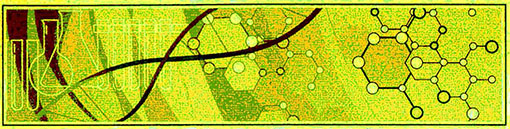
****

**ПРИГЛАШЕНИЕ**

**3 февраля 2022 г., четверг, в 15:00 мск**

**состоится 182-е заседание семинара**

**ЛЕНГМЮРОВСКИЕ ПЛЁНКИ, МОЛЕКУЛЯРНЫЕ АНСАМБЛИ**

**И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

**в формате интернет-конференции**

**(на платформе Zoom)**

**В. А. Быков** *(Технопарк Зеленоград, OOO “НТ-МДТ Спектрум Инструментс”, ООО «НТ-МДТ» (Сколково), Нанотехнологическое общество России)*

**ОТ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ   
ДО МЕТРОЛОГИИ НАНОМАТЕРИАЛОВ И НАНОСТРУКТУР**

В докладе будут изложены история развития и современное состояние и возможности техники на базе сканирующей зондовой микроскопии и спектроскопии для исследования свойств и метрологического контроля поверхностных наноструктур микро и наноэлектроники и наноструктур.

В СССР работы по нанотехнологии начали развиваться с 70-х годов при мощной финансовой поддержке со стороны министерства электронной промышленности (МЭП) СССР (Головная организация - Зеленоградский институт физических проблем МЭП). В одном из отделов Института велись работы по биоэлектронике – изучалась возможность использования потенциала мозга биологических видов – от микроорганизмов до человека для создания искусственных адаптивных систем. Изучались и свойства биологических мембран начиная с мономолекулярных слоев липидов как начальных аналогов биосистем.

С 1973 года тематика несколько изменилась в сторону создания функциональных структур на основе органических соединений, в том числе с использованием процессов самосборки. Начав с исследования биологических липидных мембран, мы перешли к технике формирования структур с послойным нанесением органических поверхностно-активных соединений, формируемых на границе раздела вода-воздух – пленок Ленгмюра-Блоджетт. Уже в 1975-76 годах были созданы промышленные установки формирования молекулярных слоев (ЛБ-пленок), технология ориентации термотропных жидких кристаллов [1], которая на протяжении более 10 лет эксплуатировалась на серийных заводах ПО «ИНТЕГРАЛ» (Минск), «Ангстрем» (Зеленоград) для формирования ориентирующих слоев нематических жидких кристаллов.

С 1975 года в СССР была разработана и активно финансировалась Государственная программа “Молекулярная электроника”, одной из основных технических задач которой являлось создание технологии формирования молекулярно-упорядоченных структур на основе пленок Ленгмюра–Блоджетт (рук. С.Айрапетянц, В.Банников, В.Быков, И.Мягков, П.Сотников). В работах принимали участие более 30 научно-исследовательских институтов со всего Советского Союза.

 Изображение выглядит как человек, внутренний, мужчина

Автоматически созданное описание

Рис. 1. Установки для нанесения ЛБ-пленок разработки отдела молекулярной наноэлектроники НИИФП   
им. Ф.В. Лукина

К 1989 году активно велись и прикладные разработки: создавались технологии формирования электронных резистов из ЛБ-пленок, получены и активно исследовались проводящие ЛБ-пленки на основе комбинации донорных и акцепторных органических молекул, исследовалось строение мультислойных структур методами инфракрасной спектроскопии, электронного парамагнитного резонанса, электронной микроскопии, мало угловой дифракции рентгеновского излучения. Библиотека поверхностно-активных веществ отдела начитывала более сотни соединений.

Были рождены и новые идеи создания активных структур молекулярной наноэлектроники. Но оказывалось, что то, что свойства структур, которые ожидались на основе моделей, предложенных K. Блоджетт, не реализовывались: не получалось электретов, над созданием которых очень интенсивно работали, не удавалось реализовать структуры одноэлектроники на базе проводящих пленок. Cтруктуры, формируемые методами Ленгмюра-Блоджетт и Ленгмюра-Шефера, оказывались практически одинаковыми. Стало жизненно необходимым привлечения новых методов структурных исследований для того, чтобы понять сущность технологий. И такие методы появились в середине 80-х годов. Это методы туннельной и атомно-силовой микроскопии.

Группой швейцарских физиков компании IBM - проф. Генрих Рорер, Герд Бинниг и Кристоф Гербер изобрели туннельный, а затем и атомно-силовой микроскопы, с использованием которых можно эффективно исследовать свойства наноструктур. В таких приборах возможно реализовать и функции нанолитографов. В 1987 году в США, в г. Санта-Барбара (Калифорния) проф. Верджил Эллингс создал компанию Digital Instruments (DI) в которой начались разработки и производство туннельных, а затем и атомно-силовых микроскопов. Но функций нанолитографии, что нас очень интересовало, в этих приборах не было.

В 1988 году мы приняли решение заняться разработкой и производством этих приборов. С этой целью была открыта компания МДТ. Президентом которой мы выбрали Михаила Лазарева, а я и его брат Павел стали вице-президентами. Уже в 1990 году был разработан первый туннельный микроскоп.

В начале 90-х годов были разработаны групповые методы производства кантилеверов, что сделало возможным развитие атомно-силовой микроскопии и такие приборы появились. Первыми их стала производить компания Верджила Эллинга DI. Появление атомно-силовых микроскопов сделало возможным исследование поверхностных структур любой природы, но по-настоящему востребованными методы атомно-силовой микроскопии стали интересными с изобретением Теппинг моды – исследования поверхностей колеблющимся на резонансной частоте кантилевером.

Изображение выглядит как внутренний, стена, пол, кухонный прибор

Автоматически созданное описание Изображение выглядит как внутренний

Автоматически созданное описание

Рис. 2. Первый сканирующий туннельный микроскоп, выпущенный компанией МДТ под руководством автора (СТМ-10-90-МДТ, 1991 год). Конструкция механического блока базировалась на конструкторских разработках лаб. В.И. Панова и была выполнена группой МДТ при участии Яминского И.В. (МГУ) в качестве консультанта.

Компания НТ-МДТ сделала свои первые атомно-силовые микроскопы в 1994 году (СОЛВЕР-Р4), а в конце 1996 года у нас появились приборы, работающие в теппинг моде (СОЛВЕР-Р47).

Изображение выглядит как внутренний

Автоматически созданное описание Изображение выглядит как прибор, оборудование

Автоматически созданное описание

Рис. 3. Атомно-силовые микроскопы Солвер-Р4 и Солвер-Р47.

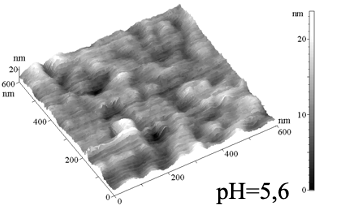
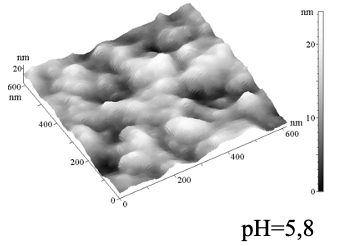
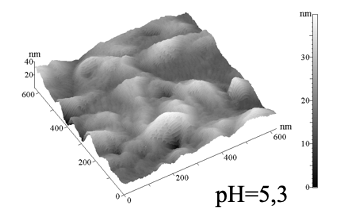


Рис. 4. Топография ЛБ-пленок арахидата кадмия полученных при различных pH.

Полученные результаты (рис. 3) резко изменили представление об ЛБ-пленках. Стало ясным, что ЛБ-техника — это не техника получения заданных структур, а всего лишь техника формирования пленок, а какова будет их структура – это дело отдельных исследований. И также стала очевидной мощность методов атомно-силовой микроскопии для такого рода исследований.

Разработка и создание все более совершенных приборов продолжаются в России уже более 30 лет. Сейчас их ведет ООО «НТ-МДТ» (Сколково-Зеленоград). К настоящему времени методы сканирующей зондовой микроскопии вошли в состав классических методов исследования наноструктур и широко используется для качественной оценки физико-химических, геометрических, электрических, магнитных параметров поверхностей, а также для исследования биологических объектов, в том числе, живых клеток, и изучения их реакции на состав и параметры окружающей среды.

Кроме топографии высокого пространственного разрешения, сканирующие зондовые микроскопы позволяют исследовать целый ряд физических свойств поверхностных структур:

* распределение сил трения между зондом и поверхностью в процессе сканирования;
* распределение поверхностного электрического потенциала (Кельвин-мода);
* распределение поверхностной проводимости;
* распределение электрической емкости системы зонд-поверхность С(x,y), а также dC/dz, dC/dV;
* распределение магнитных сил в системе зонд с заданной намагниченностью – поверхность;
* распределение пьезоэлектрических свойств;
* распределение теплопроводности;
* распределение механических свойств (модуля Юнга, твердости);
* распределение адгезионных свойств;
* электрические свойства поверхностей, плотность поверхностных состояний;
* строение и свойства приповерхностных двойных слоев на границе – изучаемый объект, адсорбированный на твердой подложке – проводящая жидкость;
* свойства живых клеток и образцов тканей, взаимодействия вирусов и лекарственных препаратов с клетками конкретного организма;
* оптические свойства поверхностей с разрешением, значительно превышающим дифракционный предел;
* свойства поверхностей в режимах рамановской, инфракрасной, терагерцовой спектроскопии с пространственным разрешением до 10 нм;
* модификацию поверхности, замещение химических функциональных групп в режимах СЗМ литографии.

Изображение выглядит как текст, внутренний, другой, элементы

Автоматически созданное описание

Рис. 5. Новые приборы компании ООО «НТ-МДТ» (Сколково-Зеленоград).

Можно уверенно констатировать, что к настоящему времени в России выполнены разработки и организовано производство практически полного, за исключением сверхвысоковакуумных СЗМ, комплекса приборов и методов для исследования микро и наноструктур с использованием сканирующих зондовых микроскопов. Для лабораторий – созданы приборы линии ИНТЕГРА, для системы образования в школах и колледжах - бюджетные, но достаточно мощные НАНОЭДЬЮКАТОРы и СОЛВЕР-НАНО, а для исследовательских работ – приборы кратко описанные выше.

Развитие наноэлектроники, создание новой элементной базы стимулируют дальнейшее совершенствоваание приборов, внедрение систем искусственного интеллекта в программное обеспечение, раскрывают возможности развития элементной базы контроллеров, срок морального старения которых сегодня составляет около 5 лет. Более 4000 созданных приборов работают в 64 странах. Каждый год (статистика ведется с 2015 года) более 1000 статей с результатами, выполненными на приборах публикуются в рецензируемых журналах.

**Основные публикации**

1) Kalinin A.S., Polykov V.V. and Bykov V.A. Hybrid Piezoresponse Force Microscopy for compositional study of biopiezoelectrics // J. Phys. Conf. Ser. – 2017. Vol. 878

2) Shelaev A. V, Mintairov A. M., Dorozhkin P. S., and Bykov V. A. Scanning near-field microscopy of microdisk resonator with InP/GalnP quantum dots using cantilever-based probes // J. Phys. Conf. Ser. 2016. Vol. 741. P. 12132.

3) A. V. Shelaev P. S. Dorozhkin, V. A. Bykov. Near-field optical lithography in application to plasmonic antennas characterization. Instruments and Experimental Techniques. November 2016, Volume 59, Issue 6, pp 837–841.

4) Lebedev, D.V., Vlasov A.S., Kulagina M.M., Troshkov S.I., Guseva Y.A., Pelucchi E., Gocalinska A., Juska G., Romanova A.Y., Buriak P.A., Smirnov V.I., Shelaev A.V., Bykov V.A., Mintairov A.M. Low Threshold Lasing in InP/GaInP Quantum Dot Microdisks// Semiconductors.-Volume 52, Issue 14, Pages 1894-1897.

5) Lebedev, D.V., Kalyuzhnyy N.A., Mintairov S.A., Belyaev K.G., Rakhlin M.V., Toropov A.A., Brunkov P., Vlasov A.S., Merz, J., Rouvimov S., Oktyabrsky S., Yakimov M., Mukhin I.V., Shelaev A.V., Bykov V.A., Romanova A.Y., Buryak P.A., Mintairov A.M. Density Control of InP/GaInP Quantum Dots Grown by Metal-Organic Vapor-Phase Epitaxy// Semiconductors.- Volume 52, Issue 4, Pages 497-501.

6) Mintairov A. M., Lebedev D. V., Bert N., Belyaev K. G. ; Nevedomskiy V. N. ; Pakhlin M. V., Toropov A. A., Vlasov A. S., Gocalinska A., Juska G., Pelucchi E., Arredondo M. A., Naden A. B., Shelaev A. V., Bykov V. A. Atomic ordering and bond relaxation in optical spectra of self-organized InP/GaInP2 Wigner molecule structures// APPLIED PHYSICS LETTERS.- 2019.- Том: 115 Выпуск: 20, Номер статьи: 202104, DOI: 10.1063/1.5126527.

7) Mintairov A. M., Kapaldo J., Merz J. L., Rouvimov S., Lebedev D. V., Kalyuzhnyy N. A., Mintairov S. A., Belyaev K. G., Rakhlin M. V., Toropov, A. A., Brunkov P. N., Vlasov A. S., Zadiranov Yu. M., Blundell S. A., Mozharov A. M., Mukhin I., Yakimov M., Oktyabrsky S., Shelaev A. V., Bykov V. A. Control of Wigner localization and electron cavity effects in near-field emission spectra of In(Ga)P/GaInP quantum-dot structures// PHYSICAL REVIEW B.- 2018.- Том 97, Выпуск 19, Номер статьи: 195443. DOI: 10.1103/PhysRevB.97.195443.

Прочие публикации:

1) Быков В.А., Калинин А.С., Поляков В.В., Шелаев А.В. К научному приборостроению для нанотехнологии: сканирующая зондовая микроскопия // Электронная техника. Серия 3. Микроэлектроника – 2017. № 2, стр.30-44

2) Калинин А.С., Атепалихин В.В., Поляков В.В., Быков В.А. Метод атомно-силовой микроскопии для неразрушающего анализа температурной динамики электромеханических свойств наноструктур// Электронная техника. Серия 3. Микроэлектроника, серия 3(167), 2017, стр. 28-32

3) Шелаев А.В., Дорожкин П.С., Быков В.А. Использование ближнепольной оптической литографии для характеризации плазмонных антенн // Приборы и техника эксперимента – 2016, No6, С. 66-70.

4) Громов Д.Г., Дубков С.В., Ерицян Г.С., Савицкий А.И., Быков В.А., Бобров Ю.А. ТЕРМИЧЕСКАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МАССИВА НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА, ПОЛУЧЕННОГО ВАКУУМ-ТЕРМИЧЕСКИМ ИСПАРЕНИЕМ НА НЕНАГРЕТУЮ ПОДЛОЖКУ// Известия высших учебных заведений. Электроника. 2019. Т. 24. № 6. С. 557-564.

5) Быков В., Поляков В. НОВЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ, КОМПЛЕКСНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ МАТЕРИАЛОВ И СТРУКТУР С ВЫСОКИМ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ// Наноиндустрия. 2017. № 2 (72). С. 58-72.

**Изображение выглядит как человек, мужчина, внутренний, костюм

Автоматически созданное описаниеБИОГРАФИЧЕСКАЯ СПРАВКА**

**Быков Виктор Александрович** – профессор МФТИ, д.т.н., почетный президент группы компаний НТ-МДТ Спектрум Инструментс, Президент нанотехнологического общества России. Родился 19.09.1950 в г. Саратове. После окончания физико-математической школя №13 г. Саратова в 1967г. Поступил на факультет физической и квантовой электроники МФТИ, который окончил в 1973 г. С момента окончания института до 2014 года работал в НИИ Физических проблем им. Ф.В. Лукина (Зеленоград) – 1973 – 1981 инженер, м.н.с., ст. инженер, ведущий инженер, с 1981г. – начальник лаборатории, с 1988 – 2000 – начальник отдела, 2010- 2014 зам. директора по науке. В 1988 году был одним из инициаторов создания исследовательской корпорации «МДТ» (Москва), в которой были созданы первые сканирующие туннельные микроскопы. В 1993 году проект по разработке и производству сканирующих зондовых микроскопов был выделен в ЗАО «НТ-МДТ», в котором были разработаны приборы мирового уровня. В настоящее время приборы производятся в ООО «НТ-МДТ» - ООО «НТ-МДТ Спектрум Инструментс» (Москва – Зеленоград).

Быков В.А. был одним из ведущих разработчиков, а потом и руководителем программы «Молекулярная электроника», работая с замечательными учеными – с академиками АН СССР Александром Михайловичем Прохоровым, Борисом Константиновичем Вайнштейном, Камилем Ахметовичем Валиевым. Он выполнил большой объем работ по жидким кристаллам. Защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Фибриллярные лиотропные жидкие кристаллы и ориентированные пленки на их основе», а в 2000 году диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук «Приборы и методы сканирующей зондовой микроскопии для исследования и модификации наноструктур». Уже в это время около 140 приборов, разработанных под руководством автора было поставлено и эксплуатировалось в 19 странах, в том числе 54 в России, 15 в США и Канаде, 18 в Японии, более 30 в странах Европы. В настоящее время более 4000 приборов Проекта работают в 63 странах. Ежегодно в научных журналах публикуется более 1000 статей с результатами, полученными с помощью этих приборов.

В настоящее время Быков В.А. является действительным членом Академии инженерных наук им. А.М.Прохорова (АИН) и Международной академии технологических наук (МАТН), почетным президентом ООО «НТ-МДТ» [www.ntmdt-si.ru](http://www.ntmdt-si.ru) ([www.ntmdt-si.com](http://www.ntmdt-si.com)), ООО «НТ-МДТ Спектрум Инструментс [www.rusnor.org](http://www.rusnor.org). С 2011 года он - Президент нанотехнологического общества России <https://www.rusnor.org/nor/structure/president.php>.

Быков В.А. является лауреатом премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, награжден медалью ЮНЕСКО за вклад в развитие наноиндустрии и нанотехнологий (2011 г.), имеет многочисленные награды Правительства Москвы, благодарности Министерсва науки и образования России. Быков В.А. является членом бюро ЛБ-семинара с момента его образования.

**\* \* \***

**БЮPО СЕМИНAPA**:

Л. A. Фейгин (председатель), Л. Г. Янусовa (ученый секретарь),

Т. В. Букреева, М. А. Марченкова, С. A. Пикин, Е. В. Хайдуков - Институт кристаллографии им. А. В. Шубникова, ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН,

А. С. Алексеев - Институт общей физики им. А. М. Прохорова РАН,

В. A. Быков - НИИ физических проблем им. Ф. В. Лукина, НТ МДТ,

A. Г. Витухновский - Физический институт им. П. Н. Лебедева PAН,

В. В. Ерохин - Институт материалов для электроники и магнетизма.   
Национальный Совет по Науке, Парма, Италия,

Н. В. Марченков, С. Н. Чвалун - НИЦ «Курчатовский институт»,

Г. С. Плотников - Физический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова,

В. Л. Шаповалов - Институт химической физики им. Н. Н. Семенова РАН.

**Контакты***:* Людмила Германовна Янусова <yanusova@crys.ras.ru>, +7(926)119-47-66

------------------------------------

**Инструкция по использованию платформы Zoom**

После перехода по [ссылке](https://us02web.zoom.us/j/81166043318):

**https://us02web.zoom.us/j/84806602507?pwd=UU9pTGJUb3Y1ZGlMQUxhS09HdVRXZz09**

Вам автоматически будет предложено скачать приложение Zoom (если ранее данное приложение не было установлено). Нужно скачать его и установить.

После этого Вам, возможно, будет предложено подключиться с видео или без видео (выберите на Ваше усмотрение).

Далее председатель онлайн-семинара подтвердит Ваше участие на своем компьютере (это может занять несколько минут).

После этого Вам обязательно нужно нажать «Войти с использованием звука компьютера» (Если используете мобильный телефон или планшет вместо этого необходимо согласиться на передачу звука через интернет).

Если предыдущий шаг был по каким-то причинам пропущен, в процессе онлайн-семинара в левом нижнем углу отображается значок наушников, необходимо нажать на него и согласиться.

Пожалуйста, укажите свое имя и фамилию при входе в конференцию или проверьте, указаны ли эти данные в настройках Вашего аккаунта (для тех, у кого установлена программа, включаем ее до семинара, заходим в настройки, профиль, указываем имя, фамилию, по желанию ставим фотографию). Это сделает проведение нашего семинара более комфортным. Также сменить свои имя и фамилию можно, нажав правой кнопкой мыши на свой экран (где изображение с Вашей камеры) и выбрав «Переименовать».

После того, как звук будет подключен, в левом нижнем углу Вы увидите значки микрофона и камеры. При входе в конференцию, пожалуйста, проверьте, чтобы микрофон и камера были выключены (красные перечеркнутые значки). Включенный микрофон и камера на время семинара остаются только у лектора.

Режим отображения участников можно менять в правом верхнем углу экрана с «вид докладчика» на «вид галереи» (9 квадратиков, расположенных по 3 в ряд, 3 ряда). Чтобы зафиксировать изображение докладчика, переключитесь на «вид галереи», наведите курсор на 3 точки в правом верхнем углу выбранного докладчика, щелкните правой кнопкой мышки, выберите «закрепить видео». Режим поменяется на «вид докладчика» и появится значок кнопки с надписью «открепить видео», если вам понадобиться вернуться к предыдущему стилю отображения. При подключении к семинару через телефон/планшет смахните экран справа налево для перехода в «вид галереи», дважды коснитесь экрана в месте отображения нужного докладчика, режим поменяется на «вид докладчика», дважды коснитесь экрана в случае, если понадобится отменить закрепленное видео.

Чтобы задать вопрос перейдите на вкладку «чат» внизу экрана, нажмите на 3 точки в правом нижнем углу, затем «поднять руку». Модератор включит Ваш микрофон и можно будет задать вопрос. Если участие в семинаре осуществляется через телефон планшет, то нажимаем на 3 точки в правом нижнем/верхнем углу экрана и затем «поднять руку».

------------------------------------