



ПРИМЕНЕНИЕ СКАНИРУЮЩЕЙ ЗОНДОВОЙ И КАПИЛЛЯРНОЙ МИКРОСКОПИИ

В МЕЖДУНАРОДНОМ СОТРУДНИЧЕСТВЕ

THE USE OF SCANNING PROBE AND CAPILLARY MICROSCOPY IN INTERNATIONAL COLLABORATION

И.В.Яминский^{1,2,3}, д.ф.-м.н., проф., генеральный директор Центра перспективных технологий, директор Энергоэффективных технологий, (ORCID: 0000-0001-8731-3947), А.И.Ахметова^{1,2,3}, инженер НИИ ФХБ имени А.Н.Белозерского МГУ, ведущий специалист Центра перспективных технологий и Энергоэффективных технологий, (ORCID: 0000-0001-6363-8202), Г.Б.Мешков¹, к.ф.-м.н., ст. науч. сотрудник, физический ф-т МГУ имени М.В.Ломоносова, (ORCID: 0000-0003-3930-3730) / yaminsky@nanoscopy.ru

I.V.Yaminsky^{1,2,3}, Doct. of Sc. (Physics and Mathematics), Prof., Director of Advanced Technologies Center, Director of Energy Efficient Technologies, (ORCID: 0000-0001-8731-3947), A.I.Akhmetova^{1,2,3}, Engineer of A.N.Belozersky Institute of Physico-Chemical Biology, Leading Specialist of Advanced Technologies Center and of Energy Efficient Technologies, (ORCID: 0000-0001-6363-8202), G.B.Meshkov¹, Cand. of Sci. (Physics and Mathematics), Senior Researcher of Physical Department of Lomonosov Moscow State University, (ORCID:0000-0003-3930-3730)

DOI: 10.22184/1993-8578.2020.13.1.16.20

Получено: 10.01.2020 г.

Научное сотрудничество группы зондовой микроскопии МГУ имени М.В.Ломоносова и научной группы из Технологического университета имени Шарифа (Тегеран) в рамках российско-иранского проекта оказалось крайне плодотворным. За три года проекта были получены оригинальные результаты по локальной модификации поверхности в тонких пленках благодаря использованию сканирующей капиллярной микроскопии. Также была разработана установка для комбинированной зондовой и капиллярной микроскопии [1, 2].

The scientific collaboration of the probe microscopy group of Lomonosov Moscow State University and the scientific group from the Sharif University of Technology (Tehran) in the framework of the Russian-Iranian project was extremely fruitful. For three years of the project the original results on local surface modification in thin films due to the use of scanning capillary microscopy were obtained. Also, a device for combined probe and capillary microscopy has been developed [1, 2].

Нано- и микрокапилляры широко использовались в patch clamp и микроинъекциях. Именно в электрофизических измерениях, проводимых с отдельными клетками, капилляры нашли свои первые применения. С тех пор нанофлюидные устройства на основе капилляров выступали в качестве зондов для локального электрохимического анализа, сканирующей капиллярной микроскопии, определения поверхностного заряда и манипуляций с нанолитровым объемом жидкости. Существующие работы

по капиллярной микроскопии в основном посвящены преодолению ограничений метода: скорость сканирования еще относительно мала, получаемое разрешение не всегда достаточно для проведения сверхточных измерений [3, 4].

В работе [5] показано, что ионы с окислительно-восстановительным потенциалом могут удерживаться внутри капилляра за счет прикладываемого напряжения между электродом в капилляре и электродом в растворе, а затем доставляться импульсом в определенную область образца.

¹ МГУ имени М.В.Ломоносова / Lomonosov Moscow State University, Physical and Chemical departments.

² ООО НПП "Центр перспективных технологий" / Advanced Technologies Center.

³ ООО "Энергоэффективные технологии" / Energy Efficient Technologies.



В работе [6] демонстрируется новая техника выполнения электрораспыления нанолитровых объемов образца, собранного с помощью двухканального капилляра, для проведения масс-спектрометрического анализа. Также можно провести измерения вязкоупругих свойств образца, воздействуя на него потоком жидкости из капилляра и детектируя изменение расстояния от кончика капилляра до образца [7].

Ранее нами было продемонстрировано, что с помощью капиллярной микроскопии можно измерить уровень перекиси водорода вблизи поверхности клетки [8]. Проведены эксперименты по химической нанолитографии, проведены измерения в режиме капиллярной микроскопии с помощью сканирующего зондового микроскопа "ФемтоСкан Xi" [9].

В рамках третьего года выполнения проекта по инициации локальных химических реакций с помощью зондовой микроскопии нами были достигнуты следующие ключевые показатели.

Для проведения экспериментальных исследований разработана установка совмещенного



Рис.1. Изображение совмещенного атомно-силового и сканирующего капиллярного микроскопа, установленного на инвертированном оптическом микроскопе Nikon Eclipse Ti: общий вид – слева, механическая головка сканирующего капиллярного микроскопа – справа

Fig.1. Image of a combined atomic force and scanning capillary microscope mounted on a Nikon Eclipse Ti inverted optical microscope: general view is on the left, mechanical head of the scanning capillary microscope is on the right image

атомно-силового и сканирующего капиллярного микроскопа, представленная на рис.1.

Проведены эксперименты по литографии методом химического воздействия

Nano- and microcapillaries have been widely used in patch clamps and microinjection techniques. It is in electrophysical measurements carried out with individual cells that capillaries found their first applications. Since then, capillary-based nanofluidic devices have acted as probes for local electrochemical analysis, scanning capillary microscopy, determination of surface charge, and manipulations with a nanoliter volume of liquid. The available works on capillary microscopy are mainly devoted to overcoming

limitations of the method: the scanning speed is still relatively low, and the resolution obtained is not always sufficient for ultra-precise measurements [3, 4].

It was shown [5] that ions with redox potential can be retained inside the capillary due to the applied voltage between the electrode in the capillary and the electrode in solution, and then delivered by a pulse to a specific region of the sample.

In the work [6] a new technique for electric spraying of nanoliter volumes of a sample collected

using a two-channel capillary for mass spectrometric analysis was presented. It is also possible to measure the viscoelastic properties of a sample by exposing it to a fluid stream from a capillary and detecting a change in the distance between the capillary tip and the sample [7].

We previously demonstrated that capillary microscopy can measure the level of hydrogen peroxide near the surface of a cell [8]. Experiments on chemical nanolithography were carried out and measurements were made in the

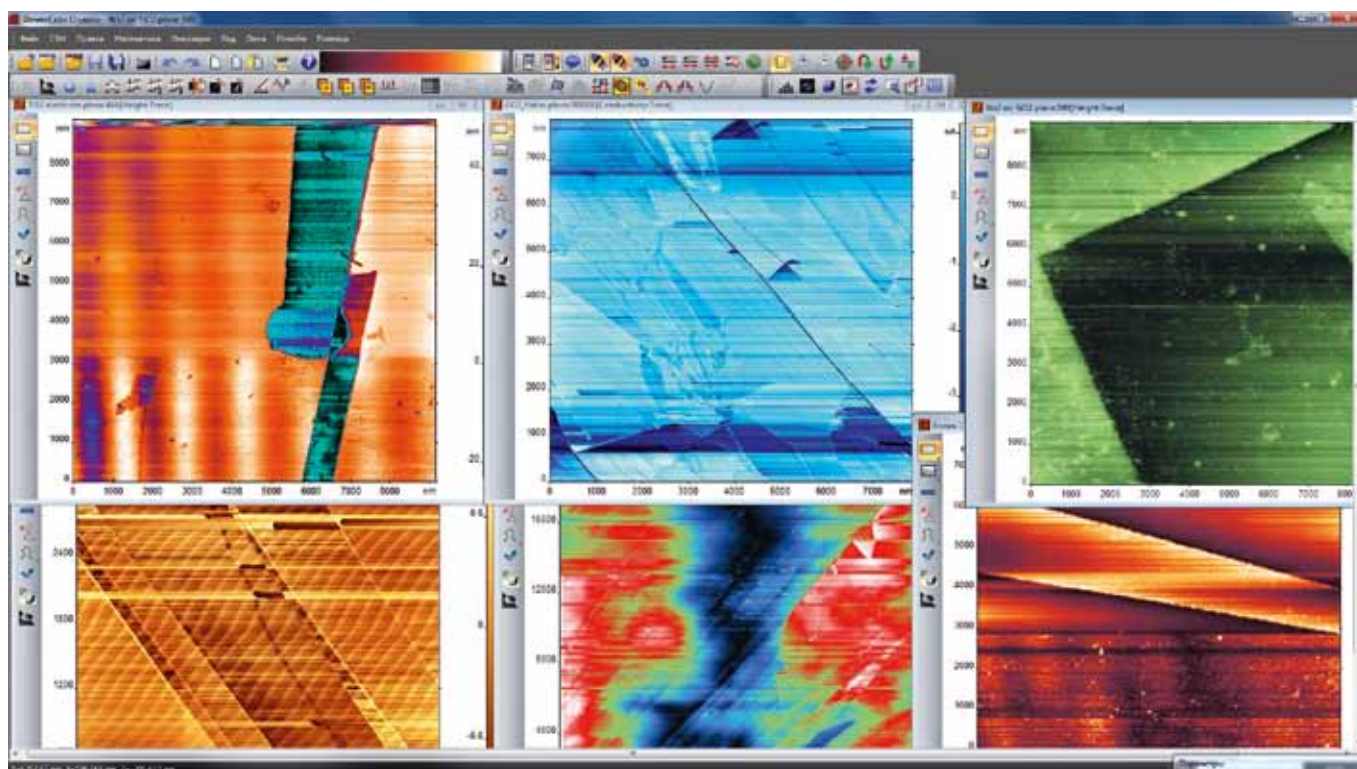


Рис.2. Скриншот ПО "ФемтоСкан Онлайн" во время вебинара для иранских коллег

Fig.2. Screenshot of FemtoScan software at the webinar for Iranian colleagues

и окисления со следующими материалами: титан, кремний, графит, графен, проводящие полимеры.

Осуществлена контролируемая локальная химическая реакция с участками поверхности

атомарного масштаба неорганическими молекулами и макромолекулами. Оптимизированы методы нанолитографии для реализации химической реакции с использованием нанокластеров и наночастиц золота и серебра.

capillary microscopy mode using a FemtoScan Xi scanning probe microscope [9].

In the third year of the project we have achieved the following key indicators to initiate local chemical reactions using probe microscopy.

To conduct experimental studies, the installation of a combined atomic force and scanning capillary microscope, shown in Fig. 1, was developed.

Chemical lithography and oxidation experiments were performed with the following materials: titanium, silicon, graphite, graphene and conductive polymers.

A controlled local chemical reaction was carried out with atomic-size surface areas, inorganic molecules and macromolecules. Nanolithography methods for the implementation of a chemical reaction using nanoclusters and nanoparticles of gold and silver have been optimized.

The dependences of the local chemical reaction size versus the external interaction parameters (the pulse amplitude of the applied voltage between the probe and the surface), the pulse duration, the increase rate of the pulse fronts and environmental parameters) were determined.

A controlled local chemical reaction and modification was carried out in the natural conditions – air and aquatic environment. Experiments in the aquatic environment were carried out in a buffer solution using capillary microscopy.

To achieve the key project aims, the scanning probe microscopy installation was optimized, in particular, the feedback system in the scanning probe microscope has been improved.

Precision scanning systems for chemical reactions have been developed. Impulse exposure



Определены зависимости размера локальной области химической реакции от параметров внешнего взаимодействия – амплитуды импульса приложенного напряжения между зондом и поверхностью, длительности импульса, скорости возрастания фронтов импульса, параметров окружающей среды.

Проведена контролируемая локальная химическая реакция и модификация в естественных средах – на воздухе и водной среде. Эксперименты в водной среде проводились в буферном растворе с помощью капиллярной микроскопии.

Для достижения ключевых показателей проекта была оптимизирована установка для сканирующей зондовой микроскопии, в частности, была доработана система обратной связи в сканирующем зондовом микроскопе.

Разработаны прецизионные системы сканирования для проведения химических реакций. Оптимизированы параметры импульсного воздействия для эффективной инициации локальной химической реакции.

Разработаны практические рекомендации по использованию локальных химических реакций при создании химических и биологических сенсоров, а также применению результатов проекта в наноиндустрии и наукоемких технологиях.

С помощью удаленного управления сканирующим зондовым микроскопом "ФемтоСкан" через интернет научным сотрудником, к.ф.-м.н. Г.Б.Мешковым был проведен дистанционный

мастер-класс по обработке изображений и настройке параметров сканирования для иранской группы под руководством профессора Шарифского технологического университета (Тегеран) Reza Ejtehadī.

Дистанционное управление сканирующим зондовым микроскопом выполнено в программном обеспечении "ФемтоСкан Онлайн" в режиме многопользовательского интерфейса "мастер – клиент". Мастер определяет и устанавливает все параметры сканирования и измерений, при этом все получаемые экспериментальные данные синхронно поступают на компьютеры всех подключенных пользователей. Мастер может передать все свои права одному из клиентов, при этом клиент становится мастером, а мастер – клиентом. Для общения между участниками эксперимента в программное обеспечение "ФемтоСкан Онлайн" интегрирована служба обмена сообщениями – встроенный чат. Это помогает эффективно проводить техническую поддержку, консультации и мастер-классы. При реализации длительных экспериментов становится возможно следить за процессом измерений и проводить коррекцию параметров эксперимента из разных мест: лаборатории, аудитории, из дома. В результате существенно повышается эффективность индивидуальной и коллективной работы.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-52-560001.

parameters have been optimized for the effective initiation of a local chemical reaction.

Practical recommendations how to use local chemical reactions in the creation of chemical and biological sensors, as well as how project results can be applied in nanoindustry and high technology have been developed.

Using remote control of FemtoScan scanning probe microscope via the Internet, a researcher, Ph.D. Meshkov G.B. held a remote master class on image processing and scanning settings for the Iranian group under the guidance of Reza Ejtehadī, a professor at the

Sharif University of Technology (Tehran).

Remote control by a scanning probe microscope has been performed using the FemtoScan Online software in the multi-user master client interface. The master determines and sets all the scanning and measurement parameters, while all the obtained experimental data is simultaneously transmitted to the computers of all connected users. The master can delegate all his rights to one of the clients and such client becomes the master, and the master becomes the client. For communication between the participants during the experiment, the FemtoScan

Online software integrates a messaging service – built-in chat. This helps to effectively conduct technical support, consultations and workshops. During implementation of lengthy experiments, it becomes possible to monitor the measurement process and carry out the correction of experimental parameters from different places: laboratories, classrooms or home. As a result, the effectiveness of individual and collective work increases significantly. ■

The study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research in the framework of the scientific project No. 17-52-560001.



ЛИТЕРАТУРА / REFERENCE

1. Yaminsky I.V., Akhmetova A.I., Meshkov G.B. Scanning probe microscopy in studies of thin films // NANOINDUSTRY. 2019. T. 12. № 2. P. 128–130.
2. Yaminsky I.V., Akhmetova A.I., Meshkov G.B., Salehi F. FemtoScan in Tehran // NANOINDUSTRY. 2019. T. 12. № 1. P. 68–71.
3. Yaminsky I.V., Akhmetova A.I., Meshkov G.B. Scanning probe microscopy in studies of thin films // NANOINDUSTRY. 2019. T. 12. № 2. P. 128–130.
4. Yaminsky I.V., Akhmetova A.I., Meshkov G.B., Salehi F. FemtoScan in Tehran // NANOINDUSTRY. 2019. T. 12. № 1. P. 68–71.
5. Watanabe S., Kitazawa S., Sun L., Kodera N., Ando T. Development of high-speed ion conductance microscopy. Rev. Sci. Instrum. 2019, 90, 123704.
6. Simeonov S., Schäffer T.E. High-speed scanning ion conductance microscopy for sub-second topography imaging of live cells. Nanoscale, 2019, 11, 8579.
7. Chen B., Perry D., Page A., Kang M., Unwin P.R. Scanning Ion Conductance Microscopy: Quantitative Nanopipette Delivery–Substrate Electrode Collection Measurements and Mapping. Anal. Chem. 2019, 91, 2516–2524.
8. Saha-Shah A., Karty J.A., Baker L.A. Local collection, reaction and analysis with theta pipette emitters. Analyst, 2017, 142, 1512.
9. Rheinlaender J., Schäffer T.E. Mapping the creep compliance of living cells with scanning ion conductance microscopy reveals a subcellular correlation between stiffness and fluidity. Nanoscale, 2019, 11, 6982.
10. Actis P., Tokar S., Clausmeyer J., Babakinejad B., Mikhaleva S., Cornut R., Takahashi Y., Ainara L.C., Novak P., Shevchuck A.I., Dougan J.A., Kazarian S.G., Gorelkin P.V., Erofeev A.S., Yaminsky I.V., Unwin P.R., Schuhmann W., Klenermanid D., Rusakov D.A., Sviderskaya E.V., Korchev Y.E. Electrochemical nanopores for single-cell analysis. ACS Nano, 8(1):875–884, 2014.
11. Yaminsky I.V., Akhmetova A.I., Meshkov G.B., Salehi F. Combined capillary and probe microscopy // NANOINDUSTRY. 2018. 1 (80). P. 44–48.

ПРИГЛАШАЕМ ВСЕХ!

АСЕПТИКА

Впервые на выставке "Аналитика Экспо" – специализированная площадка – Analitika Future, на которой будут продемонстрированы инновации, технологии, опыт химиков-аналитиков, свежие идеи и шоу!

21 апреля

10:00 – 18:00

Analitika Show,

МВЦ «Крокус Экспо», метро «Мякинино»,
г. Москва, Павильон 3, зал 13

Получите бесплатный электронный билет,
указав промокод:

ank20mGTEL

На этой площадке наша компания ООО "ВАЛИДАЦИОННАЯ ЛАБОРАТОРИЯ АСЕПТИКА" выступит с докладом и продемонстрирует оборудование в действии (продолжительность доклада – 30 минут).

Тема доклада:

Опыт/практика проведения валидации/квалификации систем вентиляции и кондиционирования чистых помещений с демонстрацией отечественного прибора для визуализации воздушных потоков.

Если останутся вопросы, приглашаем Вас посетить наш стенд, где наши специалисты предоставят необходимую информацию, а также ее можно найти на сайте: <https://aseptica.biz/>

ДЕЛОВАЯ ПРОГРАММА: <http://www.analitikaexpo.com/Delovaya-Programma/>

КОНГРЕСС И ВЫСТАВКА ПО ПРОИЗВОДСТВУ И ПРИМЕНЕНИЮ АВТОМОБИЛЬНЫХ И КОТЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ ИЗ ВОЗОБНОВЛЯЕМОГО СЫРЬЯ

(биобутанол, биоэтанол, бионефть, пеллеты, брикеты и другие биотоплива)



15-16 апреля 2020

Отель «Холидей Инн Лесная», Москва

+7 (495) 585-5167

congress@biotoplivo.ru

www.biotoplivo.ru

Темы конгресса

- Состояние отрасли: развитие технологий и рынка биотоплив.
- Биозаводы: инжиниринг, производимые продукты, экономика.
- Производство пищевого и технического спирта: тонкости технологии, реконструкция заводов, новые виды сырья.
- Перепрофилирование спиртовых заводов на производство кормовых дрожжей и других биопродуктов.
- Топливный биоэтанол, бутанол и другие транспортные биотоплива.
- Биотоплива из соломы и опилок: технологии и коммерциализация.
- Пиролиз и газификация: бионефть и сингаз. Стандарты и рынок печного биотоплива.
- Биодизель, биокеросин и растительные масла как топливо.
- Твердые биотоплива: пеллеты, брикеты, щепа.
- Логистика лесной и сельскохозяйственной биомассы.
- Энергетика и водоподготовка при реализации проектов.
- Другие вопросы биотопливной отрасли.

Технический семинар «СпиртЭксперт»

**«Технология производства спирта и обеспечение бесперебойной работы
спиртового производства»** пройдет 17 апреля 2020 года.

Кто будет участвовать:

Производители и трейдеры зерна, сахарные компании, лесозаготовители и переработчики древесины, ЦБК, нефтеперерабатывающие компании, ЖКХ, сети АЗС, предприниматели, банки, венчурные компании, инвестиционные фонды, инжиниринговые компании, производители оборудования, представители региональной и федеральной власти, журналисты и все, кому интересны топлива из возобновляемого сырья.

Российская
Биотопливная
Ассоциация™