имеет однородный фон, при котором автоматический поиск легко реализуется математическими алгоритмами, встроенными в большинство программ для обработки изображений оптической, электронной и зондовой микроскопии. Однако, в случае более сложных подложек, например полимерных пленок или аморфных твердых тел, элементы рельефа поверхности могут иметь сходство с интересующими

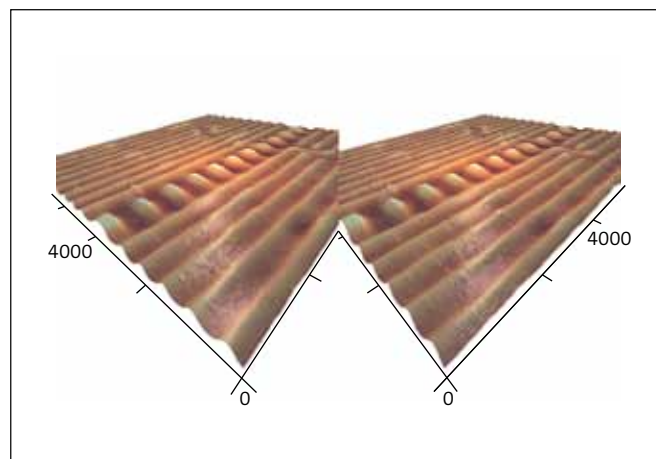


Рис.2. Стереои изображение для объемной визуализации на стереомониторе

Fig.2. Stereo image for 3D visualization on stereo monitor

исследователя частицами, и автоматическое выделение последних не всегда возможно. Трудности возникают и при попытке статистической обработки деталей, являющихся неотъемлемой частью поверхности. Если глаз легко выделяет на изображении участки поверхности, содержащие объекты исследования, то математического критерия обработки пока не удастся создать.

На рис.3 приведен пример достаточно сложного образца – частиц вируса табачной мозаики (ВТМ) из водного раствора, нанесенных на слюду. Частицы ВТМ являются стандартным образцом для калибровки различных типов микроскопов,

(Fig.1b). Moving the selected area (a sliding area marked with a dotted line in the overview frame in Fig.1a), the user sees in the detailed image (Fig.1b) important features of the sample at a preselected magnification. When moving the selected area, the detailed image, the section along the dashed line and the Fourier image are synchronously changed. And you can choose in a detailed image not one, but several sections along different directions. The original and enlarged images can be presented in various digital palettes. This function makes it

possible to substantially shorten the analysis time of the experimental data of inhomogeneous surfaces.

The ability to watch 3D images on a stereo monitor is also supported by FemtoScan Online. In stereo mode, you can perform a "survey" of 3D objects, for example, of an E.coli bacterium. To create such a stereo movie in the software, a sequence of 3D images obtained in different angles with different perspective and magnification is selected. Based on these frames, FemtoScan Online, using the smooth turns and scaling, builds

a visual series of images for a stereo movie.

One of the important tasks in the field of image processing, not only with respect to probe microscopy, is the recognition of the objects of the shape that the researcher is interested in. The human eye quickly finds an interesting particle of a certain, for example, cylindrical shape in the image, however, to automate this process, clear mathematical criteria are needed. In the case of applying objects on a smooth surface (standard substrates for probe microscopy are mica or graphite), the image

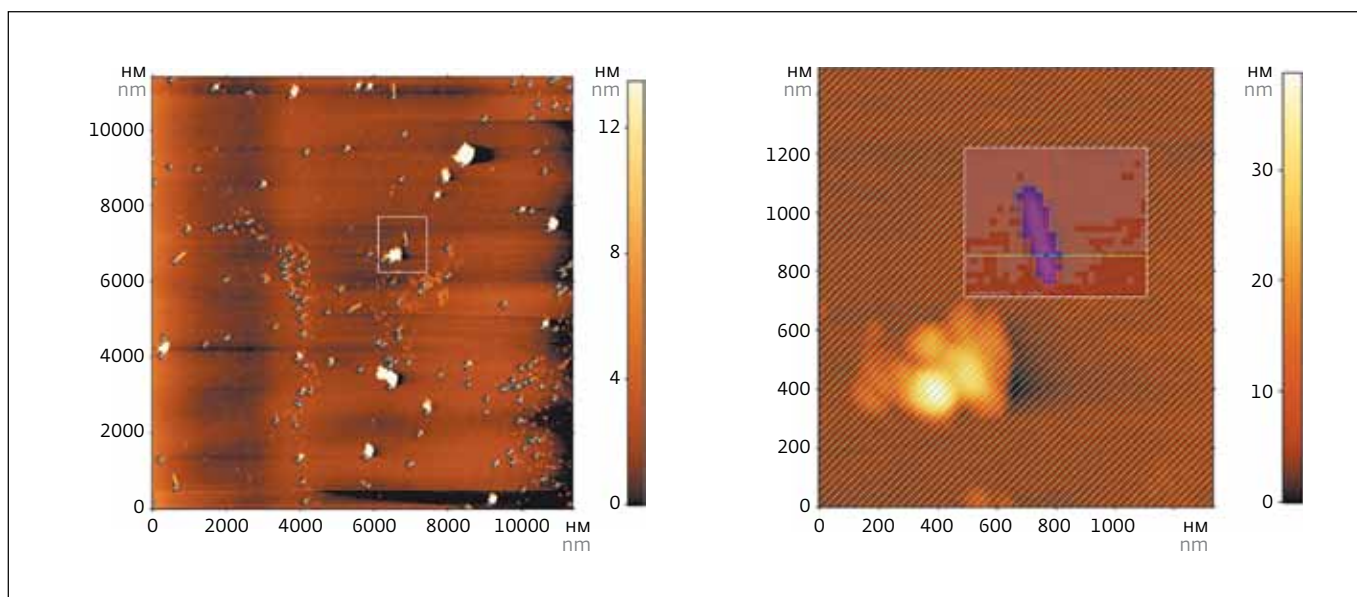


Рис.3. Пример работы функции поиска объектов. Слева все объекты интересующей высоты выделены автоматически, справа выделен и увеличен объект интересующей формы

Fig.3. Example of how object search function works. On left, all objects of altitude of interest are highlighted automatically. On right image, object of desired shape is selected and enlarged

например, в Российской Федерации утвержден такой стандартный образец на подложке из высокоориентированного пиролиитического графита (ГСО 10299-2013). Алгоритм автоматического поиска успешно находит подходящие по высоте частицы на поверхности подложки (на левом изображении на рис.3 они отмечены стрелками), но глаз человека видит, что из найденных программой

более 150 объектов имеется всего шесть частиц ВТМ, имеющих цилиндрическую форму. В таких случаях удобно использовать функцию "Анализ объектов" (меню "Математика / Анализ объектов"), которая позволяет вручную выделить объекты, вычислить их пространственные характеристики, а также проанализировать их с помощью гистограммы. Слева на рис.3 представлен пример

has a uniform background in which automatic search is easily realized by mathematical algorithms built into most programs for image processing for optical, electronic and probe microscopy. However, in the case of more complex substrates, for example, of polymer films or amorphous solids, the surface relief elements may have similarities to the particles of interest, and automatic separation of the latter is not always possible. Difficulties arise also in the attempt of statistical processing of parts that are an integral part of the surface. If the eye easily

selects areas of the surface containing the objects of investigation on the image, it is not yet possible to create a mathematical criterion for processing.

Fig.3 shows an example of a rather complex sample - tobacco mosaic virus particles (TMV) from an aqueous solution applied to mica. The image contains a significant number of nanometer-scale structures, the shape of which does not correspond to the objects under study. Particles of TMV are a standard sample for the calibration of different types of microscopes, for example, in the Russian Federation

such standard sample on a substrate of highly oriented pyrolytic graphite is approved (GSO 10299-2013). The automatic search algorithm successfully finds on the surface of the substrate the particles that are suitable for height (in the left image in Fig.3 they are marked by arrows), but the person's eye sees that of the more than 150 objects found by the program there are only six TMV particles having a cylindrical shape. In such cases, it is convenient to use the function of Analysis of objects (Mathematics/Analysis of objects), which allows you to

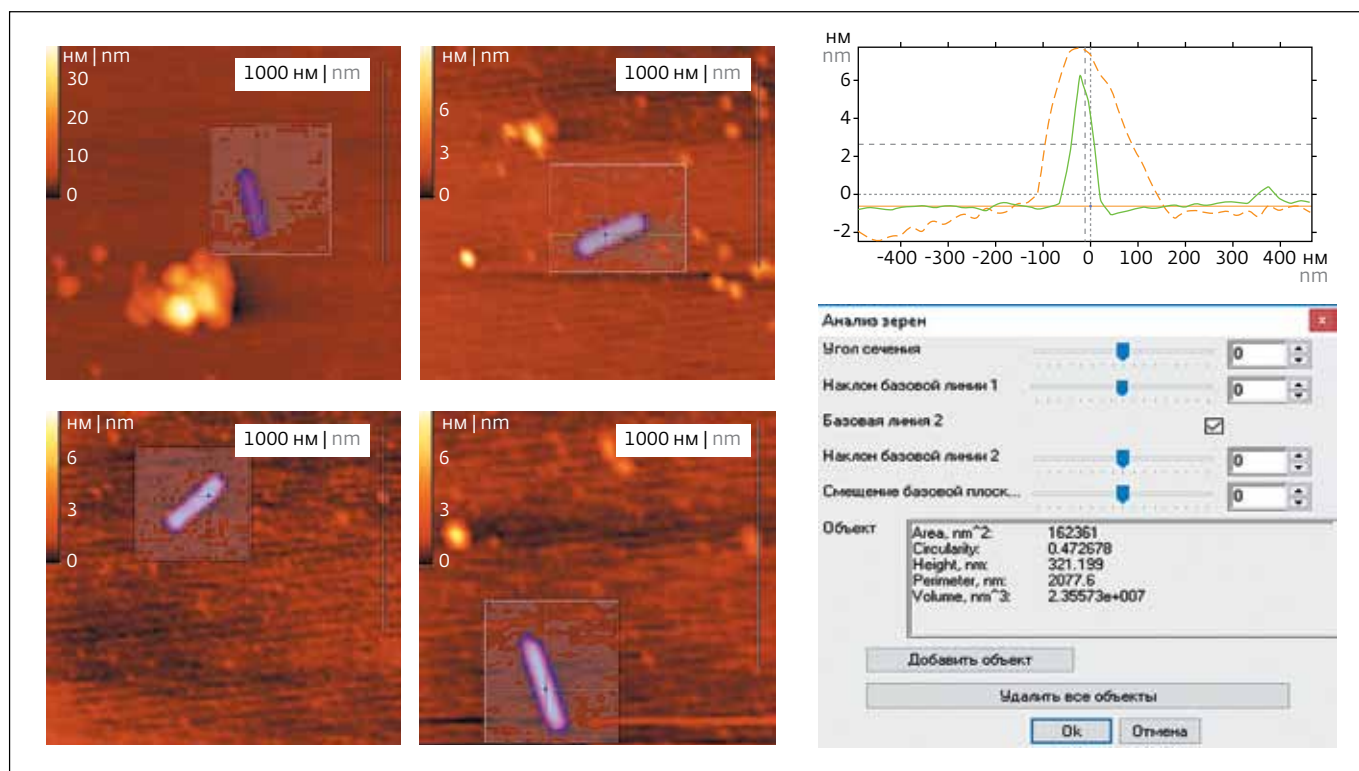


Рис.4. Анализ одиночных частиц ВТМ на образце, представленном на рис.3. Слева – выделенные кадры для анализа отдельных частиц ВТМ, справа – пример сечения и диалогового окна настройки параметров анализа отдельного объекта Fig.4. Analysis of single particles of TMV on sample shown in Fig.3. On left – selected frames for analysis of individual particles of TMV, on right – example of section and dialog box for setting parameters for analysis of individual object

анализа одиночного объекта с использованием функции "Рассмотреть" (скользящее окно), работа которой была описана выше (рис.1).

"ФемтоСкан Онлайн" позволяет легко и быстро составить таблицу характеристик интересующих объектов. Для этого сначала производится

manually select objects, calculate their spatial characteristics, and analyze them using a histogram. On the left in Fig.3 is an example of analysis of a single object using the Review function (sliding area), the work of which was described above (Fig.1).

FemtoScan Online allows you to easily and quickly create a table of characteristics of the objects of interest. To do this, it first searches for objects of the appropriate size, as shown on the left in Fig.3. Then, moving a sliding window about the size of an object on a large-scale frame (Fig.3 on the left) and pointing it

at the particles of interest, we get a series of images of individual objects (Fig.4 on the left), which by clicking on the "Add object" button are immediately recorded in table for statistics. Thus, FemtoScan Online allows you to combine automatic object search with their manual recognition.

FemtoScan Online can be downloaded using the following links:

- <http://www.nanoscopy.net/femtoscanonline/en/download> (Russian version);
- <http://www.nanoscopy.net/femtoscanonline/en/download> (English version).

FemtoScan Online is used in educational activities – in workshops for students of higher educational institutions, for example at Lomonosov Moscow State University, as well as in secondary schools in the lessons of additional education. At the Nanotechnology youth innovation creativity center (www.startinnovation.com), the FemtoScan Online software is a key element of several training courses on scanning probe microscopy and biosensors.

The project was supported by the Russian Foundation for Basic Research No. 17-52-560001.



поиск объектов подходящего размера, как показано слева на рис.3. Затем, перемещая скользящее окно размером примерно с объект по кадру большого масштаба (рис.3 слева) и наводя его на интересные частицы, получаем серию изображений отдельных объектов (рис.4 слева), которые по нажатию на кнопку "Добавить объект" сразу заносятся в таблицу для статистики. Таким образом, "ФемтоСкан Онлайн" позволяет совместить автоматический поиск объектов с их ручным распознаванием.

Скачать ПО "ФемтоСкан Онлайн" можно по следующим ссылкам:

- <http://www.nanoscopy.net/femtoscanonline/ru/download> – русская версия;
- <http://www.nanoscopy.net/femtoscanonline/en/download> – английская версия.

"ФемтоСкан Онлайн" активно используется в учебной и образовательной деятельности – в

практикумах для студентов высших образовательных учреждений, например в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также в средних школах на уроках дополнительного образования. В Центре молодежного инновационного творчества "Нанотехнологии" (www.startinnovation.com) ПО "ФемтоСкан Онлайн" является ключевым элементом нескольких учебно-практических курсов по сканирующей зондовой микроскопии и биосенсорам.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований №17-52-560001.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Yaminsky I.V., Filonov A.S., Sinitsyna O.V., Meshkov G.B. FemtoScan Online software. NANOINDUSTRY. 2016. No. 2 (64): 42-46.

ООО "ИКАР-ИМПУЛЬС"

приглашает на технологический семинар

с посещением новой чистой комнаты компании DISCO

С 24 по 28 сентября 2018 года в Кранцберге (Германия) состоится технологический семинар, который организует ООО "ИКАР-ИМПУЛЬС" при поддержке партнеров – корпорации DISCO и компании SPTS. Семинар ориентирован на научных работников, технологов и разработчиков изделий, а также руководителей предприятий, подразделений и лабораторий, которым интересны новейшие технологические тенденции в области разработки полупроводниковых приборов и производства электронных систем в корпусе SiP (System in Package).

Участникам будут предложены доклады по следующим темам:

- технологические особенности реализации переходных отверстий 3D TSV, Fan in/Fan out WLP CSP;
- изготовление подложек из SiC (KABRA) и сапфира, а также их последующая обработка (приборные технологии);
- достижения и тенденции в области лазерных технологий разделения подложек из различных материалов;
- утонение, разделение, плазмохимическое травление подложек из сложных соединений (GaAs, InP и т.д.) в технологии приборов на их основе;

- новые возможности для утонения и разделения пластин с бампами большой высоты (CONDOx);
- технологии удаления жертвенных слоев (SiO₂, Si) и MVD (molecular vapor deposition) как универсальное защитное покрытие в технологиях 3D-интеграции и MEMS;
- новые методы и материалы для фиксации чипов и пластин (Wafer level die attach and encapsulation);
- базовые технологические решения для 3D TSV и FO WLP на основе низкотемпературных процессов осаждения диэлектриков, травления, металлизации (PECVD, DRIE, PVD).

ИКАР-ИМПУЛЬС

Регистрация, бронирование гостиниц, а также получение дополнительной информации:
тел.: +7 495 433 47 77, +7 910 446 92 41; e-mail: zhemchugov@ikar-impulse.ru