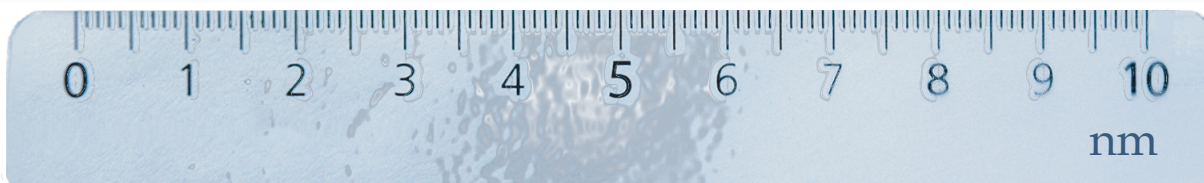


# современные достижения БИОНАНОСКОПИИ



## сборник тезисов

Третья международная конференция  
16-18 июня 2009 г., Москва  
физический факультет МГУ

# современные достижения БИОНАНОСКОПИИ



## Третья международная конференция

16 – 18 июня 2009 года

физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова

В этом году в рамках конференции пройдет стендовая сессия и устные доклады, в рамках которых будет производиться отбор победителей по программе У.М.Н.И.К. по направлениям

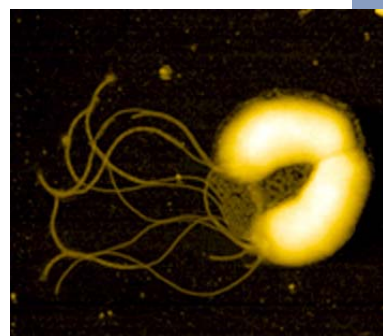
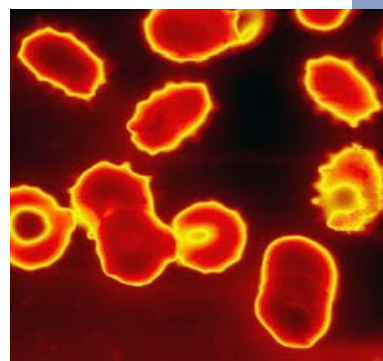
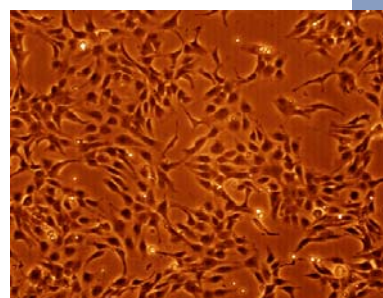
- биотехнологии
- информационные технологии
- медицина и фармакология
- химия, новые материалы
- химические технологии

### Программный комитет:

**Атабеков И.Г.** – академик РАН, Россия  
**Кирпичников М.П.** - академик РАН, Россия  
**Лунин В.В.** – академик РАН, Россия  
**Скулачев В.П.** – академик РАН, Россия  
**Третьяков Ю.Д.** – академик РАН, Россия  
**Хохлов А.Р.** – академик РАН, Россия  
**Гудилин Е.А.** – член-корр. РАН, Россия  
**Курочкин И.Н.** – профессор, Россия  
**Яминский И.В.** – профессор, Россия  
**Шайтан К.В.** – профессор, Россия  
**Kim T.S.** – professor, KIST, Korea  
**Lyubchenko Y.L.** – professor Nebraska Medical Center, USA  
**Magonov S.N.** – Research Scientist, Agilent, USA  
**Zinoviev K.** – Research Scientist, Spain

### Организационный комитет:

**Яминский И. В.** – профессор, Россия (председатель)  
**Клячко Н.Л.** – профессор, Россия  
**Тимошенко В.Ю.** – профессор, Россия  
**Бонарцев А.П.** – научный сотрудник биологического факультета МГУ, Россия  
**Скулачев М.В.** – Центр Митоинженерии МГУ  
**Дубровин Е.В.** – научный сотрудник физического факультета МГУ, Россия  
**Меньшиков Е.А.** – Центр перспективных технологий, Россия  
**Сушко А.Д.** – Центр перспективных технологий, Россия



# современные достижения БИОНАНОСКОПИИ



## ПРОГРАММА ТРЕТЬЕЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «СОВРЕМЕННЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ БИОНАНОСКОПИИ»

### 16 июня 2009

10-00 – 10-20 Открытие конференции

10-20 – 10-45 Е.В. Дубровин: «Изучение влияния пленки октадециламина на адсорбцию ДНК на высокоориентированном пиролитическом графите»

10-45 – 11-10 А.Д. Сушко: «Вирусы – природная нанотехнология»

11-10 – 11-35 А.А. Федянин: «Применение методов лазерного микропинцета в бионаноскопии»

*11-10 – 11-25: Кофе-брейк*

11-25 – 11-50 Д.В. Клинов: «Методические подходы к созданию молекулярных наноэлектронных устройств»

11-50 – 12-15 В.В. Прохоров: «Изучение эпитаксиальных поверхностных структур олигоглицина на графите методом АСМ высокого разрешения»

14-00 – 15-00 Стендовая сессия

15-15 – 17-15 Практикум по зондовой микроскопии

### 17 июня 2009

10-00 – 10-25: П.В. Горелкин: «Наномеханические кантилеверные системы для сенсорных приложений»

10-25 – 10-50: Е.А. Меньшиков: «Вопросы нанометрологии в бионаноскопии»

10-50 – 11-15: А.А. Ежов: «Оптическая наноскопия»

*10-50 – 11-05: Кофе-брейк*

11-05 – 11-30: А.С. Филонов: «Современная архитектура зондовых микроскопов для бионаноскопии»

11-30 – 11-55: И.В. Яминский: «Бионаноскопия для клинической диагностики»

14-00 – 14-15: Подведение итогов конкурса на лучшее изображение

14-15 – 15-00: Проведение круглого стола по бионаноскопии

15-00 Совместное фото участников

15-15 – 16-15: Стендовая сессия

### 18 июня 2009

10-00 – 13-00: Проведение конкурса У.М.Н.И.К. по секциям:

Бионаноскопия и биотехнологии,

Информационные технологии,

Медицина и фармакология,

Химия, новые материалы,

Химические технологии

14-00 – 17-00: Проведение конкурса У.М.Н.И.К. (продолжение).

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                                        |          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>ПЕРЕРАБОТКА ОРГАНИЧЕСКОГО СЫРЬЯ И ОТХОДОВ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ<br/>КОНСОРЦИУМОМ ГЕТЕРОТРОФНЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ ЧЕРЕЗ<br/>ПРОМЕЖУТОЧНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ БИОВОДОРОДА .....</b> | <b>9</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|

С.М. Абрамов, Э.Р. Садрадинова

|                                                                              |           |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>3D-МАТРИЦЫ ИЗ РЕКОМБИНАНТНОЙ ПАУТИНЫ ДЛЯ ТКАНЕВОЙ<br/>ИНЖЕНЕРИИ .....</b> | <b>11</b> |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------|

А.Ю. Архипова, П.С. Ерёмин, А.А. Казюлина

|                                                                 |           |
|-----------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>СКАНИРУЮЩАЯ СИЛОВАЯ МИКРОСКОПИЯ ПОЧВЕННЫХ БАКТЕРИЙ .....</b> | <b>13</b> |
|-----------------------------------------------------------------|-----------|

А.В. Большакова, Е.А. Воробьева

|                                                                                                                                                                 |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>МЕТОДЫ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ ДЛЯ ХАРАКТЕРИЗАЦИИ<br/>ПОВЕРХНОСТЕЙ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО АЛМАЗА, ПОКРЫТЫХ<br/>АТОМАРНЫМ КИСЛОРОДОМ ИЛИ ВОДОРОДОМ .....</b> | <b>14</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|

О.П. Будник

|                                                                                                                               |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>БИОПОЛИМЕРНЫЕ МИКРОСФЕРЫ С ИНКАПСУЛИРОВАННЫМ<br/>ПРОТИВООПУХОЛЕВЫМ ПРЕПАРАТОМ И НЕОРГАНИЧЕСКИМИ<br/>НАНОЧАСТИЦАМИ.....</b> | <b>15</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|

В.В. Воинова, Г.А. Бонарцева, В.А. Надточенко, А.П. Бонарцев, К.В. Шайтан

|                                                                            |           |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ<br/>НАНОМАТЕРИАЛОВ.....</b> | <b>16</b> |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------|

С.С. Голубев, С.Н. Голубев

|                                                                                                                   |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ПРЕОБРАЗОВАНИЕ И КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ ЭНЕРГИИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО<br/>ПОЛЯ НА НАНОЧАСТИЦАХ В ГЕЛЕВЫХ СИСТЕМАХ.....</b> | <b>18</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|

А.В. Гопин

|                                                                                     |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ИЗГОТОВЛЕНИЕ ВЫСОКОСЕЛЕКТИВНЫХ НАНОДАТЧИКОВ НА ОСНОВЕ<br/>КАНТИЛЕВЕРОВ .....</b> | <b>19</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|

П.В. Горелкин, Г.А. Киселев, И.В. Яминский

|                                                                                                                                                  |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФЕКТНОСТИ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ<br/>МНОГОСЛОЙНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ НА СФЕРИЧЕСКОМ<br/>НОСИТЕЛЕ СФЕРИЧЕСКОМ НОСИТЕЛЕ .....</b> | <b>20</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|

Д.А. Давыдов, А.С. Малинин, П.В. Горелкин, И.В. Яминский, А.А. Ярославов



**ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ФЕМТО- И НАНОСЕКУНДНОЙ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ НАНОЧАСТИЦ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЙ В БИОЛОГИИ..... 22**

Л.А. Головань, А.Е. Докукина, А.А. Ежов, С.В. Заботнов, П.К. Кашкаров, В.И. Панов, П.А. Перминов, В.Ю. Тимошенко

**ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛЕНКИ ОКТАДЕЦИЛАМИНА НА АДсорбцию ДНК НА ВЫСОКООРИЕНТИРОВАННОМ ПИРОЛИТИЧЕСКОМ ГРАФИТЕ..... 24**

Е.В. Дубровин, Я.В. Герритсен, Е. Живкович, С. Спеллер, И.В. Яминский

**РАЗРАБОТКА АФИННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ БАКТЕРИАЛЬНЫХ НАНОФРАГМЕНТОВ ИЗ РАСТВОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ ..... 25**

Е.В. Дубровин, С.Г. Игнатов, Т.Е. Игнатьюк, С.В. Краевский, Г.Н. Федюкина, И.В. Яминский

**ОПТИЧЕСКАЯ НАНОСКОПИЯ (ПО МАТЕРИАЛАМ ЛИТЕРАТУРЫ) ..... 26**

А.А. Ежов

**КИНЕТИКА ИСПАРЕНИЯ МИКРОКАПЕЛЬ НА АСМ КАНТИЛЕВЕРЕ ..... 27**

А.С. Ерофеев, И.В. Яминский

**КОНДЕНСАЦИЯ ВОДЯНОЙ ПЛЕНКИ НА ПОВЕРХНОСТИ СЛЮДЫ ..... 28**

Ефремов Ю.М., Багров Д.В., Яминский И.В.

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДОВ ИЗУЧЕНИЯ АПОПТОЗА В ПЕЧЕНИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОСКОПА ..... 29**

Н.Н. Иванская, Е.Н. Калюкова

***IN-VITRO* ФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ ТЕСТ НА ПРАВИЛЬНОСТЬ ФОЛДИНГА КАЛИЕВОГО ПОТЕНЦИАЛ-ЗАВИСИМОГО КАНАЛА ..... 30**

М.Г.Карлова, А.В.Пищальникова, А.А.Рамонова, М.М.Мойсенович, О.С. Соколова

**МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ МОЛЕКУЛЯРНЫХ НАНОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ ..... 32**

Д.В. Клинов

**СОЗДАНИЕ НОВЫХ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КАНТИЛЕВЕРОВ..... 33**

Д.В. Колесов

|                                                                                                                                                              |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ПЕРИТОНЕАЛЬНЫХ МАКРОФАГОВ ПОСЛЕ ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С МОНОМЕРОМ И ДИМЕРОМ РНКАЗЫ В. INTERMEDIUS МЕТОДОМ АСМ.....</b>               | <b>34</b> |
| О.А.Коновалова, И.Р.Ефимова, Н.В.Калачева                                                                                                                    |           |
| <b>ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ОПТИЧЕСКОГО ПИНЦЕТА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ АГРЕГАЦИИ ЭРИТРОЦИТОВ.....</b>                                                                         | <b>35</b> |
| Е.В. Любин, М.Д. Хохлова, А.Г. Жданов, С.Ю. Рыкова, И.А. Соколова, А.А. Федянин                                                                              |           |
| <b>АТОМНО-СИЛОВАЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННАЯ МИКРОСКОПИЯ.....</b>                                                                                                     | <b>36</b> |
| Е.А. Меньшиков                                                                                                                                               |           |
| <b>ИЗУЧЕНИЕ НАНОФИБРИЛЛ РЕКОМБИНАНТНОГО БЕЛКА ПАУТИНЫ 1F9 МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ.....</b>                                                        | <b>38</b> |
| В.В.Мусатова, Д.В.Багров, И.И.Агапов, И.В.Яминский, В.Г.Богун, К.В.Шайтан                                                                                    |           |
| <b>ОСОБАЯ РОЛЬ МЕНЕДЖМЕНТА В ИННОВАЦИОННОМ ПРЕДПРИЯТИИ НА ПРИМЕРЕ ООО «АКАДЕМИЯ БИОСЕНСОРОВ».....</b>                                                        | <b>40</b> |
| Д.С. Мухин                                                                                                                                                   |           |
| <b>ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВИРУСНЫХ И ВИРУСОПОДОБНЫХ ЧАСТИЦ С ПОЛОЖИТЕЛЬНО ЗАРЯЖЕННЫМИ МАГНИТНЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ..</b>                                        | <b>41</b> |
| Никитин Н.А., Архипенко М.В., Родионова Н.П., Карпова О.В.                                                                                                   |           |
| <b>ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НАНОЧАСТИЦ МАГНЕТИТА С БИОЛОГИЧЕСКИМИ КЛЕТКАМИ. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДАМИ СКАНИРУЮЩЕЙ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ.....</b>                            | <b>43</b> |
| Е.В. Николаева, Е.И. Шишкин, В.Я. Шур                                                                                                                        |           |
| <b>ИЗУЧЕНИЕ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТРУКТУР ОЛИГОГЛИЦИНА НА ГРАФИТЕ МЕТОДОМ АСМ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ</b>                                                | <b>44</b> |
| Прохоров В.В., Клинов Д.В., Чинарев А.А., Тузиков А.Б., Бовин Н.В.                                                                                           |           |
| <b>ИММУНОХИМИЧЕСКИЕ И ЦИТОТОКСИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВИСКУМИНА, ИНКАПСУЛИРОВАННОГО В ПОЛИЛАКТИДНУЮ МАТРИЦУ С ПОМОЩЬЮ СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО ДИОКСИДА УГЛЕРОДА .....</b> | <b>45</b> |
| Рамонова А. А., Хапчаев Ш. Ю.                                                                                                                                |           |

**ПРИМЕНЕНИЕ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ  
СРЕЗОВ ТКАНЕЙ ..... 47**

Роскошная А.С., Багров Д.В., Онищенко Г.Е., Шайтан К.В.

**ШИРОКОПОЛОСНАЯ ФОКУСИРОВАННАЯ МНОГОЭЛЕМЕНТНАЯ АНТЕННА  
ДЛЯ ОПТИКО-АКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ БИОЛОГИЧЕСКИХ  
ОБЪЕКТОВ..... 48**

В.А. Симонова, А.А. Карабутов, Е.В. Саватеева, В.Я. Панченко

**НОВЫЙ МЕТОД НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЯ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ 50**

О.В. Синицына, И.В. Яминский

**ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МИКРОЧАСТИЦЫ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ  
..... 51**

И.В. Соболева, З.М. Томова, А.А. Федянин

**ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА САМОСБОРКИ ВИРУСНЫХ ЧАСТИЦ ПРИ ПОМОЩИ  
АСМ..... 52**

Сушко А.Д., Никитин Н.А., Полозов В.М., Архипенко М.В., Карпова О.В., Яминский И.В.

**ВЫСВОБОЖДЕНИЕ РНК ИЗ ВИРУСА ОБЫКНОВЕННОЙ ПРОСТУДЫ  
ЧЕЛОВЕКА HRV 2 В КИСЛОЙ СРЕДЕ ..... 54**

Сушко А.Д., Дрыгин Ю.Ф., Яминский И.В.

**ПЛАЗМОН-АКТИВНЫЕ МИКРОЧАСТИЦЫ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА  
КРЕМНИЯ ДЛЯ ОПТИЧЕСКОГО СЕНСОРА..... 55**

З.М. Томова, К.М. Герман, И.В. Соболева, А.А. Федянин

**СТАБИЛИЗАЦИЯ ФЕРМЕНТОВ-АНТИОКСИДАНТОВ В НАНОЗИМАХ:  
ПЕРСПЕКТИВЫ ЛЕЧЕНИЯ ЗАБОЛЕВАНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ  
СИСТЕМЫ ..... 56**

С.В. Угланова, М.В. Попов, И.С. Панина, Н.Л. Клячко

**УСТРАНЕНИЕ ИСКАЖЕНИЙ, ВНОСИМЫХ КОНЕЧНОЙ ФОРМОЙ ЗОНДА..... 57**

И.А.Усов

**МОДЕРНИЗАЦИЯ МИКРОСКОПА ФЕМТОСКАН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
СОВРЕМЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ..... 58**

Филонов А.С., Мешков Г.Б.

|                                                                                                                                          |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>БИОНАНОСКОПИЯ ДЛЯ КЛИНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ .....</b>                                                                                   | <b>59</b> |
| <b>И.В. Яминский</b>                                                                                                                     |           |
| <b>ЛОКАЛЬНАЯ ФЕМТОСЕКУНДНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ПЛАЗМОННЫХ<br/>МЕТАМАТЕРИАЛОВ .....</b>                                                        | <b>62</b> |
| <b>В.О. Бессонов</b>                                                                                                                     |           |
| <b>ПЛАЗМОННОЕ УСИЛЕНИЕ ЛИНЕЙНОГО ДВУЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЯ И<br/>ДИХРОИЗМА В ПЛАНАРНЫХ АНИЗОТРОПНЫХ ОПТИЧЕСКИХ<br/>МЕТАМАТЕРИАЛАХ .....</b>     | <b>63</b> |
| <b>П.П. Вабищевич, М.И. Добындэ, М.Р.Щербаков, Т.В. Долгова, А.А. Федянин</b>                                                            |           |
| <b>ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ КОНТРОЛЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА<br/>ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ СМЕСЕЙ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....</b>                                     | <b>64</b> |
| <b>А.И. Волков</b>                                                                                                                       |           |
| <b>МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПИСАНИЯ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И РЕЖИМОВ<br/>РАБОТЫ ПОЛИМЕР-ЭЛЕКТРОЛИТНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.....</b>                  | <b>65</b> |
| <b>А.А. Гаврилов, А.В. Чертович, А.Р. Хохлов</b>                                                                                         |           |
| <b>ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ И СТРУКТУРЫ ПОЛИМЕРНОЙ СЕТКИ НА СВОЙСТВА<br/>ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПОЛИМЕРОВ.....</b>                                   | <b>66</b> |
| <b>Е.Ю. Кожунова</b>                                                                                                                     |           |
| <b>КАТАЛИТИЧЕСКОЕ ГИДРОФОСФОРИЛИРОВАНИЕ БЕНЗОИЛЗАМЕЩЕННЫХ<br/>ГИДРАЗОНОВ .....</b>                                                       | <b>67</b> |
| <b>Е.Д. Матвеева, Т.А. Подругина, И.Н. Колесникова, Н.С. Зефилов</b>                                                                     |           |
| <b>НАНЕСЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК НА ПОДЛОЖКИ С ВЫСОКОРАЗВИТОЙ<br/>ПОВЕРХНОСТЬЮ ИЗ СРЕДЫ СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО ДИОКСИДА УГЛЕРОДА.<br/>.....</b> | <b>68</b> |
| <b>Д.О. Коломыткин</b>                                                                                                                   |           |
| <b>СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НОВЫХ<br/>ФТОРПРОИЗВОДНЫХ ФУЛЛЕРЕНА .....</b>                                         | <b>69</b> |
| <b>Е.С. Корниенко</b>                                                                                                                    |           |
| <b>СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ ПОЛИЯДЕРНЫХ<br/>ГЕТЕРОАРОМАТИЧЕСКИХ ЭКСТРАГЕНТОВ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ<br/>ЭЛЕМЕНТОВ И АКТИНИДОВ .....</b>       | <b>70</b> |
| <b>А. А. Костин, И. И. Елисеев, М. Ю, Аляпышев</b>                                                                                       |           |

|                                                                                                                                                                                                                    |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>МЕТОД МНОГОКАНАЛЬНОГО ГАММА-АКТИВАЦИОННОГО АНАЛИЗА.....</b>                                                                                                                                                     | <b>71</b> |
| И.В. Макаренко                                                                                                                                                                                                     |           |
| <b>МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ПОЛИАНИЛИНА.....</b>                                                                                                                                      | <b>72</b> |
| К.А. Милакин, В.Г. Сергеев                                                                                                                                                                                         |           |
| <b>ОПТИМИЗАЦИЯ ОБОБЩЕННОГО ОРТОГОНАЛЬНОГО БАЗИСА ВЕЙЛЯ-ГЕЙЗЕНБЕРГА С УЧЕТОМ ВИДА СИММЕТРИИ ФОРМИРУЮЩЕГО ИМПУЛЬСА .....</b>                                                                                         | <b>73</b> |
| Д.А. Петров                                                                                                                                                                                                        |           |
| <b>АРОМАТИЗАЦИЯ С6-С8 ФРАКЦИИ ПИРОКОНДЕНСАТА НА МЕТАЛЛСОДЕРЖАЩИХ ЦЕОЛИТНЫХ КАТАЛИЗАТОРАХ .....</b>                                                                                                                 | <b>75</b> |
| Б.А. Солопов                                                                                                                                                                                                       |           |
| <b>ПЕРВАПОРАЦИОННОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ ВОДНО-ОРГАНИЧЕСКИХ СМЕСЕЙ НА МЕМБРАНАХ С ЦЕОЛИТОМ NAA .....</b>                                                                                                                     | <b>76</b> |
| Д.А. Федосов, А.А. Наширбаев                                                                                                                                                                                       |           |
| <b>РАЗРАБОТКА ПОДХОДОВ К СТАБИЛИЗАЦИИ ФЕРМЕНТОВ БАКТЕРИОФАГОВ КАК ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫХ АГЕНТОВ ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ БОЛЕЗНЕЙ МИКРОБНОЙ (СТРЕПТОКОККА И СТАФИЛОКОККА) ЭТИОЛОГИИ В МЕДИЦИНЕ И ВЕТЕРИНАРИИ.....</b> | <b>77</b> |
| Л.Ю. Филатова, Н.Л. Клячко                                                                                                                                                                                         |           |
| <b>МУЛЬТИФЕРРОИДНЫЕ ТРЁХМЕРНЫЕ ФОТОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ .....</b>                                                                                                                                                        | <b>78</b> |
| Б.Б. Цема, М.И. Шарипова, В.В. Абрамова, С.О. Климонский, А.А. Ежов, Т.В. Долгова, А.А. Федянин                                                                                                                    |           |
| <b>ФОТОННОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ПЛАНАРНЫЕ МИКРОИНТЕРФЕРОМЕТРЫ МАХА-ЦЕНДЕРА ДЛЯ СЕНСОРИКИ .....</b>                                                                                                                       | <b>79</b> |
| Четвертухин А. В., Дрынкина Е. В., Федянин А. А.                                                                                                                                                                   |           |
| <b>ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОПОЛЯРИЗАТОРОВ НА ОСНОВЕ АНИЗОТРОПНЫХ ПЛАЗМОННЫХ МЕТАМАТЕРИАЛОВ.....</b>                                                                                                            | <b>80</b> |
| М.Р. Щербаков, А.А. Федянин                                                                                                                                                                                        |           |
| <b>КОНКУРС ИЗОБРАЖЕНИЙ BIO IMAGE .....</b>                                                                                                                                                                         | <b>82</b> |
| <b>СПИСОК УЧАСТНИКОВ КОНФЕРЕНЦИИ .....</b>                                                                                                                                                                         | <b>89</b> |



# ПЕРЕРАБОТКА ОРГАНИЧЕСКОГО СЫРЬЯ И ОТХОДОВ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ КОНСОРЦИУМОМ ГЕТЕРОТРОФНЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ ЧЕРЕЗ ПРОМЕЖУТОЧНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ БИОВОДОРОДА

С.М. Абрамов, Э.Р. Садрадинова

Биологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова

*abramov\_sergei@inbox.ru*

В настоящее время существует серьезная проблема переработки и утилизации органических отходов. По официальным данным, такой крупный мегаполис как Москва ежегодно производит 19 млн. тонн отходов, из которых более четверти, составляют органические отходы. В связи с этим крайне актуальной является задача экологически безопасной и экономически эффективной конверсии органических отходов. Вместе с тем, отходы потенциально могут быть переработаны с получением топлива и электроэнергии.

Наиболее перспективным видом топлива считается биоводород. Один из самых распространенных методов его получения – анаэробное разложение биомассы при помощи микроорганизмов.

В рамках данной работы нами проведен скрининг природных микробных сообществ, выделенных из различных источников, способных к эффективной переработке целлюлозосодержащего органического сырья и отходов. Были проанализированы микробные сообщества, выделенные из природных ниш, в которых происходит процесс разложения целлюлозы (активный ил, почва, водоёмы), а также симбионты кишечного тракта животных и насекомых. В общей сложности нами было проанализировано более двух десятков микробных сообществ.

Главными критериями отбора наиболее эффективных целлюлозолитических сообществ служили степень разложения целлюлозы и количество накопленного водорода. При этом в качестве источников роста сообществ мы использовали следующие целлюлозосодержащие субстраты: бумага (фильтровальная бумага (рис. 1), журнальная и газетная бумага), микрокристаллическая целлюлоза, опилки фруктовых деревьев, сено, отруби.

Из ряда сообществ были выделены чистые культуры микроорганизмов, что способствовало более детальному пониманию структуры исследуемого сообщества и функций, вы-

полняемых той или иной чистой культурой в составе сообщества (рис. 2).

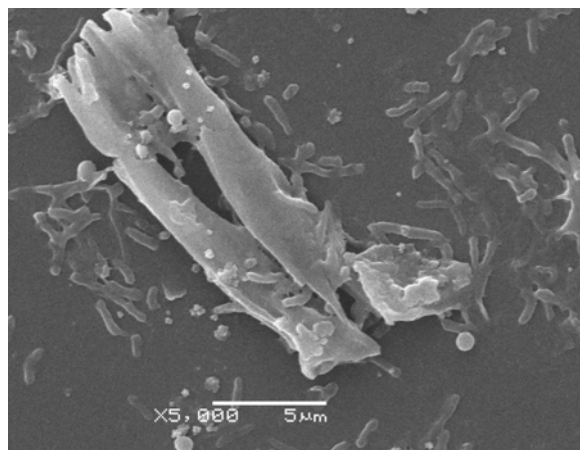


Рис. 1. Клетки микроорганизмов на частице фильтровальной бумаги. Электронная микрофотография.

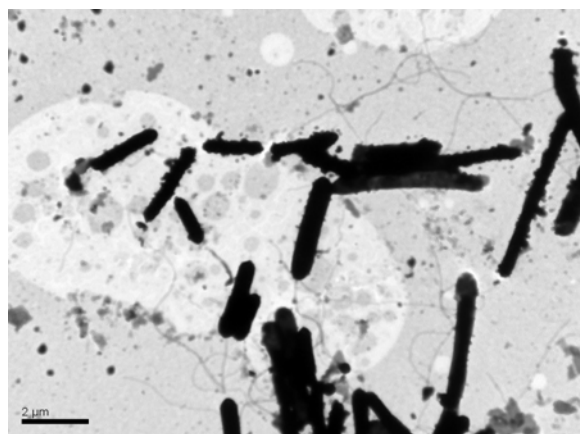


Рис. 2. Чистая культура микроорганизмов, представленная палочковидными жгутиковыми формами. Электронная микрофотография, негативное контрастирование.

Также непрерывно осуществлялся контроль количества образовавшихся продуктов (ацетат, лактат, бутират, пропионат, водород и углекислый газ). По количеству накопленного водорода были отобраны наиболее продуктивные сообщества (табл. 1).

Максимальная скорость переработки целлюлозы и накопления водорода была отмечена

на у симбиотического сообщества, кишечника коровы.

Также проведена оценка зависимости выделения водорода от различных параметров, таких как pH, температура, буферная емкость раствора. Показано, что оптимум продукции водорода и потребления субстрата наблюдается при 60° С, pH 6 - 6,5 и концентрации фосфатного буфера 50 мМ.

| № тестируемого сообщества микроорганизмов | H <sub>2</sub> , мМ/л среды |
|-------------------------------------------|-----------------------------|
| Анаэробная часть ила                      | 1,08                        |
| Жом винограда                             | 2,33                        |
| Залив Москвы реки                         | 10,12                       |
| Навоз пони                                | 28,86                       |
| Заболоченный водоём                       | 1,7                         |
| Навоз антилопы                            | 24,74                       |
| Навоз жирафа                              | 8,41                        |
| Навоз коровы                              | 51,61                       |
| Лужа с разложившейся листвой              | 4                           |

Табл. 1. Количество водорода, накопленного продуцентами.

Таким образом, выделенные сообщества могут быть использованы для получения водорода из бумажных и пищевых отходов, а также из сена (рис. 3).

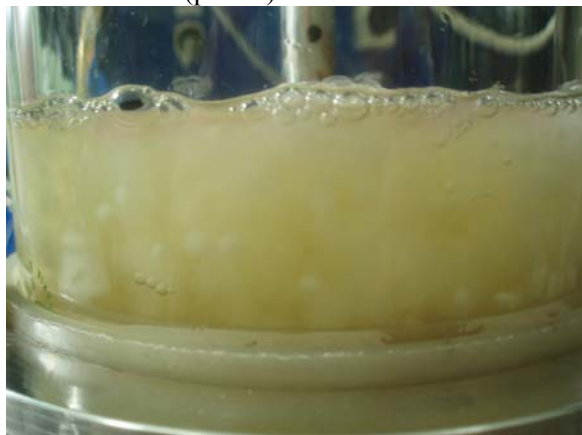


Рис. 3. Образование водорода, при росте на фильтровальной бумаге.

Накопление, хранение и транспортировка биоводорода являются сложными технологическими задачами, которые окончательно пока не решены. Наиболее привлекательным является окисление водорода в топливных элементах (ТЭ) непосредственно после выделения с получением электроэнергии. Однако, как показывают наши исследования, биоводород загрязнен значительным количеством соединений, необратимо инактивирующими металлы платиновой группы, которые входят в состав традиционных ТЭ. Для пре-

одоления этого недостатка совместно с лабораторией электрохимических методов химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова была разработана лабораторная установка, в которой в биореактор был интегрирован водородный электрод, основанный на ферменте гидрогеназа, окисляющем водород непосредственно в среде микробной ферментации органических отходов (рис. 4). Благодаря явлению биоэлектрокатализа удаётся достичь обмена электронами между ферментом и поверхностью электрода. Исследовано влияние на систему различных видов субстрата (целлюлоза, отруби, древесные опилки), изучена операционная стабильность. Плотность тока окисления водорода при перенапряжении 200 мВ достигает 300-400 мкА/см<sup>2</sup>. Система сохраняет не менее 50% первоначальной активности в течении, как минимум 60 часов.



Рис. 4. Водородный электрод, интегрированный в жидкую среду.

Полученные данные позволяют нам продолжить работы по интеграции водородного электрода в среду ферментации для эффективного удаления водорода и преобразования его в электроэнергию. Кроме того, это решает проблему хранения и транспортировки топливного водорода, а также помогает устранить ингибирование процесса разложения целлюлозы, избыточной концентрацией образующегося водорода.

# 3D-МАТРИЦЫ ИЗ РЕКОМБИНАНТНОЙ ПАУТИНЫ ДЛЯ ТКАНЕВОЙ ИНЖЕНЕРИИ

А.Ю. Архипова, П.С. Ерёмин, А.А. Казюлина  
МГУ им. М.В.Ломоносова, биологический факультет  
matrix.spidroin@gmail.com

Использование искусственных матриц для создания имплантатов на основе собственных клеток организма является перспективным направлением современной медицины. Для их создания используют биоинженерные конструкции, состоящие из полимерной матрицы несущей клетки восстанавливаемой ткани. Наиболее перспективными являются биodeградируемые полимеры природного происхождения, замещаемые после имплантации естественной тканью [1]. Для создания конструкций, способных выдерживать интенсивные механические нагрузки, перспективными являются полимеры на основе белков каркасной нити паутины, которые по прочности превосходят сталь и сопоставимы с кевларом. Ранее был разработан метод получения рекомбинантного аналога спидроина 1, белка каркасной нити паутины *Nephila clavipes* с использованием генно-инженерных технологий [2]. В настоящей работе мы изучили возможность создания трехмерных клеточных культур, каркасной основой для которых служит полимерная матрица из рекомбинантного спидроина 1.

Структура полученной матрицы в водной среде сохранялась в течение длительного времени. Поры соединены между собой, что создает условия для миграции клеток в глубокие слои. Такая структура *in vivo* обеспечит интеграцию матрицы в окружающие ткани. Материал, формирующий стенки пор, не плотный и образует полости и перфорации меньшего диаметра – от 5 до 15 мкм.

Способность эукариотических клеток к адгезии на поверхность матрицы из спидроина была подтверждена экспериментами с мышинными фибробластами. Клетки прикрепляются к поверхности матрицы в течение 2 часов. Через сутки все прикрепившиеся клетки расплываются на поверхности, что характерно для нормальной культуры фибробластов *in vitro* и свидетельствует об эффективности адгезии.

Общее количество клеток при культивировании увеличивается, что свидетельствует о пролиферации (рис. 2).

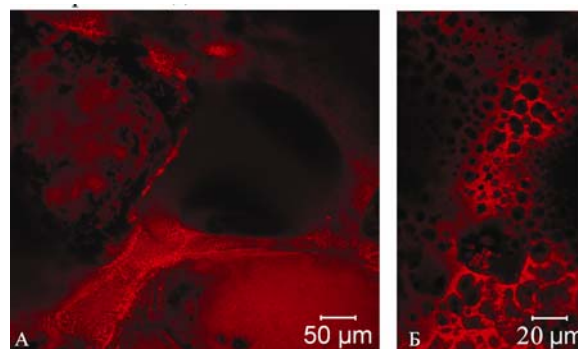


Рис. 1. Пористая структура матрицы. Горизонтальная проекция серии оптических срезов слоя толщиной 50 мкм, выполненных с интервалом 0,9 мкм. Поры матрицы связаны между собой каналами и отверстиями (А). Стенки пор матрицы имеют губчатую структуру. Оптический срез выполнен на расстоянии 50 мкм от поверхности матрицы (Б).

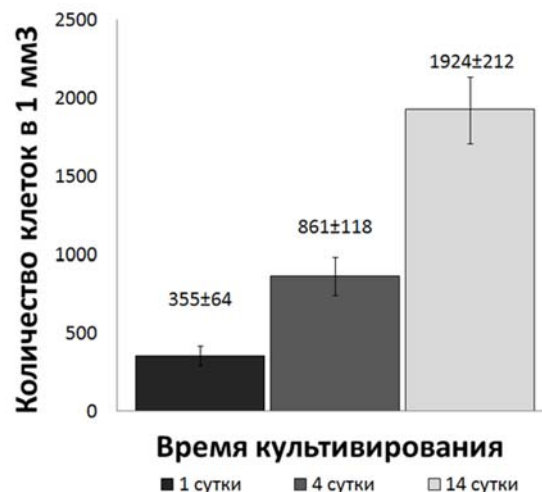


Рис. 2. Увеличение среднего количества клеток 3Т3 в 1 мм<sup>3</sup> матрицы при культивировании в течение 14 дней.

Через две недели культивирования фибробласты сформировали монослой в наружных и внутренних слоях матрицы (рис. 3).

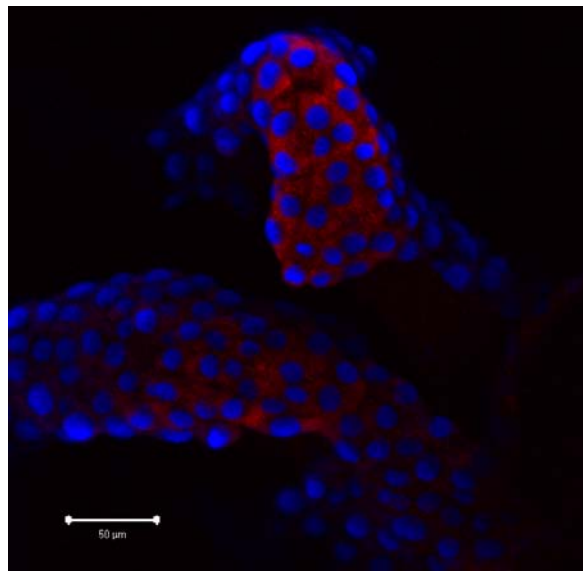


Рис. 3. Фибробласты 3Т3, выявленные флуоресцентными красителями, формируют монослой на поверхности матрицы. Ядра клеток показаны, синим, цитоплазма красным.

Распределение клеток по толщине матрицы достигало однородности через две недели культивирования (рис. 4). Достижение однородности распределения фибробластов при культивировании в матрице отчасти объясняется активной миграцией клеток во внутренние слои [3,4].

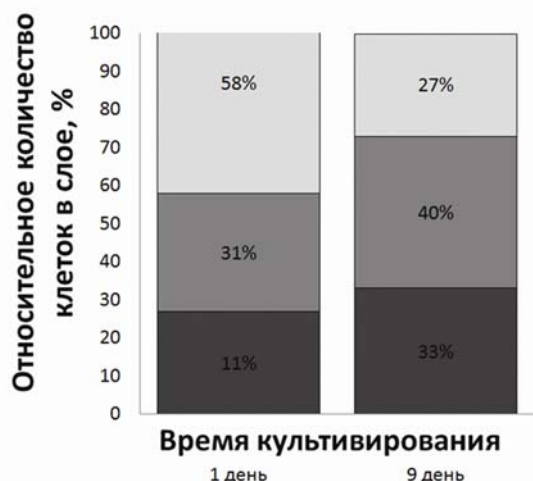


Рис. 4. При культивировании клеток 3Т3 в матрице из рекомбинантного спидроина в течение 9 дней, распределение клеток в наружных и глубоких слоях матрицы становится равномерным. Сравнивали относительное количество клеток на глубине до 150 мкм от поверхности, 150-300 мкм и 300-450 мкм от поверхности.

Показано, что матрицы на основе рекомбинантного белка спидроина 1 обеспечивают эффективную адгезию и пролиферацию клеток в течение длительного периода времени, что позволяет рассматривать такие матрицы в качестве перспективного биоматериала для создания искусственных тканей и органов.

#### Список литературы:

1. Sachlos E., Czernuszka J.T., Making tissue engineering scaffolds work. Review: the application of solid freeform fabrication technology to the production of tissue engineering scaffolds, *European cells & materials*, v.30(5), pp.244 – 251, (2003).
2. Богуш В.Г., Сазыкин А.Ю., Давыдова Л.И. и др., Получение, очистка и прядение рекомбинантного аналога спидроина I, *Доклады академии наук*, т.4, с.3-12 (2006).
3. Mandal B.B., Kundu S.C., Cell proliferation and migration in silk fibroin 3D scaffolds *Biomaterials*, v.30(15), pp.2956-2965, (2009).
4. Raeber a G.P., Lutolf M.P., Hubbell J.A., Mechanisms of 3-D migration and matrix remodeling of fibroblasts within artificial ECMs, *Acta Biomaterialia*, v.3(5), p.615-629, (2007).



# СКАНИРУЮЩАЯ СИЛОВАЯ МИКРОСКОПИЯ ПОЧВЕННЫХ БАКТЕРИЙ

А.В. Большакова<sup>1</sup>, Е.А. Воробьева<sup>2</sup>

МГУ им. М.В. Ломоносова, <sup>1</sup>химический факультет, <sup>2</sup>факультет почвоведения  
bolshakova@genebee.msu.ru

На сегодняшний день сканирующий силовой микроскоп (ССМ) является одним из основных инструментов для исследования поверхности самых разнообразных систем, обладающих пониженной механической жесткостью, в том числе и биологических систем в условиях, приближенных к естественным. При этом ССМ позволяет достичь высокого субмолекулярного разрешения. Сканирующий силовой микроскоп позволяет не только получить 3D-реконструкцию исследуемой поверхности с высоким разрешением, но и дать важную дополнительную информацию о локальных вязко-упругих свойствах объекта, прежде всего за счет применения метода сканирующей силовой спектроскопии.

Обычно микробиологи изучают бактериальные культуры в лабораторных условиях, тогда как известно, что условия существования микроорганизмов в естественной среде обитания существенно отличаются от лабораторных. Так, например, известно, что в грунте микроорганизмы выдерживают более сильные стрессовые внешние воздействия, чем те же чистые культуры в лабораторных условиях, это и являлось предметом нашего изучения. Возможность метода сканирующей силовой микроскопии изучать жизнеспособные клетки в условиях, приближенных к нативным, обусловила выбор метода изучения бактериальных клеток.

В качестве исследуемых бактерий были выбраны чистые культуры *Aquaspirillum* и *Arthrobacter*, выделенные из образцов мерзлых осадочных пород, которые выращивали на питательных средах в течение 1-3 суток. В работе использовали образцы мерзлых грунтов, отобранных с глубины 25 м (скв. 2/90) в Восточной Сибири и с глубины 16 м (скв. 3/95) в Антарктиде. Грунты, из которых прорастили вышеописанные культуры, были двух видов: первый – облученный ( $\gamma$ -излучение, 10 Mrad, что в несколько раз превышает смертельную для человека дозу), второй – необлученный. Для последующего исследования с помощью сканирующего силового микроскопа на поверхность подложки (слиуда, полиацетатное стекло, агароза, лак) наносили каплю свежеприготовленной су-

спензии бактерий в стерильной воде и подсушивали до полного высыхания.

Была получена статистика распределения по размерам клеток, в зависимости от их физиологического состояния. Физиологическое состояние бактерий исследовали в различных стадиях роста культур: логарифмической фазе роста (1-3 сутки), стационарной фазе роста (7-14 сутки). Кроме того, некоторые культуры исследовали в покое (дормантном, анабиотическом) состоянии. Покоящиеся клетки получали в соответствии с методикой, описанной в работе [1].

В качестве теста на наличие микроорганизмов в почве (грунте) была предложена методика каскадного фильтрования через систему фильтров с различным размером пор (от 3 мкм до 0,05 мкм).

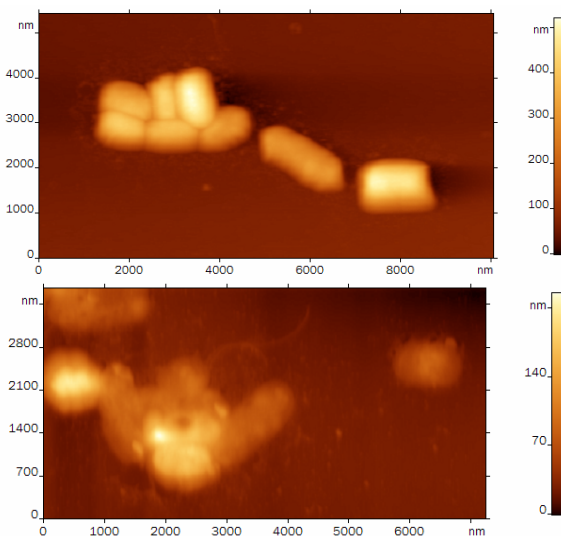


Рис. 1. Культура *Aquaspirillum*, выделенная из необлученного (верхнее изображение) и облученного (нижнее изображение) грунта.

На рис. 1 видна разница в морфологии бактерий *Aquaspirillum*, выделенных из облученного и необлученного грунта.

Помимо изучения морфологических особенностей, было проведено исследование упругих свойств бактерий методом силовой спектроскопии.

Список литературы:

1. Демкина Е.В и др., Микробиология, т. 69, 3, с. 377-382 (2000)

# МЕТОДЫ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ ДЛЯ ХАРАКТЕРИЗАЦИИ ПОВЕРХНОСТЕЙ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО АЛМАЗА, ПОКРЫТЫХ АТОМАРНЫМ КИСЛОРОДОМ ИЛИ ВОДОРОДОМ

О.П. Будник

*Институт прикладной оптики НАН Украины  
oksinfo@i.com.ua*

Алмаз известен как материал с уникальной комбинацией химических и опто-электрических свойств [1], что делает его привлекательным для множества применений. Одно из них лежит в сфере биосенсоров, где алмаз может служить проводящей подложкой для переноса электрического сигнала от/к нейронным клеткам. Нанокристаллический алмаз имеет лучшие характеристики чем поли- или монокристаллический в терминах роста клеток и их выживания. Это обусловлено особенностями морфологии этих поверхностей [2].

В этой работе мы используем поверхности алмаза для исследования влияния эффекта различных покрытий поверхности, а также свойств поверхности раздела алмаз-вода. Процесс покрытия поверхности включает помещение образца под поток атомарного газа при высокой температуре или облучение ультрафиолетом. Образцы были наполовину покрыты фоторезистом для защиты предварительно покрытой водородом поверхности от действия кислородной плазмы. После удаления фоторезиста были получены образцы наполовину покрытые кислородом, наполовину водородом. Для характеристики качества и степени гидрофобности поверхности, покрытой водородом, или ее гидрофильности, в случае покрытия кислородом, мы провели измерения сил адгезии и поверхностного сопротивления.

В этой работе мы представляем результаты характеристики морфологии нанокристаллической поверхности с помощью атомно-силового микроскопа (АСМ), выполненной в контактном режиме.

Электростатическая силовая микроскопия (ЭСМ) - это методика, используемая для получения карт электрических свойств образца с помощью измерения электростатической силы между поверхностью и кантилевером, на который подан электрический потенциал. Таким образом, карты ЭСМ содержат информацию о поверхностном потенциале и распределении заряда на поверхности образца пространственное распределение электрического поля и зарядов на поверхности. Существуют четыре различных режима ЭСМ:

стандартный, безконтактный, динамический контактный и кельвиновской сканирующей микроскопии. В этой работе использован безконтактный метод ЭСМ. Было проведено сравнение латеральной разрешающей способности бесконтактного метода ЭСМ и метода зонда Кельвина. В результате были получены данные, подтверждающие, что бесконтактная ЭСМ дает более высокое разрешение, поскольку минимизируется отношение паразитной емкости конуса зонда и плоской части кантилевера к полезной емкости кончик зонда-образец [3, 4].

Мы применили различные техники АСМ для определения ролей, которые играют морфология поверхности и ее покрытие в результирующих свойствах поверхности. Наноразмерная топография поверхности, поверхностное сопротивление и смачиваемость были оценены с тем, чтобы характеризовать свойства образца перед ЭСМ измерениями. Полученные ЭСМ данные хорошо согласуются с литературными источниками [5]. Полученные результаты важны для определения факторов, влияющих на передачу электрического сигнала между живыми клетками и алмазом.

## Список литературы:

1. L.Tang et al., *Biomaterials*, 16, 483 (1995).
2. P. Ariano, O. Budnyk, S. Dalmazzo, D. Lovisolo, Ch. Manfredotti, P. Rivolo, D. Steinmüller-Nethl, E. Vittone, "Neuronal survival and viability on diamond surfaces, The Abstract Book of the 19<sup>th</sup> European Conference on Diamond, Diamond-like Materials, Carbon Nanotubes, and Nitrides (Diamond 2008), 2008.
3. *Appl. Phys. Lett.* 52, 1103 (1988).
4. *Nanotechnology* 12, 485 (2001).
5. T.Lechleitner et al., *Biomaterials*, 29 4275-4284 (2008).

# БИОПОЛИМЕРНЫЕ МИКРОСФЕРЫ С ИНКАПСУЛИРОВАННЫМ ПРОТИВООПУХОЛЕВЫМ ПРЕПАРАТОМ И НЕОРГАНИЧЕСКИМИ НАНОЧАСТИЦАМИ

В.В. Воинова, Г.А. Бонарцева, В.А. Надточенко, А.П. Бонарцев, К.В. Шайтан  
*Биологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова*  
*VeraVoinova@mail.ru*

Одним из наиболее перспективных направлений развития наномедицины и нанобиотехнологии является создание новых лекарственных форм на основе биоразлагаемых полимеров с включением неорганических наночастиц, некоторые из которых обладают специальными физико-химическими свойствами: магнитными, термическими, фототермическими, фотодинамическими и др.

С целью получения биоразлагаемых микросфер с комбинированным включением противоопухолевого лекарственного вещества (ПОЛВ) паклитаксела и наночастиц золота или оксида железа использовали биоразлагаемый и биосовместимый термопластик поли-3-оксипропионат (ПОБ) молекулярной массы 230 кДа; паклитаксел (Biomol, США), коллоидный раствор наночастиц золота (2 мМ) в хлороформе, полученный в Институте химической физики им. Н. Н. Семенова РАН; наночастицы  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в виде порошка со средним диаметром  $36 \pm 12$  нм (Sigma-Aldrich, США). ПОБ был синтезирован штаммопродуцентом *Azotobacter chroococcum* 7Б в Институте биохимии им. А. Н. Баха РАН с использованием оригинальной методики. Микросферы получали методом одноэтапного эмульгирования комбинированного раствора в хлороформе ПОБ, паклитаксела и наночастиц золота или оксида железа в водном растворе поливинилового спирта при использовании гомогенизатора SilentCruiser M (Heidolph, Германия) при 20 000 об/мин. Содержание ПОЛВ в микросферах определяли спектрофотометрически, растворяя их в хлороформе, на спектрофотометре DU-650 (Beckman Coulter, США). Исследование морфологии микросфер проводили методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на микроскопе Quanta 200 3D (FEI Company, США).

Нами были получены микросферы из ПОБ с включением паклитаксела (11%) и наночастиц золота (0,01%) или оксида железа (2%) (размер микросфер  $2,2 \pm 1,3$  мкм и  $2,4 \pm 1,5$  мкм, соответственно). На микрофотографии видно, что биополимерные частицы обладают сферической формой (рис. 1). Под воздействием электронного излучения про-

исходило расплавление полимера, что отражено на рис. 1 (справа сверху). Видно, что при расплавлении полимера на его поверхности четко проступают наночастицы золота призматической формы размером  $34 \pm 9$  нм. Количество наночастиц золота в каждой микросфере составляет  $105 \pm 45$  шт. Аналогично были получены фотографии наночастиц оксида железа в матрице ПОБ биополимерных микросфер.

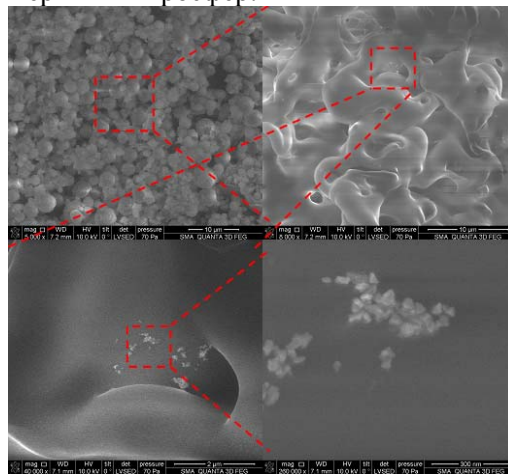


Рис. 1. Микрофотографии наночастиц золота в полимерной матрице ПОБ микросфер с инкапсулированным паклитакселом, полученные методом СЭМ. Показана серия фотографий с последовательно возрастающим увеличением.

Наночастицы золота и оксида железа могут быть использованы для направленной доставки биополимерных микро- и наночастиц с инкапсулированными лекарственными препаратами и для одновременного обнаружения этих частиц в различных тканях и органах, тогда как при их высвобождении - для термической терапии опухолей под воздействием электромагнитного излучения в инфракрасном диапазоне или переменного магнитного поля, соответственно. Настоящая работа является первым этапом в планируемой серии работ по созданию и изучению нанокомпозитных нано- и микрочастиц на основе биоразлагаемых полимеров, лекарственных веществ и неорганических наночастиц.

# МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ НАНОМАТЕРИАЛОВ

С.С. Голубев, С.Н. Голубев

*Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы  
golubev@vniims.ru, sergolub@mail.ru*

Ряд хорошо изученных и относительно безвредных материалов, оказавшись в форме наночастиц, оказывает специфическое физиологически вредное действие на живые организмы [1-4]. Поэтому для предотвращения возникновения высоких неоправданных рисков жизни и здоровью людей от создаваемых новых наноматериалов необходимо существование методов оценки их безопасности.

Первая задача, возникающая в данных исследованиях, – создание надежных методов идентификации наночастиц. Эти методы должны базироваться на определении геометрических форм и размера наночастицы, ее вещественного состава и структурных особенностей (наличие кристаллической структуры и ее тип) [1,2,4].

Прямыми способами определения формы и размера наночастиц являются различные варианты электронной микроскопии (включая дифракцию электронов, спектральный анализ сопутствующего рентгеновского излучения, гистохимическое окрашивание препаратов в процессе их изготовления и другие приемы и методы), а также комплекс методов сканирующей зондовой микроскопии (атомно-силовая, туннельная и др.) [5]. При этом необходимо отметить, что методы сканирующей зондовой микроскопии уже сейчас, несмотря на относительно «молодой» по сравнению с электронной микроскопией возраст, существенно лучше обеспечены с точки зрения метрологии. По этой причине в лабораториях, занимающихся оценкой безопасности наночастиц, можно рекомендовать использовать данные методы как исходные по точности. Применение же методов электронной микроскопии целесообразно в качестве методов визуализации и сравнения по отношению к объектам, количественно проанализированным методами зондовой микроскопии. В настоящее время в ФГУП «ВНИИМС» успешно решается задача приведения в соответствие фактических возможностей этих двух классов прибо-

ров с имеющимися нормативными документами и эталонной базой [6].

Наиболее корректным методом идентификации наночастицы на сегодняшний день является метод сравнения с эталонным образцом, поэтому для его успешного применения необходимо иметь банк стандартных образцов наночастиц. Сравнение с образцами из данного банка должно являться критерием классификации наночастиц. Создание такого банка в совокупности с методиками сравнения – первоочередная задача экспериментальных исследований в данном направлении.

Помимо данной задачи приходится решать следующий круг вопросов:

- создание метрологически обеспеченных методик отбора и подготовки проб для последующей идентификации в них наночастиц;
- определение содержания (концентрации) наночастиц (нанообъектов, наноматериалов) в полученной пробе, а также определение распределения частиц наноматериала по размерам;
- создание адекватных критериев диагностики вредных эффектов, нормативов ПДК и класса опасности тех или иных типов наночастиц;
- оценка влияния размерного фактора на накопление наноматериалов в различных тканях и органах.

Схема оценки нанобиобезопасности объекта, содержащего какие-либо наноматериалы (наночастицы) приведена на рисунке 1.

В ходе выполнения пробоотбора на наличие и концентрацию наночастиц возникает проблема обеспечения репрезентативности генеральной пробы. При этом очень важно правильно оценить, в каком случае можно пользоваться существующими методиками (например, существуют методики отбора проб воды на наличие в них примесей), а в каком случае следование существующей методологии приведет к заведомо ложным результатам.

Другой очевидной проблемой при работе с пробами является допустимый срок их хранения. Под воздействием окружающей среды и вследствие физико-химических процессов в самой пробе со временем интересующий объект (наночастицы) могут трансформироваться. Они могут агрегировать («слипаться») в более крупные комплексы и утрачивать свои специфические «нано»-свойства. Вследствие изменения реакционной способности материала в наноформе может



значительно ускоряться протекание химических реакций (например, окисления), результатом чего также становится изменение свойств исследуемого объекта. Для традиционных методик допустимые сроки хранения проб определены эмпирически на основании многолетнего опыта, поэтому для определения параметров, касающихся наночастиц еще предстоит накопить экспериментальный материал.

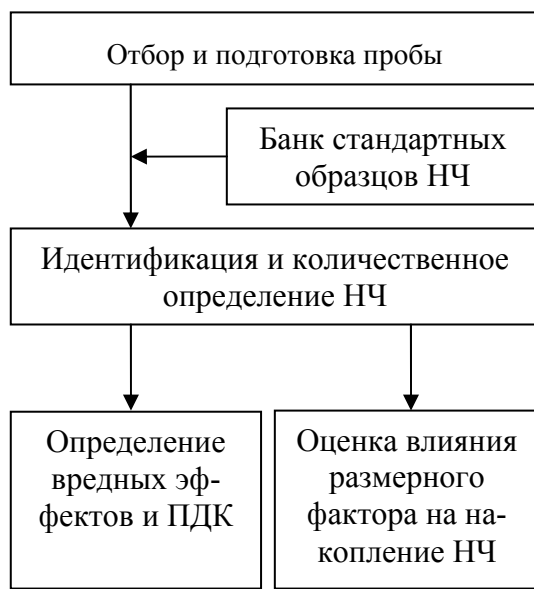


Рис. 1. Схема анализа безопасности объекта, содержащего наноматериалы (наночастицы).

Методики определения содержания наночастиц в пробе — это, как правило, методы микроскопии, о которых говорилось выше. Иногда для той же цели применяют методы динамического светорассеяния [7]. Для идентификации конкретных типов наночастиц в одних случаях может оказаться достаточным визуализация их формы и приблизительная оценка характерных геометрических размеров, а в других случаях могут потребоваться точные метрологически обеспеченные измерения геометрических величин. В первом случае задача может быть решена практически любыми современными СЗМ, а во втором случае могут использоваться лишь единичные на сегодняшний день типы СЗМ, которые по своим техническим характеристикам позволяют решить данную задачу и являются метрологически обеспеченными средствами измерения.

Диагностика вредных эффектов в лабораторной практике проводится на животных и растениях. Из-за фактора индивидуальной изменчивости требуется анализ достаточно обширного статистического материала. Определение вредных эффектов и ПДК — конечная цель данных исследований. Вместе с тем, это наиболее ответственная задача, поэтому требования к достоверности полученных коэффициентов и их погрешностей особенно высоки. Таким образом, очень важным является вопрос о метрологическом обеспечении и соответствии имеющимся стандартам и нормативам тех измерительных и испытательных лабораторий, в которых проводится экспериментальное определение указанных величин.

Более сложной задачей является изучение результатов долговременных воздействий наночастиц, особенно с учетом возможности их накопления в некоторых биологических тканях. Изучение этого круга вопросов и составление соответствующих банков данных в настоящее время находится на начальной стадии.

Таким образом, важно еще раз отметить, что большая часть измерительных задач, возникающих при решении проблем нанобезопасности, сводится к измерению геометрических характеристик нанообъектов в нанометровом диапазоне. В нашей стране на сегодняшний день существуют средства измерения, позволяющие решить данные задачи. Важным и не всегда до конца проработанным является вопрос их метрологического обеспечения.

#### Список литературы:

1. Hasselov M., Readman J. W., Ranville J. F., Tiede K., *Ecotoxicology*, 17, 344-361, (2008)
2. Franco A., Hansen S. F., Olsen S. I., Butti L., *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 48, 171-183, (2007)
3. Tiede K., Boxall A. B. A., Tear S. P., Lewis J., David H., Hassellöv M., *Food Additives & Contaminants*, 25, 795-821, (2008)
4. Лысцов В.Н., Мурзин Н.В., Проблемы безопасности нанотехнологий, Москва, МИФИ, 2007
5. Lojkowski W., Turan R., Proykova A., Daniszewska A., *Eighth NanoForum Report: Nanometrology*, <http://www.nanoforum.org>, 2006
6. Кононогов С.А., Голубев С.С., Лысенко В.Г., *Законодательная и прикладная метрология*, 3, 4-9, (2008)
7. Cummins H. Z., Pike E. R., *Photon Correlation and Light Beating Spectroscopy*, New York, Plenum, 1974.

# ПРЕОБРАЗОВАНИЕ И КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ ЭНЕРГИИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПОЛЯ НА НАНОЧАСТИЦАХ В ГЕЛЕВЫХ СИСТЕМАХ

А.В. Гопин

*Химический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова  
gopin@radio.chem.msu.ru*

В последние годы большое внимание уделяется исследованию проблемы локализации акустической энергии в полимерных и биополимерных системах. Этот интерес объясняется реальной возможностью практического применения этого явления в различных областях медицины, в частности, в терапии онкологических заболеваний. Нами обнаружено, что разрушающее действие ультразвука, вызванное кавитационными и тепловыми эффектами, на синтетические и биологические полимеры становится более эффективным и локализованным, если они содержат нанокристаллы определенных веществ – соносенситизаторов.

Целью настоящей работы являлась оценка тепловых и кавитационных эффектов акустического поля в модифицированных гидрогелевых системах (моделях биологических структур) и эффективности совместного действия ультразвука и наночастиц на различные биологические системы. В качестве моделей нами были выбраны гели на основе полиакриламида и агарозы. Модификаторами являлись гидроксид железа, сульфат бария, кальциевая соль терафала (октанатриевая соль окта-4,5-карбоксифталоцианина кобальта). Модифицирование полимерных образцов проводили методами встречной диффузии реагентов и внесением твердых модификаторов в процессе синтеза гелей.

Методом сканирующей электронной микроскопии было обнаружено наличие двух типов распределения модификатора по полимерной матрице: равномерное распределение по нитям матрицы-носителя и локализация на отдельных элементах матрицы. Показано, что возникающие тепловые и кавитационные эффекты существенно зависят от характера взаимодействия модификатора с полимерной матрицей [1, 2]. Причем величины этих эффектов достаточны для разрушения биологических структур.

Данное предположение было проверено в экспериментах на бактериальных (*Staphylococcus aureus*) и клеточных (эритролейкоз человека К 562) культурах. Так совместное действие ультразвука и наночастиц различной природы на бактерии и клетки по-

казало сверхаддитивное снижение их жизнеспособности.

Приведенные выше факты легли в основу разработки механизма деструкции опухоли под действием ультразвука в присутствии соносенситизаторов, образующих в ней твердофазные нановключения. Согласно этому механизму, в районе этих включений происходит разрушение структурных элементов клетки, приводящее к ее гибели.

К настоящему времени в Российском онкологическом научном центре им. Н.Н. Блохина на животных проведены доклинические исследования ряда соносенситизаторов [3], включающие в себя оценку терапевтической эффективности, безвредности, влияния на метастазирование. В результате этих исследований была установлена высокая терапевтическая эффективность метода, выражающаяся в регрессии опухоли на 75-80%, значительном увеличении продолжительности жизни животных (в 2 раза) и хорошей переносимости воздействия.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что наночастицы являются своеобразными концентраторами акустической энергии и могут быть использованы в ультразвуковой терапии онкологических заболеваний. Важнейшей задачей дальнейшего развития этого направления является разработка основ методологии выбора оптимальных наносенситизаторов в сочетании с проведением клинических исследований терапевтической эффективности метода.

Список литературы:

1. Николаев А.Л., Гопин А.В., Чичерин Д.С., Божевольнов В.Е., Мелихов И.В., Вестник Московского Университета сер. Химия, 3, 203–208 (2008).
2. Николаев А.Л., Гопин А.В., Божевольнов В.Е., Андропова Н.В., Филоненко Д.В., Трещалина Е.М., Сборник трудов. XVIII сессия Российского акустического общества, 3, 105–108 (2006)
3. Андропова Н.В., Трещалина Е.М., Филоненко Д.В., Николаев А.Л., Гопин А.В., Российский Биотерапевтический Журн, 3, 12 (2004).

# ИЗГОТОВЛЕНИЕ ВЫСОКОСЕЛЕКТИВНЫХ НАНОДАТЧИКОВ НА ОСНОВЕ КАНТИЛЕВЕРОВ

П.В. Горелкин, Г.А. Киселев, И.В. Яминский

Кафедра ВМС химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова  
gorelkin@genebee.msu.ru

Создание высококачественных селективных рецепторных поверхностей является одной из главных стадий в создании всех видов наномеханических кантилеверных сенсоров. Основные качества, которыми должны обладать данные поверхности, это отсутствие неспецифического связывания и способность структурировать активные центры на поверхности таким образом, чтобы сигнал датчика был максимальным при минимальных концентрациях детектируемого вещества (рис. 1). В представленном докладе будут изложены наиболее подходящие схемы модификации поверхностей с целью создания наиболее чувствительных датчиков.

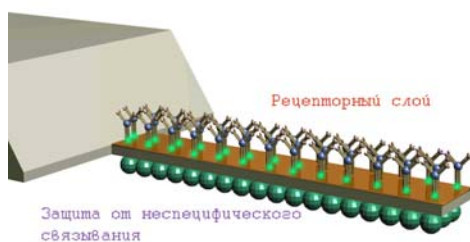


Рис. 1. Схема кантилеверного сенсорного элемента.

Кантилеверы, используемые во всех наномеханических системах, как правило, имеют кремневую и золотую поверхности. По этой причине в данной работе исследовались соединения, относящиеся к классу тиолов и силанов, имеющие сродство к данным материалам, и изучалась иммобилизация белковых молекул на поверхность золота и кремния. Различие в модификациях данных видов поверхностей присутствует только на первой стадии аминирования поверхности. Далее модификация проходит по следующей схеме (рис. 2):

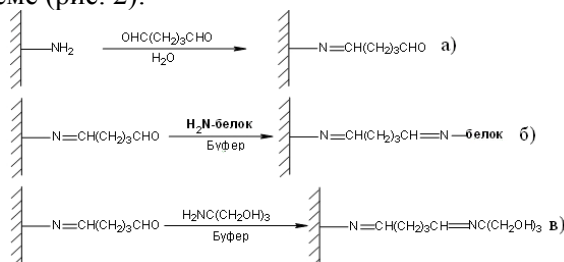


Рис. 2. Стадии ковалентной иммобилизации белка на поверхности: (а) обработка глutarовым альдегидом, (б) белком, (в) блокировка.

Высококачественная модификация кремневой поверхности достигается при использовании в качестве линкера силатранов [1]. В данной работе была разработана методика иммобилизации белков, на кремневую поверхность, с использованием в качестве линкера аминопропилсилатрана (рис. 3).

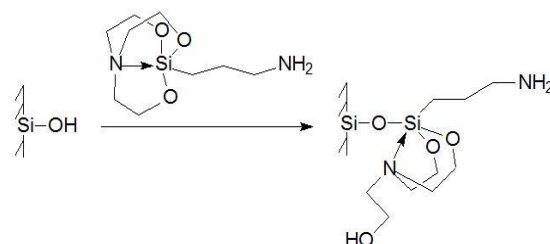


Рис. 3. Схема модифицирования кремневой поверхности аминопропилсилатраном.

На золотую поверхность белки прививаются, используя вещества, принадлежащие к классам тиолов или дисульфидов [2]. В данной работе была разработана методика аминирования золотой поверхности с помощью 4-аминотиофенола (рис. 4).

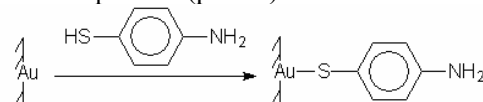


Рис. 3. Схема модифицирования золотой поверхности 4-аминотиофенолом.

Разработанные в данной работе методы модификации золотой и кремневой поверхностей крайне важны для создания высокоточных нанодатчиков на основе кантилеверов.

Список литературы:

1. Lyubchenko Y. L., Gall A. A., Shlyakhtenko L. S. *Methods Mol Biol*, 148, 569-578 (2001).
2. E. Beloglazkina, A. Majouga, N. Zyk, R. Rakhimov, I. Yaminsky, P. Gorelkin, G. Kiselev, A. Kutateladze. Bis-(4-(2-pyridylmethyleneiminophenyl))disulfide — A chelating ligand capable of self assembly on gold surface and its complexes with  $M(BF_4)_2$  and  $M(ClO_4)_2$ ;  $M - Co, Cu$  and  $Ni$ . *Experimental and theoretical study // Thin solid films*, Vol.515, – No.11, – pp.4649-4661 (2007).

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФЕКТНОСТИ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МНОГОСЛОЙНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ НА СФЕРИЧЕСКОМ НОСИТЕЛЕ

Д.А. Давыдов, А.С. Малинин, П.В. Горелкин, И.В. Яминский,  
А.А. Ярославов

Кафедра ВМС, химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова  
dimitri.davydov@gmail.com

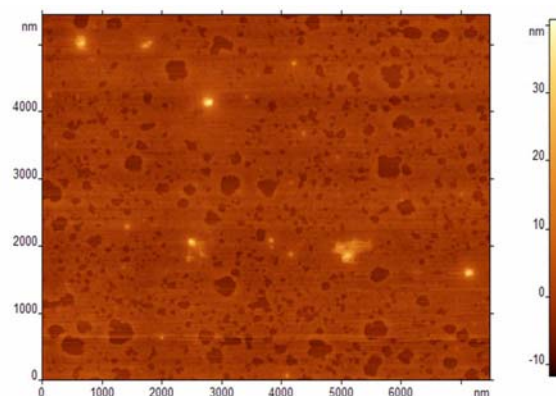
Наноконтейнеры на основе полиэлектролитов в последнее время привлекают широкое внимание исследователей. Потенциально их можно применять для доставки высокомолекулярных соединений, таких как белки, ДНК и РНК, в клетки. Наиболее простой способ получения таких композиций – послойное нанесение противоположно заряженных полиэлектролитов на ядро, состоящее из оксида кремния, с последующим его растворением в плавиковой кислоте. Изменения размер ядра и состав комплекса, можно варьировать диаметр полученных капсул и их свойства. Поэтому, определение структуры полиэлектролитной оболочки и условий, оказывающих влияние на ее стабильность, является одной из широко рассматриваемых проблем [1,2]. Низкая дефектность полученной капсулы способствует повышению эффективности инкапсулирования и снижению скорости вытекания препаратов из наноконтейнеров [3]. В связи с этим в нашей работе мы задались целью предложить простой способ определения степени дефектности полиэлектролитной композиции нанесенной на твердую подложку в зависимости от концентрации полимерных растворов, количества нанесенных слоев, внешних условий, таких как ионная сила и pH среды.

Приготовление образцов проводили по стандартной методике послойного нанесения полимерных покрытий на заряженную поверхность в термостатируемых условиях [1]. Целостность получаемых покрытий обеспечивалась множественными контактами ионогенных (катионных и анионных) групп обоих полиэлектролитов.

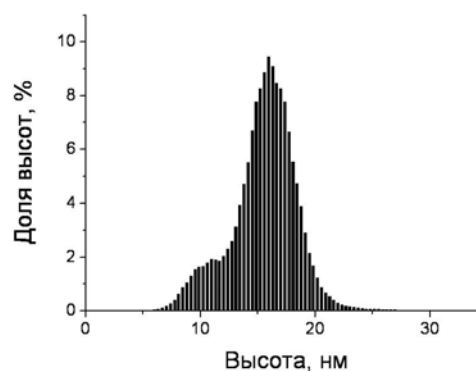
В качестве полимеров были использованы катионный полимер поли-N-этил-4-винилпиридиний бромид (ПЭВП) и анионный полимер полиакриловая кислота (ПАК). Покрытия формировали на стеклянной плоской поверхности и стеклянных микросферах диаметром 5 мкм.

По данным атомно-силовой микроскопии толщина адсорбированного монослоя поликатиона составляла 5-6 нм. Доля дефектов (незаполненных полимером участков по-

верхности) для однородных образцов, определяемая по гистограмме высот, не превышала 10% (рис. 1). Увеличение количества адсорбированных слоев способствовало уменьшению дефектности покрытия. В случае нанесения четырех слоев (ПЭВП-ПАК)<sub>4</sub> дефектность составляла ~1% при толщине слоя 12 нм (рис. 2).



а)



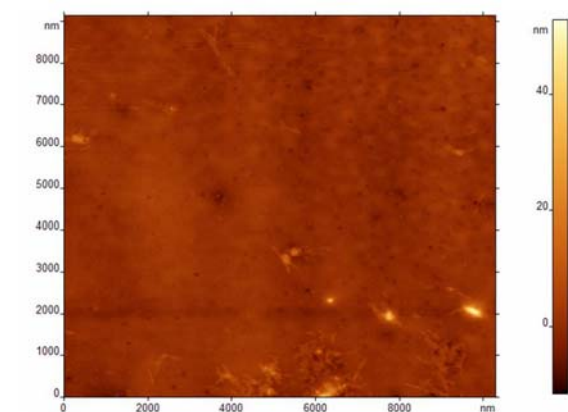
б)

Рис. 1. Монослой ПЭВП на плоской стеклянной подложке: (а) Результат сканирования поверхности АСМ, (б) гистограмма высот.

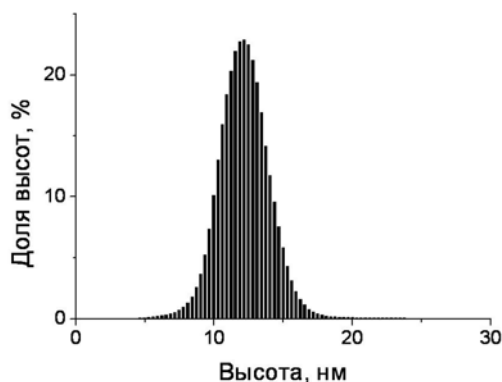
Произведя замену плоской слюды на сферические частицы того же химического состава, при соблюдении равенства площадей поверхности, мы сформировали мультислойные покрытия на поверхности стеклянных микросфер. Толщина (ПЭВП-ПАК)<sub>4</sub> состав-

ляла 12-14 нм (рис. 3), что совпадает с данными для плоских слоев. Принимая во внимание одинаковый химический состав носителя, равенство площадей адсорбирующей поверхности, а также идентичные процедуры получения образцов, мы вправе говорить об одинаковом строении мультислоев в обоих случаях.

Для мультислойных пленок, нанесенных на сферический носитель, была проведена оценка влияния физико-химического воздействия среды на сформированные покрытия. Показано, что изменение кислотности среды в интервале pH от 2 до 10 не влияет на целостность многослойного покрытия частиц и не приводит к их диссоциации. Повышение концентрации низкомолекулярного электролита (NaCl) в интервале от  $10^{-3}$  моль/л до 2 моль/л не приводит ни к диссоциации связей ПАК-ПЭВП, ни к десорбции покрытия.



а)



б)

Рис. 2. Олигослой (ПЭВП-ПАК)<sub>4</sub> на плоской стеклянной подложке: (а) Результат сканирования поверхности АСМ, (б) гистограмма высот.

Таким образом, в работе были сформированы многослойные покрытия ПЭВП-ПАК на плоском и сферическом носителе одинаково-

го химического состава. Изучена зависимость толщины и однородности покрытия от концентрации полимеров в растворе и их стехиометрии. Были определены граничные условия – концентрация солей и кислотность среды, в которых полимерные покрытия не теряют свои характеристики. Предложен метод определения дефектности полученных пленок на сферическом носителе с привлечением методов АСМ и ПЭМ.

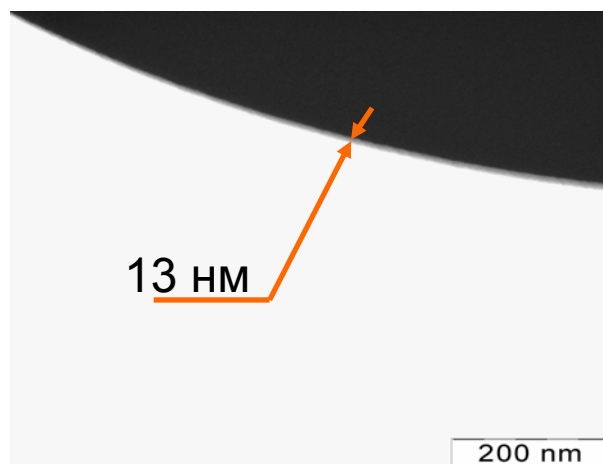


Рис. 3. Снимок ПЭМ, толщина покрытия (ПЭВП-ПАК)<sub>4</sub> сформированного на поверхности силикатной сферы диаметром 5 мкм.

#### Список литературы

1. McShane M.J., Lvov Yu.M., Encyclopedia of Nanoscience & Nanotechnology, New York, M. Dekker (2004).
2. Shi J., Hua F., Cui T., Lvov Yu.M., Chemistry Letters, Vol.32, p. 316-318, (2003).
3. Ai H., Jones S.A., Lvov Yu.M., Cell Biochemistry and Biophysics, Vol. 39, p. 23-43 (2003).



# ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ФЕМТО- И НАНОСЕКУНДНОЙ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ НАНОЧАСТИЦ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЙ В БИОЛОГИИ

Л.А. Головань, А.Е. Докукина, А.А. Ежов, С.В. Заботнов, П.К. Кашкаров, В.И. Панов, П.А. Перминов, В.Ю. Тимошенко

*Физический факультет МГУ им М. В. Ломоносова  
dokukina@nanolab.phys.msu.ru*

Для применения полупроводниковых наночастиц в биологии и медицине в качестве эффективных фотосенсибилизаторов [1], люминесцентных окрашивающих агентов [2] и т.п. необходимо создать надежные методики получения наноструктурированных материалов с узким распределением размеров структурных элементов, в частности – наночастиц. Для части бинарных полупроводников, таких как CdSe, InAs, ZnS и CdS эта задача успешно решается с помощью коллоидного синтеза [2], однако для других полупроводников – в частности Si, GaAs и GaP разработка таких методик по-прежнему остается актуальной задачей.

Одним из подходов к решению этой задачи является использование мощных сверхкоротких лазерных импульсов. Таким способом можно создавать двух- и трехмерные наноструктуры, размеры которых можно контролировать путем изменения параметров излучения и состава среды, в которой происходит взаимодействие материала с излучением.

В настоящей работе представлены эксперименты по абляции фемто-, пико- и наносекундными импульсами как элементарного полупроводника (Si) [3, 4], так и бинарных полупроводников (GaAs и GaP). При этом абляции подвергался как монокристаллический кремний (с-Si), так и пористый кремний (р-Si). Абляция проводилась на воздухе (при нормальных условиях), в вакууме (при остаточных давлениях вплоть до 0,1 мбар) и в воде. В качестве источника излучения использовались рубиновый (длина волны  $\lambda = 694,3$  нм, длительность импульса  $\tau = 30$  нс, частота следования импульсов  $\nu = 1$  Гц, энергия импульса  $E = 1$  мДж) и хром-форстеритовый ( $\lambda = 1250$  нм,  $\tau = 100$  фс,  $\nu = 10$  Гц,  $E = 4$  мДж) лазеры. Для изучения наночастиц, полученных во время абляции, использовалась атомно-силовая микроскопия (АСМ) и микроспектроскопия комбинационного рассеяния (КР) света. При этом характеризовались форма и размеры единичных наночастиц, распределения этих частиц по вы-

сотам, а также был проведен сравнительный анализ формирования наночастиц для случаев абляции различных веществ при определенных условиях экспериментов. В качестве подложек выступала как поверхность самого вещества, подвергавшегося абляции, так и поверхность покровного стекла, которое устанавливалось на небольшом (до 2 см) расстоянии от поверхности мишени.

Результаты АСМ исследований показали, что латеральные размеры наночастиц Si составляют от нескольких десятков до сотни нанометров, а высота этих наночастиц от 2 нм до 30 нм. При этом на поверхности подложки ясно различались области, сплошь покрытые наночастицами (см. рис. 1) и области с отдельно расположенными наночастицами. Микроспектроскопия КР для участков, сплошь покрытых наночастицами, показала наличие пика при  $519\text{ см}^{-1}$ , что подтверждает наличие кристаллического Si в этих областях. Распределение наночастиц по высоте демонстрирует монотонное уменьшение доли частиц с увеличением их высоты. Средняя высота наночастиц в случае абляции р-Si несколько больше, чем в случае абляции с-Si.

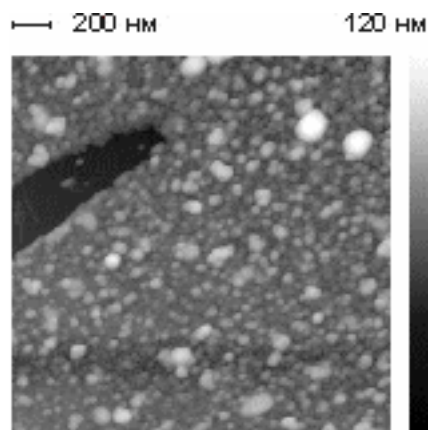


Рис. 1. Типичное АСМ изображение поверхности покровного стекла, покрытого наночастицами, образовавшимися в результате абляции р-Si.

В то же время поверхностная концентрация наночастиц на подложке для одинаковых



расстояний от оси лазерного пучка в случае абляции р-Si в разы превышает поверхностную концентрацию наночастиц при абляции с-Si. При проведении абляции с-Si и р-Si в воде средний размер наночастиц значительно превышал размер наночастиц, образующихся при абляции на воздухе и в вакууме.

Средний размер наночастиц, образующихся при лазерной абляции поверхности монокристаллического GaAs составил 40-60 нм. При этом средний размер заметным образом не зависел ни от длительности импульса (использовались нано- и фемтосекундные импульсы), ни от количества импульсов. В то же время размеры областей, сплошь покрытых наночастицами (см. рис. 2) возрастали с увеличением количества импульсов, т.е. с увеличением общей энергии взаимодействия излучения. Во всех случаях на поверхности подложки наблюдались области, сплошь покрытые наночастицами и области с отдельными наночастицами.

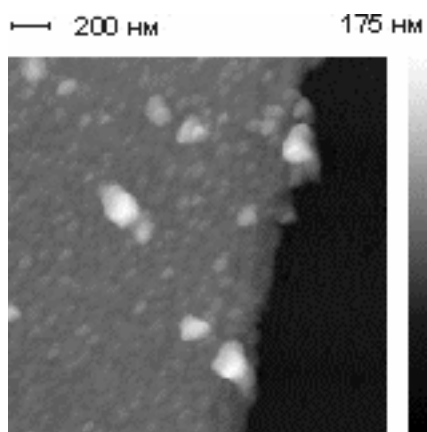


Рис. 2. Типичное АСМ изображение поверхности GaAs, покрытой наночастицами, образовавшимися в результате абляции GaAs.

При АСМ изучении поверхности покровных стекол с осевшими на них наночастицами GaP были выявлены области с нетипичным покрытием. В этих областях находились одновременно единичные наночастицы и конгломераты из слипшихся наночастиц, окружающие область единичных частиц.

Кроме того, так же как и в случае Si, была получена гистограмма, показывающая распределение отдельных наночастиц на поверхности покровного стекла по высотам. Высота большей части частиц находится в диапазоне высот от 3 нм до 10 нм. При увеличении размеров наночастиц количество их монотонно убывает. При аппроксимации полученной зависимости функцией Гаусса

средняя высота наночастиц составила 6,5 нм при дисперсии 18,7 нм.

Эксперименты по микроспектроскопии КР для областей, покрытых наночастицами, показали наличие двух характерных пиков стоксовой компоненты при  $367\text{ см}^{-1}$  и  $402\text{ см}^{-1}$ , что подтверждает наличие кристаллического GaP в этих областях.

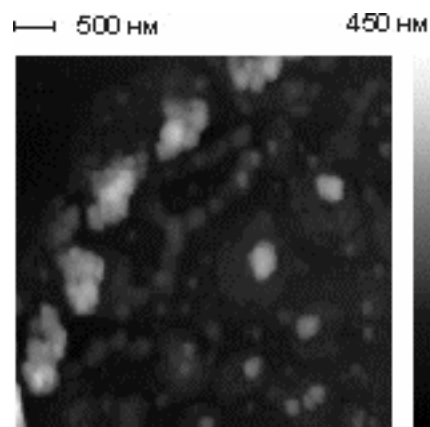


Рис. 3. Характерное АСМ изображение поверхности покровного стекла, покрытого наночастицами, образовавшимися в результате абляции GaP.

Таким образом изучение полупроводниковых наночастиц, образующихся при нано- и фемтосекундной абляции Si, GaAs и GaP методами АСМ и микроспектроскопии КР показали, что наночастицы формируются при всех параметрах импульсного лазерного излучения, изучавшихся в настоящей работе. Подтверждение того, что образующиеся наночастицы являются кристаллическими полупроводниками вместе с показанной возможностью формирования наночастиц абляцией в воде демонстрируют практическую значимость использованной методики. Значительное увеличение выхода наночастиц при использовании пористой мишени может быть использовано для получения полупроводниковых наночастиц в значительных количествах.

#### Список литературы:

1. Bruches Jr.M., Morrone M., Gin P. *et al.*, Science, 281, 2013-1016 (1998).
2. Тимошенко В.Ю., Кудрявцев А.А., Осминкина Л.А. и др., Письма в ЖЭТФ, 83, 492-495 (2006).
3. Заботнов С.В., Ежов А.А., Головань Л.А. и др., Физика и техника полупроводников, 41, 1017-1020 (2007).
4. Головань Л.А., Джунь И.О., Докукина А.Е. и др., Изв. Академии наук. Серия физическая, 73, 43-45 (2009).

# ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛЕНКИ ОКТАДЕЦИЛАМИНА НА АДСОРБЦИЮ ДНК НА ВЫСОКООРИЕНТИРОВАННОМ ПИРОЛИТИЧЕСКОМ ГРАФИТЕ

Е.В. Дубровин<sup>1</sup>, Я.В. Герритсен<sup>2</sup>, Е. Живкович<sup>2</sup>, С. Спеллер<sup>2</sup>, И.В. Яминский<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова,

<sup>2</sup>Институт молекул и материалов Радбоудского университета Наймегена

dubrovin@polly.phys.msu.ru

До настоящего времени было разработано множество методик создания самоорганизующихся молекулярных структур на различных подложках, которые потенциально могут использоваться для иммобилизации и самоорганизации на них полимеров [1-2]. Упомянутые молекулярные структуры, как правило, состоят из низкомолекулярных (по сравнению с полимерами) веществ, таких как алканы, спирты, жирные кислоты, порфирины, а также их производные, которые самоорганизуются на таких поверхностях, как слюда, графит, Au, MoSe<sub>2</sub>, MoS<sub>2</sub>.

Важность исследований поведения полимеров на молекулярных шаблонах связана с возможностью шаблонозависимой подстройки степени взаимодействия наносимого полимера и молекулярной наноструктуры, что особенно перспективно для технологических применений.

В данной работе мы изучали влияние пленок октадециламина (ОДА) на конформацию адсорбированной на него ДНК. Молекулы ОДА, нанесенные на поверхность высокоориентированного пиролитического графита (ВОПГ) из паров, образуют самоорганизующийся монослой, состоящий из доменов чередующихся полос с собственной ориентацией внутри каждого из доменов (на рис. 1 представлено АСМ-изображение одного из таких доменов). Наблюдаемая полосатая структура отвечает чередованию участков, образованных направленными друг к другу гидрофобных хвостов и гидрофильных аминок групп ОДА [3].

АСМ-изображения молекул ДНК, иммобилизованных на ОДА-модифицированный ВОПГ из водного раствора, демонстрируют сегментарную форму контуров молекул ДНК, т.е. чередование прямых сегментов, повернутых друг относительно друга на углы 120° (в 90% случаев) или 60° (в 10% случаев) (см. рис. 2), тем самым отражая симметрию лежащего под ним молекулярного наношаблона. В работе изучены различные закономерности такой адсорбции, а также предло-

жена модель, объясняющая наблюдаемое поведение ДНК.

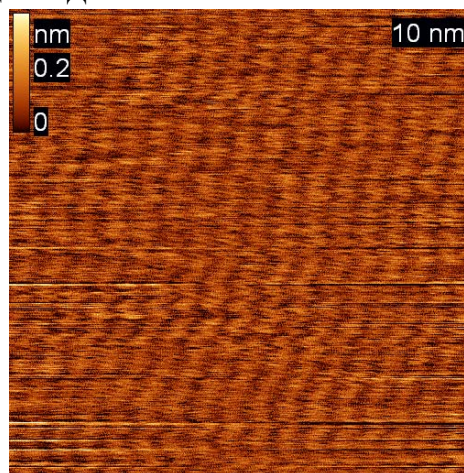


Рис. 1. АСМ-изображение монослоя ОДА.

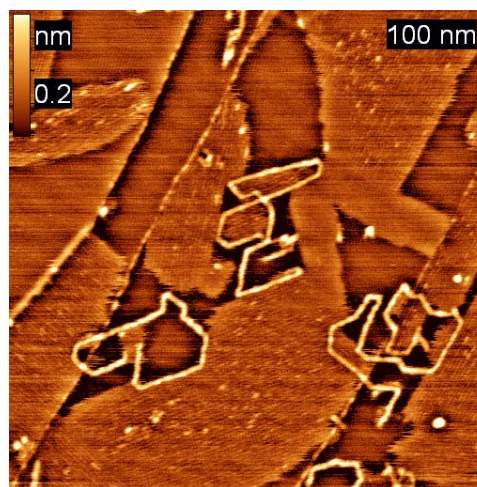


Рис. 2. АСМ-изображение молекул ДНК, адсорбированных на поверхности пленки октадециламина.

## Список литературы:

1. Rabe J.P., Buchholz S., Science, 253, 424-427 (1991).
2. Dubrovin E.V., Staritsyn S.N., Yakovenko S.A., Yaminsky I.V. Biomacromolecules, 8, 2258–2261 (2007).
3. Severin N., Barner J, Kalachev A.A., Rabe J. P. Nano Letters, 4, 577-579 (2004).

# РАЗРАБОТКА АФИННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ БАКТЕРИАЛЬНЫХ НАНОФРАГМЕНТОВ ИЗ РАСТВОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

Е.В. Дубровин<sup>1</sup>, С.Г. Игнатов<sup>2</sup>, Т.Е. Игнатюк<sup>3</sup>, С.В. Краевский<sup>3</sup>,  
Г.Н. Федюкина<sup>2</sup>, И.В. Яминский<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова,

<sup>2</sup>ГНЦ Прикладной Микробиологии и Биотехнологии

<sup>3</sup>Институт теоретической и экспериментальной физики им. А.И. Алиханова  
dubrovin@polly.phys.msu.ru

Инфекции, вызванные пищевыми патогенами, ежегодно приводят к гибели около 2 миллионов человек в развивающихся странах, что приводит к потере миллиардов долларов на лечение и падению экономического развития стран [1]. В этой связи разработка принципов биологического детектирования, имеющего малые времена и низкий порог срабатывания, является наиболее востребованной и перспективной задачей.

В данной работе была изучена возможность использования аффинных поверхностей для осуществления специфического связывания с ней бактериальных фрагментов. Изучение топографии и механических свойств биологических поверхностей проводилось с помощью атомно-силовой микроскопии (АСМ).

В данном докладе представлены результаты по исследованию поверхностей, специфичных к бактериальным клеткам и их фрагментам. Для этой цели нами была предложена следующая структура специфичной к антигену поверхности: активированная в тлеющем разряде слюда – белок G – антитело. Активированная слюда улучшает адсорбцию на нее белка G, который, в свою очередь, увеличивает степень адгезии на него антител (в силу их специфического взаимодействия). На рисунке 1а показано АСМ-изображение обработанной в тлеющем разряде поверхности слюды, экспонированной последовательно в раствор белка G, а затем (после промывки) в раствор моноклональных антител к *Escherichia coli* и результаты «царапающих экспериментов», а на рисунке 1в – АСМ-изображение такой же поверхности после ее экспонирования в растворе, содержащем разрушенные фрагменты клеток *E.coli* с концентрацией  $10^8$  клеток/мл. На контрольных экспериментах, где вместо *E.coli* использовались клетки *Salmonella enteritidis*, подобного связывания не наблюдалось.

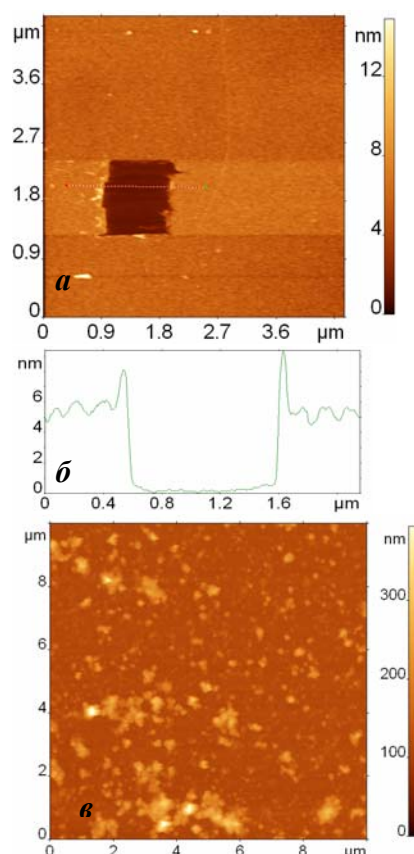


Рис. 1. АСМ-изображения (а) поверхности слюды, экспонированной последовательно в растворе белка G, а затем в растворе моноклональных антител к *E.coli*, (в) – такой же поверхности после ее экспонирования в растворе, содержащем разрушенные фрагменты клеток *E.coli*, (б) – АСМ-профиль вдоль пунктирной линии на АСМ-изображении. Размеры кадров составляют (а)  $4,6 \times 4,6$  мкм<sup>2</sup>, (в)  $10 \times 10$  мкм<sup>2</sup>.

Работа выполнена при поддержке проекта МНТЦ № 3245.

Список литературы:

1. McHugh I.O.L., Tucker A.L., Cytometry Part A, 71A, 1019 – 1026 (2007).

# ОПТИЧЕСКАЯ НАНОСКОПИЯ (ПО МАТЕРИАЛАМ ЛИТЕРАТУРЫ)

А.А. Ежов

*Физический факультет МГУ им М.В. Ломоносова  
alexander-ezhov@yandex.ru*

Использование электромагнитного излучения УФ-, видимого и ближнего ИК-диапазонов для изучения объектов нанометровых размеров обладает целым рядом преимуществ: очень многие вещества обладают характерным откликом именно в этом диапазоне частот электромагнитного поля, воздействие на исследуемый образец часто может быть минимизировано, предварительная обработка образца практически не требуется. Особенно важным преимуществом является возможность прижизненных исследований живых систем. Эти и другие преимущества явились причинами развития большого количества оптических методов исследования, в том числе – различных методик оптической микроскопии. Вместе с тем, использование света в микроскопических методах ограничивает разрешающую способность величиной, приблизительно равной половине длины волны используемого излучения. Это ограничение (часто называемое пределом Аббе) связано с волновой природой света и обусловлено его дифракцией [1].

Долгое время дифракционный предел разрешения считался принципиальным препятствием на пути к получению с помощью света информации об отдельных объектах субволновых размеров, расположенных на расстояниях, меньших длины волны. Тем не менее, в последние десятилетия появился целый ряд методик, позволяющих преодолевать дифракционные ограничения на разрешающую способность.

Среди методик, позволяющих добиться сверхразрешения в оптической микроскопии можно выделить две большие группы: основанные на субволновой локализации светового поля, вызывающего отклик нанообъекта и основанные на разделенном во времени определении положения отдельных нанообъектов с использованием известной функции рассеяния точки [2].

Наиболее яркими методиками, основанными на субволновой локализации светового поля методик относятся люминесцентная микроскопия полного внутреннего отражения (Total Internal Reflection Fluorescence – TIRF), различные варианты апертурной и безапертурной сканирующей оптической

микроскопии ближнего поля (Scanning Near-field Optical Microscopy – SNOM) [3], люминесцентная микроскопия, основанную на обеднении уровней с помощью вынужденного излучения (STimulated Emission Depletion – STED) и люминесцентная микроскопия, основанная на обеднении нижнего уровня за счет перехода люминофора в триплетное состояние (Ground State Depletion – GSD).

К методикам, основанные на разделенном во времени определении положения отдельных нанообъектов относятся люминесцентные микроскопии с фотоактивацией люминофора (PhotoActivated Localization Microscopy – PALM) и стохастической реконструкцией (STochastic Optical Reconstruction Microscopy – STORM).

Часто для достижения оптического сверхразрешения по всем трем координатам используются комбинации методик.

Несмотря на все различия в подходах к достижению оптического сверхразрешения, все перечисленные методики основаны на общих принципах, касающихся источника излучения и детектирования света. Источник детектируемого излучения должен иметь размеры, много меньшие чем длина волны испускаемого света (т.е. соответствовать критериям для точечного источника). Детектирование излучения этих точечных источников, находящихся на субволновых расстояниях друг от друга должно осуществляться в различные моменты времени. Различия между подходами заключаются в способах получения точечного источника и разделения во времени.

Анализ возможностей и ограничений современных методик оптической микроскопии со сверхразрешением позволяет сделать выводы о перспективах их дальнейшего развития и проблемах, требующих своего разрешения.

Список литературы:

1. Егорова О.В., С микроскопом на «ты», СПб, Интерлаб (2000).
2. Hell S.W., Science, 316, 1153-1158 (2007).
3. Courjon D., Near-field microscopy and near-field optics, Imperial College Press (2003).



# КИНЕТИКА ИСПАРЕНИЯ МИКРОКАПЕЛЬ НА АСМ КАНТИЛЕВЕРЕ

А.С. Ерофеев<sup>1,2</sup>, И.В. Яминский<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова

<sup>2</sup>ООО «Академия биосенсоров»

erofeev@polly.phys.msu.ru

Изучение кинетики испарения микрокапель – это одна из малоизученных фундаментальных задач физики. Процесс испарения микрокапель на твердой поверхности является ключевым фактором для работы различных принтерных систем, в поверхностно-плазмонном резонансе, при нанесении вещества рецептора в кантилеверных биохимических анализаторах.

Кантилеверные биохимические анализаторы, функционирующие на базе атомно-силового микроскопа, позволяют определять изменение поверхностного натяжения сверхтонких пленок, нанесенных на твердую поверхность механического датчика (кантилевера), с точностью до  $10^{-5}$  Н/м. На одну из сторон кантилевера помещается слой молекулярных рецепторов. При взаимодействии детектируемого вещества с рецепторами, кантилевер изгибается. Величина изгиба зависит от вещества рецептора и от равномерности его распределения по поверхности кантилевера. Это напрямую связано с кинетикой испарения микрокапли раствора вещества рецептора на поверхности кантилевера.

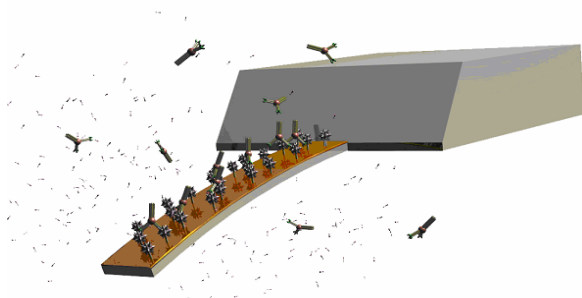


Рис. 1. Схема биохимического микроконсольного сенсора.

Задача испарения микрокапель уже давно решена. Существует три модели испарения капель:

1. с постоянным краевым углом и уменьшающимся контактным радиусом;
2. с постоянным контактным радиусом и с уменьшающимся краевым углом;
3. смешанная.

Микрокапли – это капли, контактный радиус которых меньше 100 мкм. С уменьшением капли до таких размеров увеличивают свое влияние на кинетику испарения капель

целый ряд эффектов. Согласно уравнению Кельвина ( $P_v = P_0 e^{\lambda/R}$ ) уменьшение радиуса искривления капли приводит к значительному росту давления внутри нее. Так же увеличивается вклад гидрофильных взаимодействий при очень малой высоте капли.

Получать микрокапли можно с помощью установки, принцип действия которой показан на рис. 2 (в англоязычной литературе принято название *piezodropper* [1]).

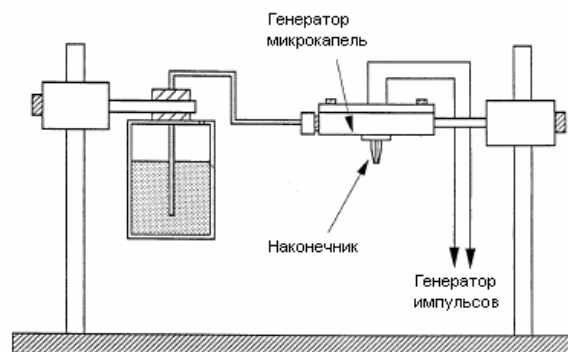


Рис. 2. Схема работы устройства для получения микрокапель, заданного радиуса.

Использование кантилевера как сенсора для изучения кинетики испарения микрокапли позволяет контролировать несколько параметров одновременно. Это его основное преимущество перед другими методами и устройствами, такими как видеомикроскопия, электронные или кварцевые весы. При изучении кинетики испарения капли АСМ кантилевер можно использовать для определения времени испарения капли, поверхностного натяжения на границе капли/воздух, массы капли и температуры одновременно. Также можно определять модель испарения микрокапли в зависимости от типа поверхности (гидрофильной или гидрофобной), на которой находится микрокапля [2].

Список литературы:

1. J.C. Yang, W.Chien, M.King, W.L. Grosshandler, A Simple Piezoelectric Droplet Generator, *Experiments in Fluids*, 23, 445-447 (1997).
2. Elmar Bonaccorso, Microdrops Evaporating on AFM Cantilevers, *Progr Colloid Polym Sci*, 134, 57–65 (2008).

# КОНДЕНСАЦИЯ ВОДЯНОЙ ПЛЕНКИ НА ПОВЕРХНОСТИ СЛЮДЫ

Ю.М. Ефремов, Д.В. Багров, И.В. Яминский

МГУ им. М.В. Ломоносова

yu.efremov@gmail.com

Слюда является незаменимым материалом при приготовлении образцов для атомно-силовой микроскопии (АСМ). Она имеет атомарно гладкую поверхность, получаемую путем простого скалывания, эта поверхность является гидрофильной и при помещении в воду несет отрицательный заряд. Такая поверхность является хорошей подложкой для наблюдения разнообразных объектов, в том числе биологических (биомакромолекул, вирусов, клеток).

В обычных лабораторных условиях (влажность 30-40%, температура 20-25°C) на поверхности свежесколотой слюды конденсируется водяная пленка. Ее можно наблюдать при сканировании в полуконтактном режиме при малой (10-15 нм) амплитуде свободных колебаний кантилевера. Слой воды на слюде возникает в виде отдельных островков высотой 2-8 Å (это, предположительно, соответствует 1-4 слоям воды), которые постепенно разрастаются и заполняют всю поверхность образца (рис. 1).

В данной работе для описания кинетики конденсации использовались параметры шероховатости поверхности. Вычисляя значения параметров шероховатости сканируемого участка, можно проследить следующую закономерность: до того, как пленка покроев половину кадра, шероховатость возрастает, затем начинает убывать. Такая закономерность справедлива для значений средней и среднеквадратичной шероховатости, соответствующие графики представлены на рисунке 2. Каждый из параметров шероховатости стремится к некоторому равновесному значению, которое может варьироваться в зависимости от того, произошло ли формирование цельного слоя (при высокой влажности) или на поверхности остались не покрытые водой участки (при относительно низкой влажности).

При интерпретации изображений объектов, нанесенных на слюду, важно учитывать возможность появления артефактов, вызванных конденсацией водяной пленки.

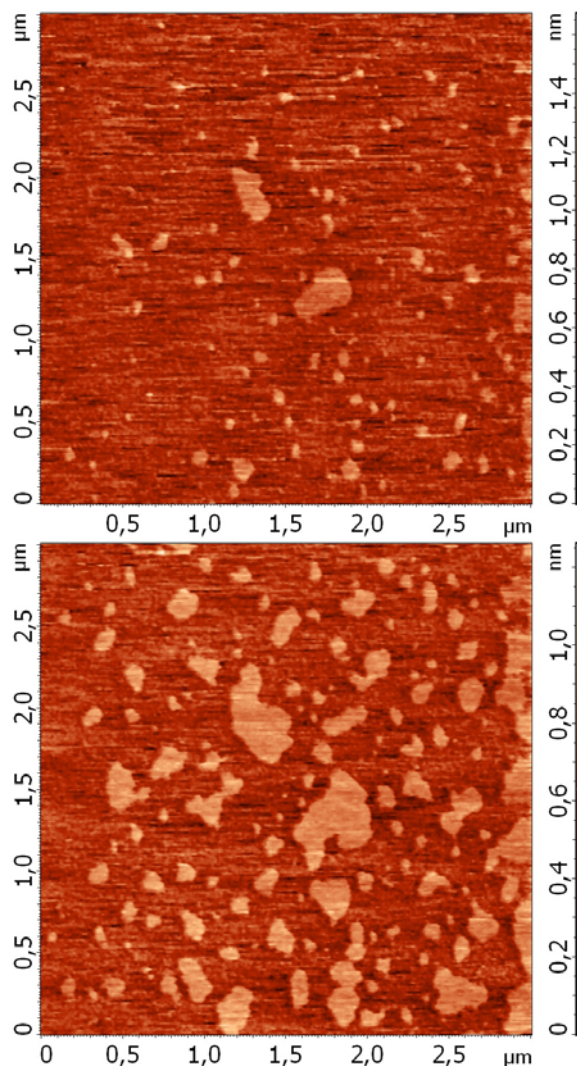


Рис. 1. Постепенное заполнение сканируемой области водяной пленкой.

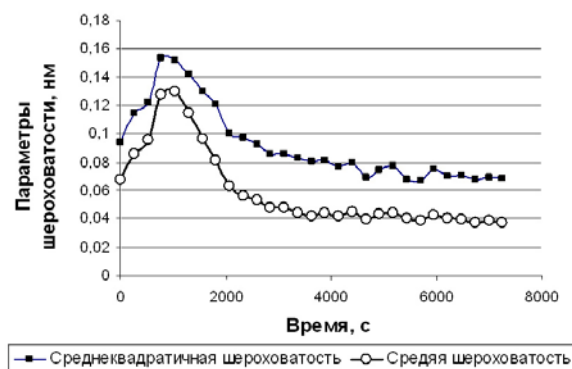


Рис. 2. Изменение параметров шероховатости поверхности при наблюдении водяной пленки.



# СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДОВ ИЗУЧЕНИЯ АПОПТОЗА В ПЕЧЕНИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОСКОПА

Н.Н. Иванская, Е.Н. Калюкова

ГОУ ВПО Ульяновский государственный технический университет  
naivanskaya@yandex.ru

Проблема исследования апоптоза – одна из трудных и актуальных проблем биологии. До сих пор мало изучены механизмы этого явления и регуляция апоптоза отдельных клеток в целостном многоклеточном организме.

При изучении апоптоза в печени крыс мы столкнулись с проблемой выбора методов изучения запрограммированной гибели клеток. Зависимость апоптоза в печени изучали в условиях острой циркуляторной гипоксии, вызванной кровопотерей разной степени тяжести (модель [7]). Биохимические анализы в ткани печени свидетельствовали об изменении баланса перекисного окисления липидов, антиоксидантов и митохондриальных дыхательных ферментов на фоне снижения АТФ. Все это указывало на возникновение окислительного стресса. Известно, что окислительный стресс – одна из возможных причин запуска гибели клеток как по апоптотическому, так и некротическому механизмам [2]. При световой микроскопии и окрашивании препаратов гематоксилин-эозином, отчетливо наблюдали некроз гепатоцитов, но апоптотических телец (которые впервые были обнаружены именно в печени) выявить не удалось.

Поэтому в качестве маркеров, по которым можно охарактеризовать клетки, подвергающиеся апоптозу, мы использовали выборочное иммуногистохимическое исследование продукта экспрессии p53 и bcl-2. Анализ микропрепаратов показал, что маркеры апоптоза p53 и bcl-2 избирательно окрашивают клетки печени. P 53 экспрессируется в гепатоцитах, тогда как bcl-2 локализуется в основном вокруг триад. Согласно данным литературы, bcl-2 не найден в гепатоцитах, но обнаружен в малых желчных протоках [1,3].

Для количественной характеристики апоптоза мы избрали метод окрашивания суспензии клеток печени акридиновым оранжевым. Акридиновый оранжевый (АО) – флюорохромный краситель, дифференцированно окрашивает дву- и одноцепочечные нуклеиновые кислоты. При длине волны 480–490 нм, взаимодействуя с двуцепочечной нуклеиновой кислотой – ДНК, АО отражает зеленый цвет; при взаимодействии с

одноцепочечными нуклеиновыми кислотами – РНК и одной цепочкой ДНК – желто-оранжевую и красную гамму цветов. Конденсация хроматина – ранний признак апоптоза, и конденсированный хроматин более чувствителен к денатурации ДНК, чем нормальный хроматин. В препарате РНК удаляли инкубацией с РНК-азой, ДНК денатурировали соляной кислотой. После окрашивания АО, апоптотические клетки проявляли желто-оранжевую флюоресценцию, клетки, вступившие во вторичный некроз, – красную; интактные (не вступившие в апоптоз и некроз) – зеленую. Препараты суспензии клеток печени анализировали в люминесцентном микроскопе, при длине волны 480 нм [4,5,6]. Апоптотический индекс определяли как отношение позитивно окрашенных ядер клеток (желто-оранжевых) к общему числу исследуемых в препарате клеток – 500.

Нами получены данные об увеличении апоптотического индекса в печени крыс после кровопотери разной степени тяжести на протяжении суток наблюдения. Показатель у интактных животных составил  $0,002 \pm 0,0001$ . При самом тяжелом воздействии показатель наиболее высок, и через сутки составил  $0,084 \pm 0,040$  ( $p < 0,05$ ).

Таким образом, для количественной оценки апоптоза в печени лучше всего подходит метод окрашивания суспензии клеток АО.

## Список литературы:

1. Аруин Л.И. Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии, № 2, с.6–11 (1998).
2. Скулачев В.П., Биохимия, Т.64, №12, с.1679–1688 (1999).
3. Чиркин А.А. Иммунопатология, аллергология, инфектология, № 1, с.26–33 (2000).
4. Gorman A., Techniques in Apoptosis. A user's guide, New York, TG Cotter and SJ Martin eds, Portland Press, p.1–20 (1994).
5. Hotz M.A., Exp Cell Res., 201.p.184–191 (1992).
6. Pawley J.B. Handbook of Biological Confocal Microscopy (2nd Edition), New York, Plenum Publishing Corporation (1995).
7. Sapirstein R.A., Circ.Res., 8, p.135–147 (1960).

# IN-VITRO ФЛЮОРЕСЦЕНТНЫЙ ТЕСТ НА ПРАВИЛЬНОСТЬ ФОЛДИНГА КАЛИЕВОГО ПОТЕНЦИАЛ-ЗАВИСИМОГО КАНАЛА

М.Г. Карлова, А.В. Пищальникова, А.А. Рамонова,

М.М. Мойсенович, О.С. Соколова

МГУ им. М.В. Ломоносова

mkarlova@yandex.ru, bionastya@gmail.com

Калиевые потенциал-зависимые каналы ( $K_v$ ) играют важную роль в генерации электрических импульсов и регуляции мембранного потенциала.

Нарушения их функционирования могут приводить к тяжелым патологиям, в частности к эпилепсии и диабету [1]. Точное знание структуры каналов и механизма их функционирования позволит бороться с заболеваниями и создавать более эффективные лекарственные средства.

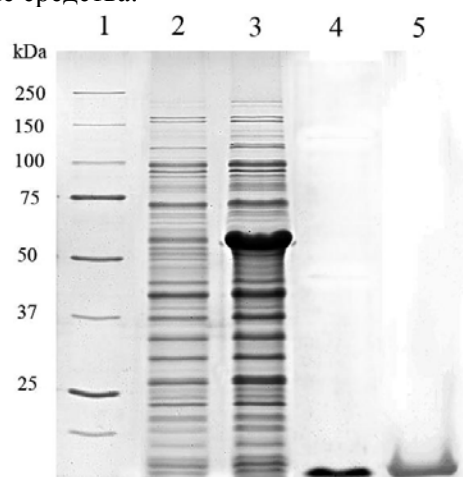


Рис. 1. Экспрессия и очистка AgTx2 (электрофорез в полиакриламидном геле): 1 – маркер, 2 – контроль экспрессии (полный белок *E.coli*), 3 – экспрессия рекомбинантного белка, 4 – фрагмент рекомбинантного белка, токсин AgTx2, 5 – AgTx2, меченый флуоресцентным красителем.

Для разработки метода определения правильности фолдинга потенциал-зависимых калиевых каналов ( $K_v$ ), был получен флуоресцентно меченый белок AgTx2, компонент яда жёлтого скорпиона *Leiurus quinquestriatus hebraeus* [2]. Данный токсин обратимо связывается только с теми молекулами калиевых потенциал-зависимых каналов, которые образуют гомотетрамер (рис.2). Это свойство позволяет, во-первых, использовать токсин как тест на корректность сборки тетрамера калиевого канала, а во-вторых, определять динамику связывания различных лигандов с каналом, путем конкурентного ингибирования с меченым AgTx2, при котором происходит снижение интенсивности

флуоресцентного сигнала. В роли лигандов могут выступать тестируемые лекарственные средства. Данный метод также позволяет выявить уровень экспрессии канала в эукариотических клеточных линиях.

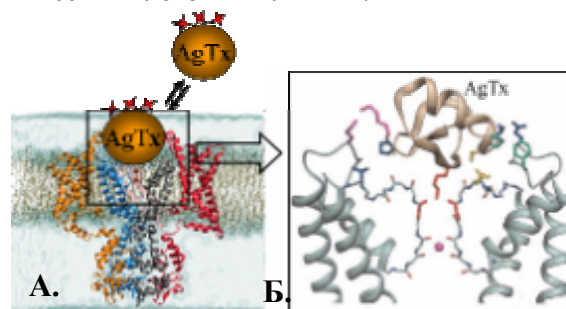


Рис. 2. А: Схема обратимого связывания флуоресцентно меченого AgTx2 с потенциал-зависимым калиевым каналом. Флуоресцентный краситель Cy3 обозначен красными звездочками. Б: Модель связывания AgTx2 с каналом *Shaker* [3].

Плазмида, содержащая ген AgTx2, была экспрессирована в штамме *E. coli* BL21(DE3). Рекомбинантный белок очистили на ионообменной колонке DE 52, затем расщепили трипсином. Целевой фрагмент рекомбинантного белка был очищен на ионообменной колонке SP-sephadex [4], затем на мембране Millipore Microcon. Результат очистки проверен методом масс-спектрометрии. Очищенный токсин AgTx2 был помечен флуоресцентным красителем Cy3. От избытка красителя белок был отделен на мембранах Microcon.

В результате был получен флуоресцентно меченый белок AgTx2, который в дальнейшем использовали для проверки правильности фолдинга и определения локализации канала *Shaker* ( $K_v1.1$ ) и его мутанта  $K_v1.1\Delta C$ , у которого отсутствует цитоплазматический С-концевой участок. Каналы были экспрессированы в культуре эукариотических клеток Vero.

Как видно из рисунков 3 и 4 на поверхности клеток виден флуоресцентный сигнал меченого AgTx2, что говорит о сверхэкспрессии калиевых каналов в клетках, а также о том, что каналы имеют правильную тетрамерную структуру. Интенсивность флуорес-

центного сигнала выше у клеток, экспрессирующих мутантный канал Kv1.1ΔC (рис. 3), что говорит о более высоком уровне его экспрессии по сравнению с нативным каналом Kv1.1. Отличается и характер расположения каналов на поверхности клеток. Мутантные каналы Kv1.1ΔC располагаются более равномерно по поверхности клеток Vero.

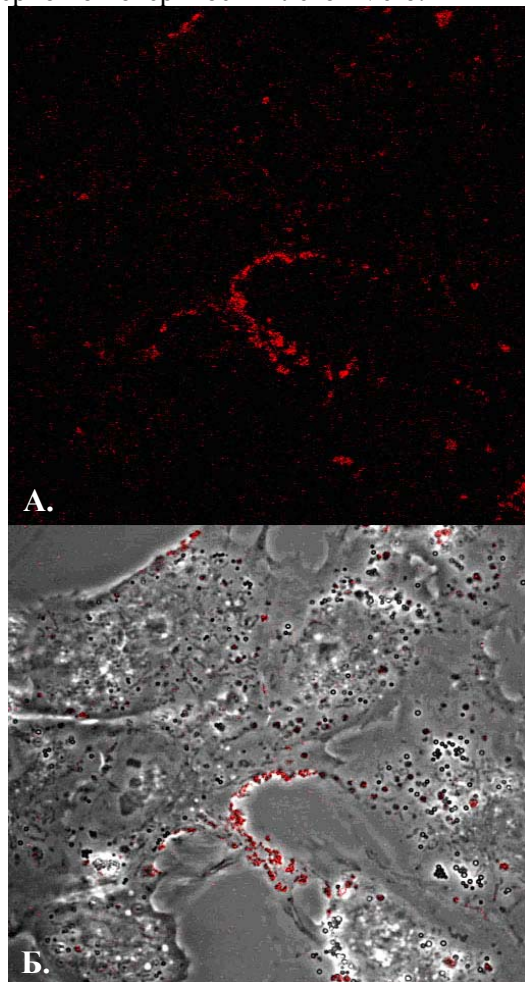


Рис. 3. Связывание флуоресцентно меченого AgTx2 клетками Vero, со сверхэкспрессией нативного канала *Shaker* (Kv1.1). **А:** Флуоресцентный сигнал от клеток, помеченных AgTx2. **Б:** Совмещенное изображение флуоресцентного сигнала красителя Cy3 с изображением клеток в проходящем свете.

Таким образом, представленный метод позволил *in vitro* определить правильность фолдинга нативного и мутантного потенциал-зависимых калиевых каналов *Shaker*, экспрессированных в эукариотической клеточной линии Vero, а также выявить характер распределения каналов в клетке и оценить уровень их экспрессии.

В дальнейшем данный метод планируется адаптировать для детекции флуоресценции непосредственно в 96-ти луночных планшетах на многофункциональном микроплан-

шетном детекторе. Это позволит оптимизировать метод для определения динамики связывания различных лигандов с потенциал-зависимыми калиевыми каналами.

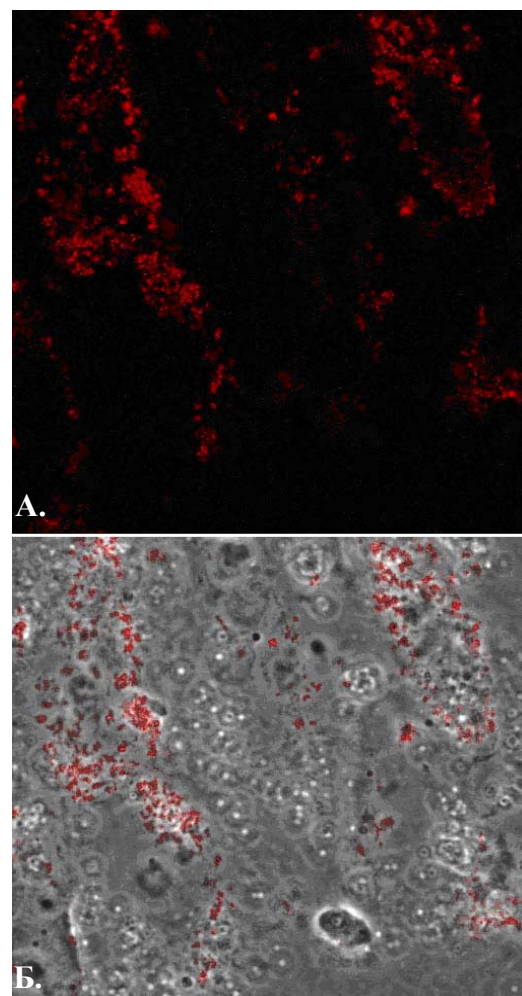


Рис. 4. Связывание флуоресцентно меченого AgTx2 клетками Vero, со сверхэкспрессией мутантного канала *Shaker* (Kv1.1 ΔC). **А:** Флуоресцентный сигнал от клеток, помеченных AgTx2. **Б:** Совмещенное изображение флуоресцентного сигнала красителя Cy3 с изображением клеток в проходящем свете.

#### Список литературы:

1. Misonou H., Mohapatra D.P., Menegola M., Trimmer J.S., *J Neuroscience*, 25, 11184–11193 (2005).
2. Sokolova O.S., Kolmakova-Partensky L., Grigorieff N., *J Structure*, 9, 215-220 (2001).
3. Eriksson A.L.M., Roux B., *Biophysical Journal*, 83, 2595-2609 (2002).
4. Garcia M.L., Garcia-Calvo M., Hidalgo P., Lee A., MacKinnon R., *Biochemistry*, 33, 6834-6839 (1994).

# МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ МОЛЕКУЛЯРНЫХ НАНОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Д.В. Клинов

*Институт биоорганической химии им. М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова, РАН*

Фундаментальной задачей наноэлектроники является создание электронных устройств и проводников молекулярных размеров. Решение этой задачи позволило бы конструировать сверхбыстрые и сверхкомпактные компьютеры, использующие принципиально новые квантовые алгоритмы.

Несмотря на уникальные свойства углеродных нанотрубок, их применение в нанотехнологических целях существенно осложнено проблемами управляемого манипулирования ими, использованием в конкретной технологической цепочке, дороговизной и широким разбросом индивидуальных свойств (от диэлектриков до полупроводников и проводников).

Альтернативным кандидатом для использования в качестве молекулярных нанопроволок является молекула ДНК. Как оказалось, помимо важнейшей роли хранилища генетической информации живого организма, молекулы ДНК могут осуществлять транспорт электронов вдоль полимерной цепи и могут проявлять хорошие проводящие свойства. Однако воспроизводимость работ по электронному транспорту ДНК, проведенных во многих лабораториях, является недостаточно высокой, что в первую очередь связано с тем, что при нанесении молекул ДНК из раствора на твердую подложку происходит существенное искажение нативной структуры, присущей этим молекулам в растворе.

Нами были разработаны подходы, позволяющие уменьшить влияние подложки на структуру адсорбированных молекул ДНК и сохранить «нативное» состояние молекул ДНК (рис. 1). Разработанные методы плазмохимической модификации поверхности позволили добиться отличной проводимости молекул ДНК [1,2] и в сотрудничестве с институтом проблем микроэлектроники и особо чистых материалов РАН и парижским университетом, впервые, была показана возможность перехода молекул ДНК в сверхпроводящее состояние [1].

Как известно, основной целью молекулярной наноэлектроники является создание молекулярного компьютера с очень высокой плотностью размещения устройств – порядка триллиона на квадратный сантиметр.

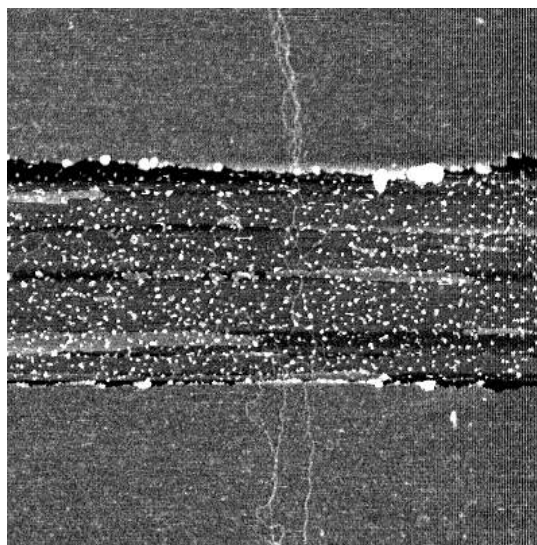


Рис. 1. Молекулы ДНК, нанесенные на электроды.

Размещение с такой огромной плотностью требует сверхмалого рассеяния мощности на каждом работающем устройстве. Предполагается, что лишь сверхпроводящие устройства могут удовлетворить этим требованиям.

Для конструирования молекулярных электронных устройств необходимо научиться «управлять» молекулами, позиционировать их в заданном месте подложки с необходимой ориентацией. Нами были разработаны методические основы управляемой адсорбции биополимеров. Управляемая адсорбция подразумевает нанесение или позиционирование молекул в нужном месте подложки с необходимой ориентацией [3].

## Список литературы:

1. A. Yu. Kasumov, M. Kociak, S. Guéron, B. Reulet, V. T. Volkov, D. V. Klinov, and H. Bouchiat, Proximity-Induced Superconductivity in DNA, *Science*, Jan 12, 280-282 (2001).
2. Kasumov A., Klinov D, Roche P.-E., Gueron S., and Bouchiat H., *Applied physics letters*, 84 (6), 1007-1009 (2004).
3. Dmitry Klinov, Kirill Atlasov, Alexander Kotlyar, Benjamin Dwir, Eli Kapon, DNA Nanopositioning and Alignment by Electron Beam-Induced Surface Chemical Patterning, *Nano Letters* 7(12):3583-7 (2007).



# СОЗДАНИЕ НОВЫХ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КАНТИЛЕВЕРОВ

Д.В. Колесов

*Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова*  
*kolesov@polly.phys.msu.ru*

Производство кантилеверов является важным направлением современной наноиндустрии. Кантилевер – это основной измерительный элемент атомно-силового микроскопа (АСМ). По некоторым оценкам ежегодный рынок кантилеверов для атомно-силовой микроскопии достигает 50 миллионов долларов и постоянно растёт благодаря распространению АСМ как в исследовательских лабораториях в области химии, физики, биологии, так и в промышленности, например, при производстве полупроводниковых чипов. При покупке нового микроскопа необходимо обеспечить его кантилеверами, при этом ранее купленные микроскопы по-прежнему требуют новых измерительных элементов. Кроме того, в настоящее время активно развивается технология создания химических сенсоров на основе микрокантилеверных датчиков. Создание миниатюрных сенсоров открывает громадные перспективы для биохимического анализа, детектирования газов, медицины и некоторых других областей науки и техники.

Обычно кантилеверы изготавливаются из кремния либо его нитрида и представляют собой микроскопическую консоль, с зондом в виде острой иглы на конце. Однако развитие зондовой микроскопии требует постоянного совершенствования и эволюции микрокантилеверов. Уже сейчас широко распространены кантилеверы с различными покрытиями, делаются попытки создать кантилеверы целиком состоящие из новых функциональных материалов: полимерных плёнок, металлов, фоторезистивных или углеродных материалов. Это позволит улучшить некоторые характеристики кантилеверов. Кроме того, важен экономический фактор. Никто не заметил, что в период с 2005 по 2008 год когда стоимость барреля нефти поднялась в 3 раза, цена на кремний – основное сырьё для производства кантилеверов, выросла почти в четыре раза.

В своей работе мы предлагаем использовать в качестве материала для кантилеверов слюду. Она обладает замечательными механическими свойствами. Её легко скалывать для получения очень тонких образцов с атомно-гладкой поверхностью. Слюда широко

доступна и стоит гораздо дешевле кремния.

При работе в составе сенсора, кантилеверу не нужен зонд. В качестве прототипов слюдяных кантилеверов для сенсоров мы использовали небольшие пластинки, вырезанные из листа мусковита толщиной 18 мкм. Для проверки работоспособности были проведены эксперименты по детектированию 2-тиоэтанола ( $\text{SHC}_2\text{H}_4\text{OH}$ ) в жидкой и газообразной фазах. В состав данного соединения входит SH-группа, поэтому в качестве аналитического слоя на слюду была напылена плёнка золота толщиной 30 нм. В растворе концентрация детектируемого вещества составила  $1,5 \times 10^{-2}$  М. При работе в парах 2-тиоэтанола была зафиксирована концентрация менее 50 частиц на миллион.

Для работы в составе микроскопа слюдяная пластинка приклеивалась на чип обычного коммерческого кантилевера, а на свободный конец помещался зонд из вискера  $\text{TaS}_3$ . Такой кантилевер уже годится для сканирования, с его помощью нами было получено изображение поверхности CD-RW диска.

На основе слюдяных кантилеверов был реализован новый метод регистрации отклонения. Мы использовали пьезорезистивный эффект в тонкой золотой плёнке на поверхности слюды. Были проведены исследования этого эффекта при различной толщине металлического покрытия. По результатам исследования был создан прототип слюдяного пьезорезистивного кантилевера (рис. 1). Чувствительность прототипа составила 6 мВ/мкм. Применение пьезорезистивной системы регистрации отклонения вместо стандартной лазерно-оптической позволит сделать приборы на основе микрокантилеверов гораздо более компактными, увеличить чувствительность.

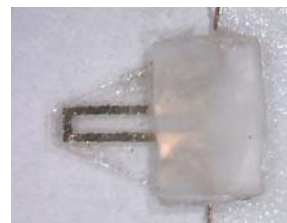


Рис. 1. Прототип слюдяного пьезорезистивного кантилевера.



# ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ПЕРИТОНЕАЛЬНЫХ МАКРОФАГОВ ПОСЛЕ ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С МОНОМЕРОМ И ДИМЕРОМ РНКазы *B. INTERMEDIUS* МЕТОДОМ АСМ

О.А. Коновалова, И.Р. Ефимова, Н.В. Калачева

Казанский государственный университет им. В.И. Ульянова-Ленина

*Olga.konovalova@bk.ru*

В работах, опубликованных ранее, нами было установлено, что мономерная и димерная формы РНКазы *Bacillus intermedius* ингибируют функциональную активность перитонеальных макрофагов крысы *in vitro*, подавляя в них фагоцитоз и слияние лизосом с фагосомами [1]. Ингибирование активности макрофагов может быть полезно в случаях, когда механизм их гомеостатической функции трансформируется в компонент патологического механизма некоторых заболеваний. К таковым, например, относятся цитотоксические реакции в отношении тканей, ставших чужеродными, хронические макрофагзависимые воспалительные процессы, аутоиммунные болезни и др. Механизм ингибирующего действия биологически активных веществ, в том числе и РНКаз, на макрофаги изучен недостаточно. Однако имеются сведения, что он включает в себя изменение свойств клеточных мембран.

В настоящей работе, с помощью метода сканирующей зондовой микроскопии, исследовали структуру поверхностных слоев и морфологию макрофагов после их взаимодействия с мономерной и димерной формами РНКазы. Перитонеальный макрофаг является исключительно удобным объектом для подобного рода исследований. Во-первых, это довольно крупные клетки (23-25 мкм). Во-вторых, они обладают хорошими адгезионными свойствами и не требуют дополнительной фиксации на подложке химическими реагентами.

Визуализацию макрофагов проводили на воздухе при комнатной температуре в полуконтактном режиме на АСМ Solver P47H (ЗАО «НТ-МДТ»). Использовали 3 методики сканирования: метод постоянной амплитуды, фазового контраста и сигнала рассогласования. Для описания и детализации структуры поверхности рассчитывали феноменологические характеристики: размах высот, среднюю шероховатость, среднеквадратичную шероховатость и энтропию.

Сравнительный анализ морфологии клеток, инкубированных в течение 20 часов с мономерной и димерной формами РНКазы (400 мкг/мл), и интактных клеток (контроль)

позволил нам выявить следующие структурные особенности строения их поверхностных слоев. У клеток, обработанных РНКазой, на поверхности наблюдались втягивания и выпячивания плазматической мембраны, четко прослеживалась фаза высвобождения (release) и фрагментация ядра. Все эти признаки обычно обнаруживаются при апоптозе. Феноменологические параметры количественно подтвердили визуальные различия опытных и контрольных образцов макрофагов.

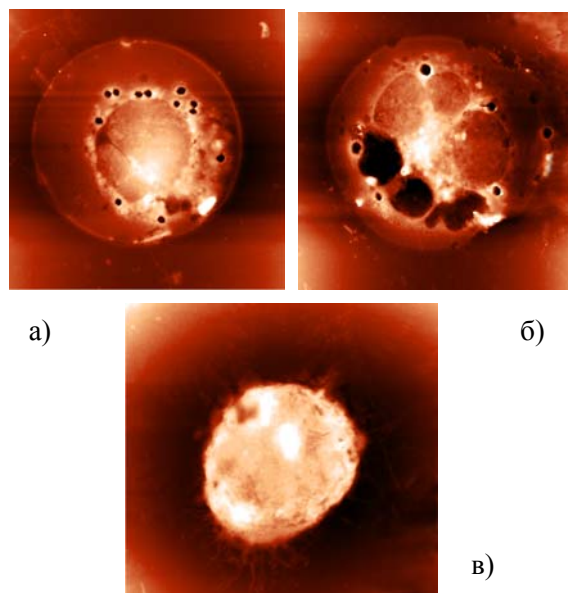


Рис. 1. АСМ-изображения а) контрольного макрофага, размер кадра 30х30 мкм, б) макрофага, обработанного мономерной формой РНКазы, размер кадра 30х30 мкм, в) макрофага, обработанного димерной формой РНКазы, размер кадра 25х25 мкм.

Таким образом, полученные в работе результаты показывают, что РНКазы *Bacillus intermedius* способна вызвать апоптоз макрофагов, а метод атомно-силовой микроскопии позволяет исследовать различные стадии апоптоза.

## Список литературы:

1. Калачева Н.В., Куриненко Б.М., Биомедицинская химия, 51(3), 303-310 (2005).

# И ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ОПТИЧЕСКОГО ПИНЦЕТА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ АГРЕГАЦИИ ЭРИТРОЦИТОВ

Е.В. Любин, М.Д. Хохлова, А.Г. Жданов, С.Ю. Рыкова,  
И.А. Соколова, А.А. Федянин

МГУ им. М.В. Ломоносова  
lyubin@nanolab.phys.msu.ru

Данная работа посвящена изучению механизмов агрегации красных кровяных телец (эритроцитов). Агрегация эритроцитов – динамический и обратимый процесс их взаимодействия площадями с наибольшими поверхностями. Способность эритроцитов к агрегации является одним из важнейших компонентов в микроциркуляции крови, а значит и функционирования организма в целом. Однако физические принципы, объясняющие агрегацию эритроцитов, до сих пор точно не установлены [1]. В работе использовался метод, известный как оптический пинцет.

Неоднородное оптическое поле, например, перетяжка сильно сфокусированного лазерного луча, формирует эффективную пространственную потенциальную яму для объектов, находящихся в области перетяжки. Захват микрообъектов в такую потенциальную яму, а также управление захваченными микрообъектами, называется *методом оптического пинцета* [2].

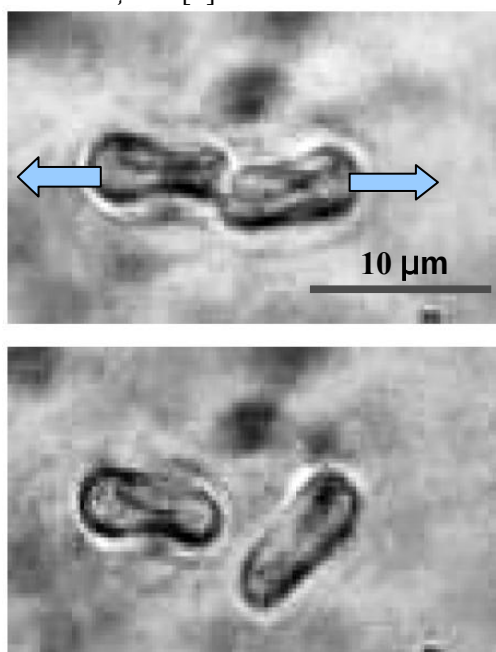


Рис. 1. Искусственная дезагрегация эритроцитов.

В работе использовалась двухлучевая модификация оптического пинцета, позволяющая захватывать два эритроцита одновременно. В ходе работы был экспериментально

реализованы захват эритроцитов, искусственная агрегация и дезагрегация (см. Рис. 1). Измерения, проведенные методом оптического пинцета, показали, что сила взаимодействия эритроцитов в агрегате составила 10-15 пН. Разработана модель взаимодействия эритроцитов в агрегате, качественно объясняющая экспериментальные зависимости. Согласно этой модели площадь соприкосновения эритроцитов в агрегате имеет кольцевидную форму.

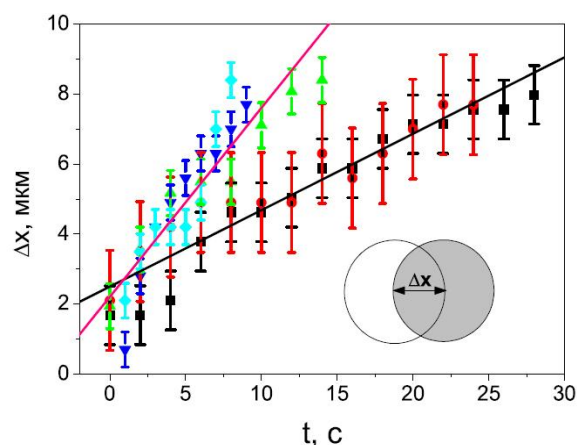


Рис. 2. Сравнение скоростей агрегации для нормы и патологии (СКВ).

Проведено сравнение образцов здоровой крови и крови больных системной красной волчанкой (СКВ). Экспериментальные результаты по скорости агрегации эритроцитов показали, что в случае патологической крови скорость агрегации в ~2 раза выше (см. рис. 2). На рис. 2 представлены результаты для 2 здоровых доноров (черные и красные точки на графике) и двух доноров, больных СКВ.

Полученные результаты хорошо воспроизводятся.

## Список литературы:

1. Bronkhorst, P. J. H. Grimbergen, J. Brakenhoff, G. J. Heethaar, J. J. Sixma, British Journal of Haematology 96, 256–258 (1997).
2. Ashkin A., Dziedzic J.M., Bjorkholm J.E., Chu S., Optics Letters 11, 288 (1986).

# АТОМНО-СИЛОВАЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННАЯ МИКРОСКОПИЯ

Е.А. Меньшиков

МГУ им. М.В. Ломоносова

*emenshikov@gmail.com*

Атомно-силовой микроскоп (АСМ) является основным инструментом для исследования нано- и микрообъектов. В связи с быстрым развитием наноиндустрии возник целый спектр задач, для которых высокоточное позиционирование зонда имеет первостепенное значение. Вместе с тем в ряде случаев такое позиционирование на нанообъекты или топологические особенности микрообъектов затруднено. Атомно-силовой интерференционный микроскоп (АСИМ) в значительной степени обеспечивает решение существующих проблем.

Атомно-силовой микроскоп позволяет получать изображения с атомным разрешением. Размер кадра обычно не превышает сотни микрон, а время получения изображения составляет от десятков секунд до нескольких минут. В то же время интерференционный микроскоп позволяет получать изображения размером в тысячи микрон за доли секунды с нанометровым разрешением по вертикали и дифракционным ограничением в плоскости образца. В результате АСМ и интерференционный микроскоп дополняют друг друга как по временным, так и по пространственным масштабам исследования.

При решении ряда нанотехнологических задач условие высокоточного позиционирования зонда имеет первостепенное значение. Для этих целей обычно используются системы видеонаблюдения на основе оптического микроскопа. Обычно оптический микроскоп ориентирован перпендикулярно к исследуемой поверхности, что в случае прозрачных объектов затрудняет получение информации о рельефе исследуемой поверхности. Точное наведение зонда микроскопа на нанообъекты или необходимую топологическую область образца (вершину, впадину или участок с заданным углом наклона) затруднено. Вместе с тем на основании получаемой интерференционной картины АСИМ позволяет легко и быстро производить позиционирование.

Одним из основных элементов любого АСМ является сканер – система перемещений образца или зонда при сканировании по трем координатам. Точность измерений в АСМ напрямую зависит от точности его перемещений.

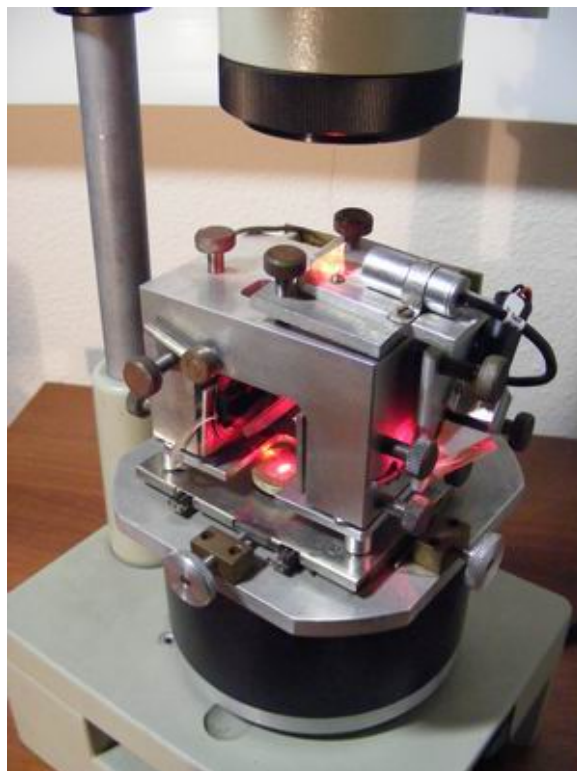


Рис. 1. Атомно-силовой интерференционный микроскоп.



Обычно сканер представляет собой пьезо-керамическую трубку, для калибровки которого используют эталоны сравнения с известными размерными параметрами. Однако даже на откалиброванном микроскопе при сканировании могут проявляться эффекты дрейфа, нелинейности и гистерезиса пьезоке-рамики. Таким образом, для высоко точных измерений необходимо проведение контроля перемещений в реальном времени. Следует отметить, что емкостные датчики, используемые для контроля перемещений, в ряде случаев могут являться дополнительным источником шумов. Однако применение современных методов обработки наблюдаемой интерференционной картины позволяет без внесения дополнительных шумов проводить калибровку сканера и контролировать величину перемещений при процессе сканирования в реальном времени.

Помимо перемещений сканера АСИМ позволяет контролировать величину изгиба кантилевера, что может быть полезно для предотвращения избыточных деформаций балки кантилевера и ее механических повреждений. Помимо этого одновременный контроль за перемещением образца и зонда микроскопа может дать информацию о возникающих в процессе сканирования деформациях исследуемого объекта.

АСИМ предназначен для проведения исследований в различных областях науки и техники: нанотехнология, биология, кристаллография, материаловедение, метрология.

Возможные направления использования АСИМ:

- контроль устройств микроэлектроники (транзисторы, микросхемы);
- решение ряда задач материаловедения (соотношение рельефа материала на микро- и наноуровне, выявление корреляции между структурой и свойствами);
- исследование бактерий и клеток животных и растений;
- изучение поверхности и процессов роста кристаллов;
- контроль процессов, происходящих на поверхности пленочных биосенсоров;
- исследование прозрачных пленок и нанообъектов;
- изучение поверхностных процессов (комплексобразование, изменение шероховатости, самоорганизация структур).

АСИМ позволяет одновременно проводить атомно-силовые и интерференционные исследования. Технические характеристики АСИМ приведены в таблице 1.

| Тип исследований<br>Характеристики         | АСМ     | ИМ        |
|--------------------------------------------|---------|-----------|
| Разрешающая способность по горизонтали, нм | 1-10    | 750       |
| Разрешающая способность по вертикали, нм   | 0.1     | 20        |
| Размер кадра, мкм x мкм                    | 10x10   | 800x600   |
| Разрешение изображений, пкс x пкс          | 512x512 | 2048x1536 |
| Скорость получения кадров, 1/сек           | 0.01    | 10        |

Табл. 1. Основные технические характеристики АСИМ.

Работа «Атомно-силовой интерференционный микроскоп» стала победителем конкурса на лучший молодежный проект в области наноиндустрии, проводимого Российской корпорацией нанотехнологий в рамках Первого ежегодного Российского молодежного инновационного конвента.



Рис. 2. Церемония награждения. На фото (слева направо) заместитель генерального директора РОСНАНО Лосюков А.П., авторы проекта Меньшиков Е.А., Яминский И.В.

# ИЗУЧЕНИЕ НАНОФИБРИЛЛ РЕКОМБИНАНТНОГО БЕЛКА ПАУТИНЫ 1F9 МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

В.В. Мусатова<sup>1</sup>, Д.В. Багров<sup>1</sup>, И.И. Агапов<sup>2</sup>,  
И.В. Яминский<sup>1</sup>, В.Г. Богуш<sup>3</sup>, К.В. Шайтан<sup>1</sup>

<sup>1</sup>МГУ им. М.В. Ломоносова,

<sup>2</sup>НИИ трансплантологии и искусственных органов,

<sup>3</sup>Государственный научный центр «ГосНИИГенетика»  
veronica.musatova@gmail.com

В последние годы белки каркасной нити паутины являются объектом интенсивных исследований. Интерес к паучьему шёлку, обусловленный особенностями механических свойств (высокий модуль Юнга и предел прочности) нити паутины, возрос при обнаружении его слабой иммуногенности и способности к биорезорбции. Эти свойства открывают широкие возможности по использованию паучьего шёлка. В медицине одной из таких возможностей является получение на основе белков паутины матриксов, которые могут применяться в качестве каркаса для получения искусственных тканей. Каркасная нить состоит из двух белков - спидроинов 1 и 2, которые имеют высокую молекулярную массу и периодическую структуру (состоят из большого числа прямых повторов). На основе природных генов белков паутины разрабатывается дизайн и синтезируются гены, кодирующие рекомбинантные аналоги спидроинов, которые используются для исследования свойств этого класса белков. Использование рекомбинантных спидроинов в будущем позволит решать проблему получения достаточных количеств белка для его применения в медицине.

Для объяснения механических свойств рекомбинантных спидроинов принципиальное значение имеет изучение строения нанофибрилл белка, наблюдавшихся различными исследователями в прядильном растворе в железе паука и в растворах этих белков *in vitro*, а также способа укладки молекул внутри нанофибриллы. В данной работе методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) исследовались нанофибриллы белка 1F9, который является рекомбинантным аналогом спидроина 1. Для растворения лиофильно высушенного белка использовался 6М гуанидин тиоцианат или раствор хлорида лития (100 мг/мл) в 90%-ной муравьиной кислоте. Эти растворители используются для экстракции белка при его получении из генномодифицированных организмов. Полученные растворы разводили дистиллированной водой

до концентраций белка 100 мкг/мл, 25 мкг/мл, 5 мкг/мл и 1 мкг/мл, затем наносили на слюду для исследования с помощью АСМ.

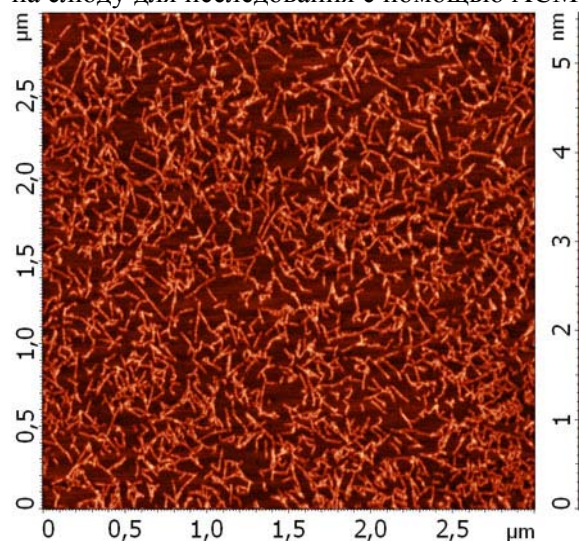


Рис. 1. Нанофибриллы рекомбинантного спидроина 1F9 на слюде (после растворения белка в смеси HCOOH/LiCl).

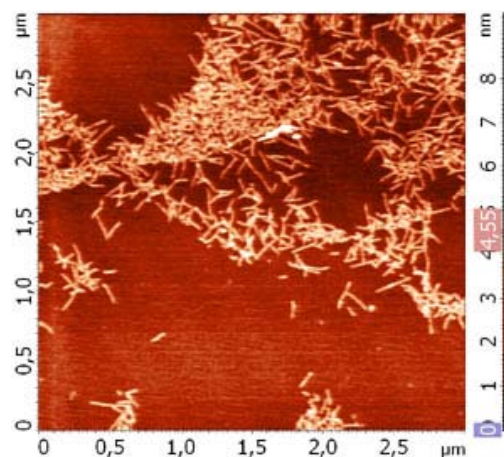


Рис. 2. Нанофибриллы рекомбинантного спидроина 1F9 на слюде (после растворения белка в гуанидине тиоцианате).

В водных растворах вне зависимости от растворителя, который использовался для растворения сухого белка, были обнаружены нанофибриллы, высота которых над уровнем подложки составила  $(2,3 \pm 0,3)$  нм (рис. 1, 2). По расчетам, на 100 нм длины такой нанофибриллы приходится 40-80 молекул белка.



Кроме того, в разбавленных растворах (с концентрацией белка 25 мкг/мл и меньше), полученных после растворения белка в  $\text{HCOOH/LiCl}$ , были обнаружены не описанные ранее в литературе структуры – длинные тонкие наночастицы высотой менее 1 нм (рис. 3, 4). Их наличие не зависит от растворителя – такие же наночастицы были обнаружены и после растворения белка в гуанидин тиоцианате. По расчетам, на 100 нм такой наночастицы приходится менее десяти молекул белка. Предположительно, они формируются непосредственно на слюде из тех молекул белка, которые присутствовали в растворе в виде глобул.

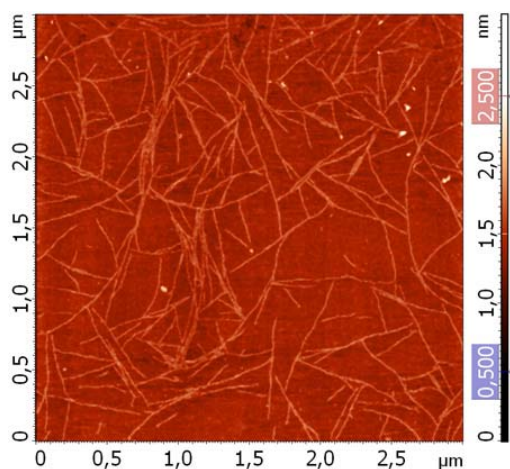


Рис. 3. Тонкие наночастицы рекомбинантного спидроина 1F9 на слюде (после растворения белка в смеси  $\text{HCOOH/LiCl}$ ).

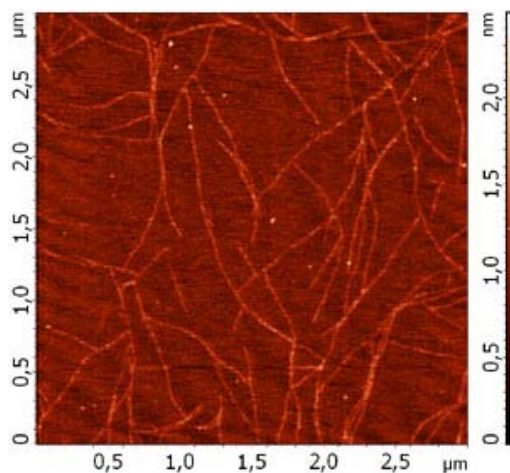


Рис. 4. Тонкие наночастицы рекомбинантного спидроина 1F9 на слюде (после растворения белка в гуанидин тиоцианате).

Были измерены размеры наночастиц обоих типов. Измерения проводились только на отдельно лежащих нитях, для того чтобы исключить измерение агрегатов нескольких нитей и их слоёв. Оказалось, что относительно толстые наночастицы более короткие. Их высота над подложкой составляет

$(2,3 \pm 0,3)$  нм, контурная длина равна  $(160 \pm 50)$  нм. Тонкие наночастицы более длинные, их высота над подложкой равна  $(0,45 \pm 0,15)$  нм, контурная длина –  $(370 \pm 140)$  нм (рис. 5 и табл. 1).

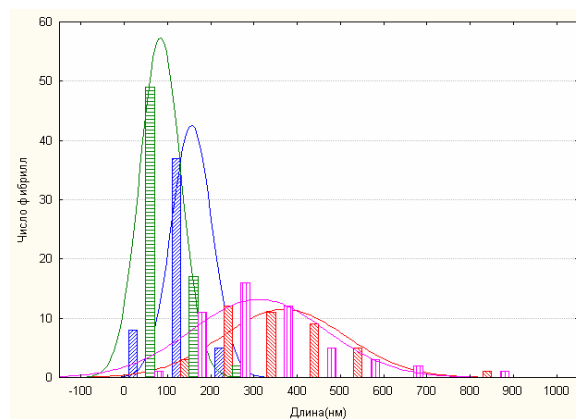


Рис. 5. Распределение наночастиц по длине. Зелёным и розовым цветами показано распределение толстых и тонких наночастиц соответственно для образцов, полученных из  $\text{HCOOH/LiCl}$ , синим и красным – для образцов из гуанидин тиоцианата.

| Растворитель        | Высота толстых наночастиц (нм) | Высота тонких наночастиц (нм) |
|---------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| $\text{HCOOH/LiCl}$ | $2,2 \pm 0,3$                  | $0,4 \pm 0,2$                 |
| Гуанидин тиоцианат  | $2,4 \pm 0,3$                  | $0,5 \pm 0,1$                 |

Табл. 1. Высота над подложкой, измеренная для двух типов наночастиц в образцах, полученных после растворения белка в двух различных растворителях.

Таким образом показано, что в препаратах 1F9, нанесенных на слюду после растворения белка в  $\text{HCOOH/LiCl}$  и гуанидин тиоцианате, содержатся наночастицы двух принципиально различных типов. Можно предположить, что более тонкие нити являются результатом сборки молекул на поверхности слюды.

Полученные в данной работе результаты позволят лучше понять природу исключительных механических свойств белков паутины, что, в свою очередь, важно для их практического применения. Также полученные данные в дальнейшем могут использоваться для построения модели укладки молекул рекомбинантного спидроина в наночастицах.

# ОСОБАЯ РОЛЬ МЕНЕДЖМЕНТА В ИННОВАЦИОННОМ ПРЕДПРИЯТИИ НА ПРИМЕРЕ ООО «АКАДЕМИЯ БИОСЕНСОРОВ»

Д.С. Мухин

ООО «Академия биосенсоров»

*muhin@biosensoracademy.com*

Середина XX века является переломным моментов в области развития технологий. В это время происходит научно техническая революция, которая затрагивает все сферы производства: энергетика, транспорт, сельское хозяйство, производство материалов.

На протяжении всей научно-технической революции в России уделяется значительное внимание развитию военных технологий. Лишь в последние несколько лет значительный интерес государство стало проявлять к гражданскому технологичному сектору. Так соотношение между государственными расходами на гражданские и военные НИОКР увеличилось с 0,888 (2005 г.) до 1,305 (2008 г.).

На этом фоне в России появляется все больше инновационных компаний, нацеленных на производство новых технологий. Особенно это проявляется во время мирового экономического кризиса, когда открывается все новые ниши на рынке.

Но, к сожалению, практика показывает, что далеко не всем предприятиям удастся достичь успеха в бизнесе, и это зачастую связано с отсутствием квалифицированного менеджмента.

В чем же заключается основная роль менеджмента и что значит это понятие?

Для того, чтобы ответить на этот вопрос достаточно посмотреть на схему (рис. 1). Любая инновационная компания, состоит из трех основных отделов. Это «Технология», «Финансы» и «Маркетинг», которые должны постоянно взаимодействовать друг с другом. Эффективный менеджмент является той необходимой базой, которая позволяет объединить основные потоки информации от трех основных отделов предприятия.

Помимо этого, в инновационном бизнесе первичными являются люди, т.к. идею воплощают в жизнь именно они. Таким образом, успешность компании зависит от того на сколько точно люди будут расставлены на места и на сколько сплоченным будет коллектив. Это есть основная задача менеджмента, которая позволяет инновационному предприятию быть гибким к изменениям окружающей среды и разрабатывать именно ту технологию, которая востребована на рынке.

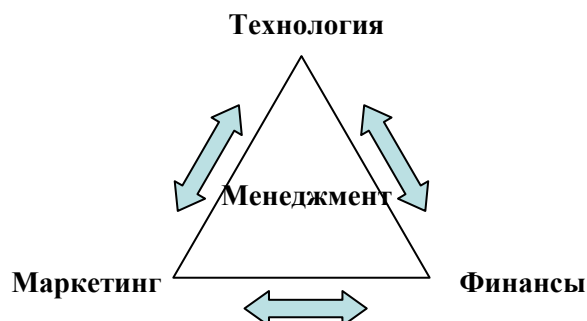


Рис. 1. Роль менеджмента в инновационной компании – обеспечение взаимодействия всех отделов.

Примером успешной компании является инновационное предприятие ООО «Академия биосенсоров», основанное в 2004 г. по программе Старт 04, разрабатывающее высокотехнологичное оборудование на базе микроракетных датчиков.

После реструктуризации в конце 2008 г. в компании было выделено три отдела «Маркетинг», «Финансы», «Технологии» и, самое главное, было налажено эффективное взаимодействие между ними (менеджмент) (см. Рис. 2).

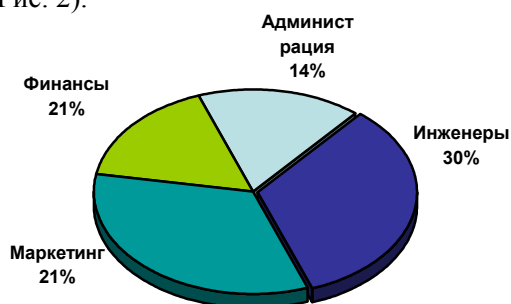


Рис. 2. Распределение ролей сотрудников в команде компании «Академия биосенсоров».

Это позволило компании в 2009 г. запустить серийное производство продукции, создать новые рабочие места, значительно увеличить продажи за 1 полугодие 2009 г. (до 3 миллионов рублей, что превышает объемы продаж за аналогичный период 2008 г. в 5 раз.)

# ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВИРУСНЫХ И ВИРУСОПОДОБНЫХ ЧАСТИЦ С ПОЛОЖИТЕЛЬНО ЗАРЯЖЕННЫМИ МАГНИТНЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ

Н.А. Никитин, М.В. Архипенко, Н.П. Родионова, О.В. Карпова

МГУ им. М.В. Ломоносова

nik.nikitin@gmail.com

В последнее время в фундаментальной и прикладной науке широкое применение находят магнитные наночастицы.

Для выяснения распределения заряда на поверхности вирусных и вирусоподобных частиц (ВПЧ) были использованы магнитные наночастицы, состоящие из водной дисперсии оксидов железа диаметром 50 нм, покрытых гидрофильным полимером с диэтиламиноэтилом в качестве положительно заряженной функциональной группы (рис. 1).

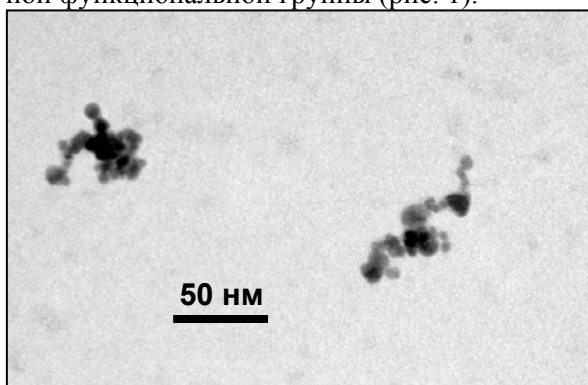


Рис. 1. Магнитные частицы с гидродинамическим диаметром 50 нм, положительно заряженные.

В работе были использованы вирусы табачной мозаики (ВТМ), Х-вирус картофеля (ХВК), а также спиральные полимеры белка оболочки (БО) ВТМ, полученные в отсутствие РНК (ВПЧ). С помощью электронной микроскопии изучали взаимодействие вирусных и вирусоподобных частиц с магнитными наночастицами.

Ранее было обнаружено, что вирусные частицы ВТМ обладают суммарным отрицательным поверхностным зарядом [1]. Показано, что магнитные наночастицы эффективно взаимодействуют с ВТМ – практически все вирионы образовывали комплексы с наночастицами (рис. 2).

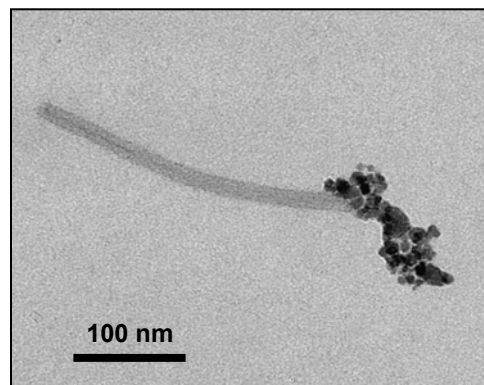


Рис. 2. Комплексы, собранные из магнитных частиц и вируса табачной мозаики.

При соотношении 4 вириона на одну магнитную частицу выявлены структуры, в составе которых к одной магнитной частице присоединялось от одной до десяти частиц ВТМ. При этом магнитная частица взаимодействует только с торцами вирионов ВТМ. Мы назвали такие частицы «паукообразными», так как в этих структурах магнитная частица напоминала тело, а частицы ВТМ лапы паука (рис. 3, 4).

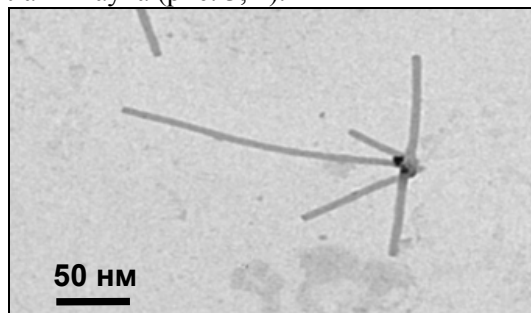


Рис. 3. Комплексы, собранные из магнитных частиц и вируса табачной мозаики.

При инкубации ВПЧ с магнитными наночастицами при том же соотношении (4:1), магнитные наночастицы связываются по всей поверхности ВПЧ, при этом многие вирусоподобные частицы ВТМ и сами магнитные наночастицы остаются свободными (рис. 5). Эксперименты проводились при различных значениях pH, в том числе, при таких, при которых структура вириона и ВПЧ практически идентичны [2].

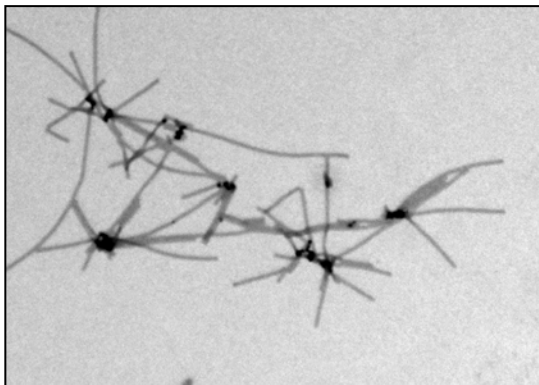


Рис. 4. Комплексы, собранные из магнитных частиц и вируса табачной мозаики.

Мы предполагаем, что локализация и эффективность взаимодействия магнитных положительно заряженных наночастиц с ВТМ связаны с плотностью упаковки РНК на торце частицы. ВПЧ ВТМ не содержит РНК, поэтому связывание с магнитными наночастицами происходит менее эффективно и по всей поверхности вирусоподобных частиц.

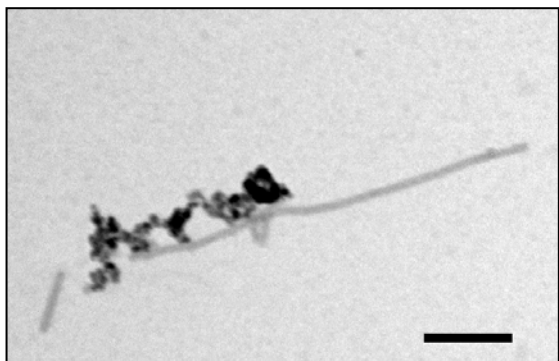


Рис. 5. Комплексы, собранные из магнитных частиц и вирусоподобных частиц ВТМ.

Результаты, аналогичные ВПЧ, были получены при изучении взаимодействия магнитных наночастиц с ХВК. Магнитные наночастицы связывались по всей поверхности вириона, а не взаимодействовали преимущественно с торцами ХВК (рис. 6).

Из полученных данных можно сделать вывод, что отрицательный заряд равномерно распределен по поверхности ВПЧ, полученной при реполимеризации БО ВТМ в отсутствие РНК и вириона ХВК и сконцентрирован в торце частицы вириона ВТМ.

Мы предполагаем, что различная эффективность взаимодействия магнитных положительно заряженных наночастиц с ВТМ и ХВК связана с различной степенью упаковки геномных РНК в торце частицы и с тем фактом, что РНК в составе ВТМ доступна для рибосом *in vitro* в отличие от инкапсидиро-

ванной РНК ХВК, которая транслируется только после дестабилизации вирусных частиц, которая может быть достигнута в результате фосфорилирования БО в составе вириона или при образовании комплекса вирион-транспортный белок [3].

Показано, что «паукообразные» комплексы (магнитные частицы – ВТМ) могут перемещаться в жидкости под воздействием магнитного поля.

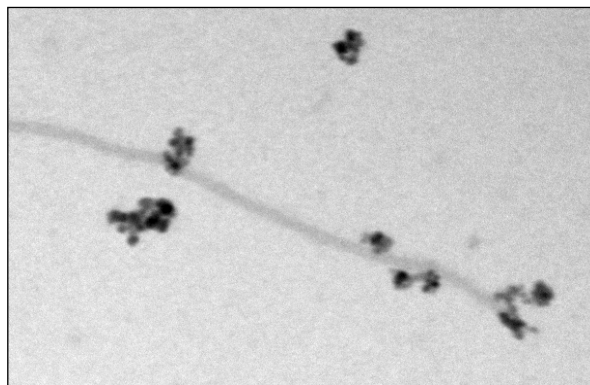


Рис. 6. Комплексы, собранные из магнитных частиц и X-вируса картофеля.

Магнитные вирусные наночастицы, связанные с биологически активными веществами (например, ферментом, нуклеиновой кислотой, антителами, антибиотиками и т.п.) могут использоваться для направленной доставки необходимых компонентов с помощью управляемого магнитного поля в клетку или ткани эукариотических организмов. Создание магнитных наноконтейнеров, управляемых магнитным полем, открывает возможности в молекулярной медицине, диагностике, и терапии заболеваний на молекулярном уровне.

#### Список литературы:

1. Caspar, D. L. D. Assembly and Stability of the Tobacco Mosaic Virus Particle. *Adv. in Protein Chemistry*, 18, 37-121 (1963).
2. Mandelkow, E., Stubbs, G. & Warren, S. Structures of the helical aggregates of tobacco mosaic virus protein. *J. Mol. Biol.*, 152, 375-386 (1981).
3. Rodionova N., Karpova O., Kozlovsky S., Zayakina O., Arkhipenko M., Atabekov J. Linear remodeling of helical virus by movement protein binding. *J. Mol. Biol.*, 333, №3, p 565-72 (2003).



# ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НАНОЧАСТИЦ МАГНЕТИТА С БИОЛОГИЧЕСКИМИ КЛЕТКАМИ. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДАМИ СКАНИРУЮЩЕЙ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ

Е.В. Николаева, Е.И. Шишкин, В.Я. Шур

*Уральский государственный университет им. А.М. Горького,  
Уральский центр коллективного пользования «Современные нанотехнологии»,  
Уральский центр коллективного пользования «Сканирующая зондовая микроскопия»,  
ekaterina.nikolaeva@usu.ru*

Стремительное развитие нанотехнологий в последнее десятилетие ведет, несомненно, к широкому использованию наноматериалов и изделий на их основе в повседневной жизни. При этом вопрос безопасности продукции nanoиндустрии для окружающей среды и человека выходит на первый план. Исследование взаимодействия нанообъектов, в частности наночастиц, с биологическими клетками является одной из основных задач новой дисциплины нанотоксикологии.

В работе, на примере наночастиц магнетита  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , представлены возможности сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ) для визуализации наночастиц, осажденных на поверхность подложки, а так же бактериальных клеток *Escherichia coli* (*E. coli*) до и после их взаимодействия с наночастицами. Использование полуконтактной методики атомно-силовой микроскопии (пк-АСМ) в режиме отображения фазового контраста позволило визуализировать отдельные частицы-мономеры в агломератах наночастиц магнетита, осевших на поверхность слюды (рис. 1).

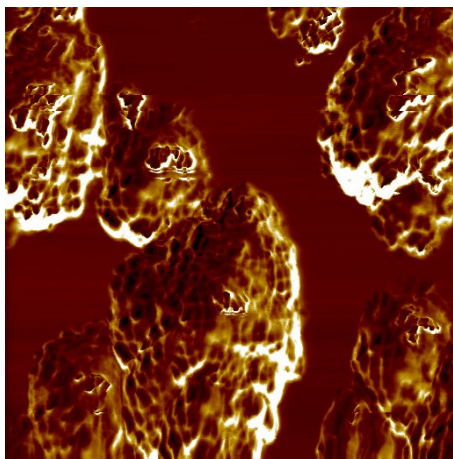


Рис. 1. Агломераты наночастиц магнетита  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  на поверхности слюды. Визуализация в режиме пак-АСМ с отображением фазового контраста. Размер изображения  $1 \times 1 \text{ мкм}^2$ .

Методика пак-АСМ использовалась и для исследования морфологических изменений бактерий *E. coli* после их взаимодействия с наночастицами (рис. 2). У бактерий, выращенных в среде с наночастицами, было отмечено существенное увеличение шероховатости поверхности клеточной стенки, а также значительное уменьшение количества пилей и флагелл.

Визуализация наночастиц магнетита на поверхности *E. coli* проводилась с использованием широкого арсенала СЗМ методик. Нетопографический контраст наночастиц удавалось наблюдать при отображении фазового контраста при работе в пак-АСМ, а также в режиме магнитной силовой микроскопии.

Коллектив авторов благодарит Общество с ограниченной ответственностью «Научно-производственное внедренческое предприятие «ИВА» (Екатеринбург) за предоставленные образцы наночастиц магнетита и бактерий *E. coli*.

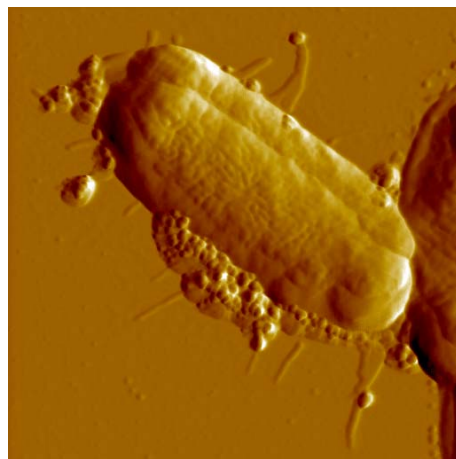


Рис. 2. *Escherichia coli* на поверхности слюды после инкубации с наночастицами магнетита  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Визуализация в режиме пак-АСМ. Размер изображения  $3 \times 3 \text{ мкм}^2$ .



# ИЗУЧЕНИЕ ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТРУКТУР ОЛИГООЛИЦИНА НА ГРАФИТЕ МЕТОДОМ АСМ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

В.В. Прохоров, Д.В. Клинов, А.А. Чинарев, А.Б. Тузиков, Н.В. Бовин  
Институт биоорганической химии им. М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН

Методом АСМ высокого разрешения изучена адсорбция гексаглицин-амин (ГГА) на поверхность высоко-ориентированного пиролитического графита и слюды из водных растворов в широком диапазоне концентраций. На поверхности графита обнаружены отчетливо выраженные эпитаксиальные ламеллярные структуры двух типов (Рис. 1), различающиеся морфологически и по направлениям роста: гексагональные розетки направлений роста для ламелей каждого типа сдвинуты относительно друг друга на  $30^\circ$ . Ламели первого типа (L1) плотно упакованы с периодом  $\sim 5$  нм, равным двойной длине молекулы ГГА, и образуют домены, морфологически схожие с доменами алканов. Ламели второго типа (L2) трансляционно и ориентационно менее упорядочены. Они одиночны или образуют полосы, в которых плотно упакованы с периодом 2,5 нм. Проведено молекулярное моделирование и классификация возможных олигопептидных упаковок на графите, с нормальным и под углом расположением молекул к боковым сторонам ламелей. Отобраны энергетически предпочтительные структуры для их соотнесения с экспериментальными данными и предложены структурные модели L1 и L2 ламелей как, соответственно, двойных параллельных и одинарных антипараллельных  $\beta$ -листов с нормальной упаковкой и различной молекулярной ориентацией относительно решетки графита – вдоль направлений графита  $\langle 11\bar{2}0 \rangle$  and  $\langle 10\bar{1}0 \rangle$ .

Наблюдения впервые демонстрируют, что эпитаксиальная самосборка высоко-упорядоченных ламеллярных монослоев, подобных хорошо изученным при адсорбции на графит гидрофобных алканов, возможна и для гидрофильных олигопептидов. Кроме того, полученные данные свидетельствуют о возможности существования многочисленных типов двумерных эпитаксиальных монослойных покрытий поверхности графита олиго- и полипептидами.

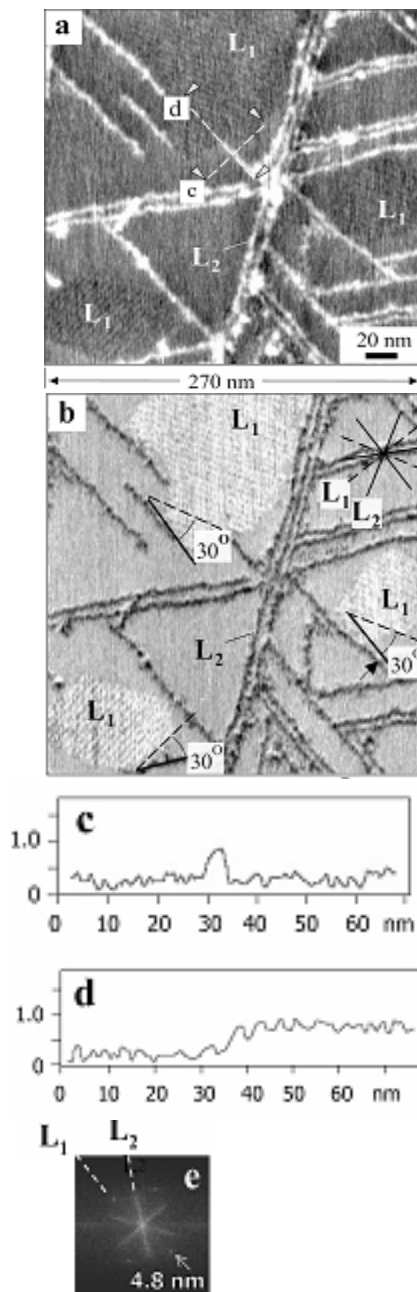


Рис.1 Топографическое (а) и фазовое (б) АСМ изображения двух типов (L1 и L2) ламелей гексаглицина на пиролитическом графите. Направления роста ламелей L1 и L2, показанных соответственно пунктирными и сплошными линиями на рис.2б, собраны в две розетки в верхнем правом углу рисунка. (с,д) Сечения вдоль пунктирных линий с,д на рис. 2а.(е) Фурье-образ изображения на рис.2б.

# ИММУНОХИМИЧЕСКИЕ И ЦИТОТОКСИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВИСКУМИНА, ИНКАПСУЛИРОВАННОГО В ПОЛИЛАКТИДНУЮ МАТРИЦУ С ПОМОЩЬЮ СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

А.А. Рамонова, Ш.Ю. Хапчаев

Биологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова  
lalula@yandex.ru

Вискумин (*Mistletoe lectin* или MLI) – токсин, содержащийся в экстрактах из листьев растения *Viscum album L.* (Омела Белая). Данный токсин относится к группе рибосом-инактивирующих белков II типа (РИБ II). Особый интерес к вискумину и родственным ему белкам (РИБ II) вызван возможностью создавать на их основе препараты для терапии аутоиммунных и онкологических заболеваний. Вискумин состоит из А- и В-субъединиц, связанных дисульфидной связью [1,2]. Молекулярная масса вискумина 60 кДа. Данные экстракты уже более двадцати лет используют при терапии онкологических заболеваний, а также в качестве иммуномодулирующих препаратов [3,4]. В качестве биологически-активного агента могут использоваться и очищенные белки. Использование инкапсулированного вискумина может быть более эффективным вследствие пролонгированного выхода из матрицы и длительного действия токсина на опухолевые клетки. В качестве матрицы был использован полилактид – полимер гомологического ряда алифатических полиэфигов. Биодegradация полимерной микрочастицы (или матрицы) приводит к постепенному высвобождению лекарственного препарата. Однако получение инкапсулированных в полимерные матрицы биоактивных веществ традиционными методами (использование органических растворителей, либо высоких температур) может приводить к снижению активности лекарственных препаратов или даже к изменению их свойств. Поэтому для включения белков в полимерную матрицу был использован метод «сухой» сверхкритической флюидной инкапсуляции.

Нами были изучены физико-химические и биологические свойства вискумина, включенного в биорезорбируемую полилактидную матрицу таким методом. Полилактидная матрица с инкорпорированным вискумином представляет собой порошок, состоящий из пористых микрочастиц разного размера (от 50 до 200 мкм). Для определения размеров гранул и пор использовали метод конфокаль-

ной лазерной сканирующей микроскопии. Для этого порошок полилактида, конъюгировали с флуорохромом ФИТЦ. После чего анализировали на конфокальном лазерном сканирующем микроскопе (Axiovert 200M 510 Meta, Zeiss, Германия). Для получения изображений использовали объектив Plan-Neofluar 40x/1,3 Oil Dic и настройки, рекомендованные производителем: аргонный лазер 488 нм; широкополосный анализирующий фильтр с пропусканием более 505 нм. Анализ проводили, используя программное обеспечение Zeiss LSM 510Meta Software release 3.2 и ImageJ 1.39q. Коэффициент пористости составил 22,5 %.

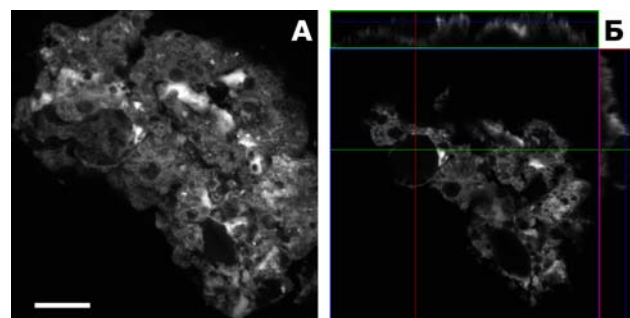


Рис. 1. Конфокальные изображения, отражающие структуру полилактидной матрицы. А – проекция всех срезов на плоскость (all-max), Б – ортогональная проекция. Линейка – 20 мкм.

Было проведено исследование кинетики выхода вискумина из полилактидной матрицы. В качестве контролей были взяты растворы:

1. чистого полилактида,
2. лиофилизованного вискумина и
3. вискумина, не подвергнувшегося лиофилизации.

Количество вискумина, высвободившегося при деградации полилактида, определяли с помощью тест-системы на основе моноклональных антител MNA4 и MNA9-bi. Результаты твердофазного иммуноферментного анализа говорят о том, что через 120 часов высвободилось 6,75 % от первоначально инкапсулированного токсина.

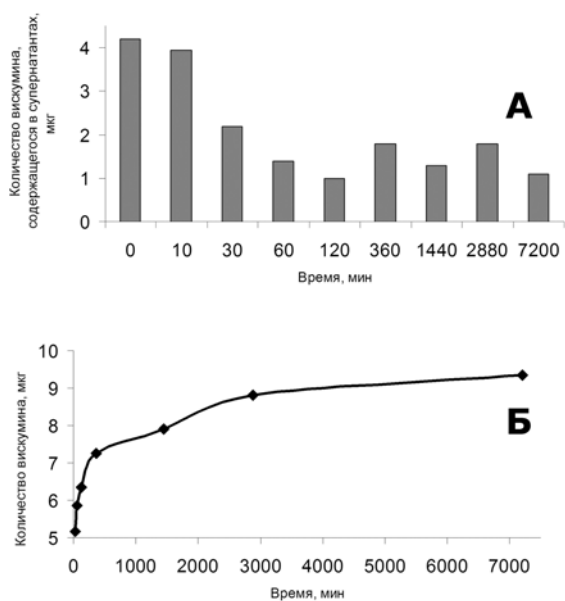


Рис. 2. Кинетика выхода вискумина из полилактидной матрицы. А – суммарное количество вискумина в анализируемых супернатантах, Б – количество вискумина, выделившееся из полилактидной матрицы в течение времени.

При создании препаратов на основе полилактидных микрокапсул важно сохранение биологически-активных свойств инкапсулированных лекарственных веществ. Широко известным и доступным для анализа свойством вискумина является его цитотоксическая активность [5,6]. Сохранение вискумином своих цитотоксических свойств анализировали с помощью методики МТТ-теста по методике, описанной ранее [7]. Тест основан на способности дегидрогеназ живых клеток восстанавливать бледно-желтый водорастворимый 3-(4,5,-диметилтиозолил-2-ил)-2,5-дифенилтетразолий бромид (МТТ) до формазана (голубые кристаллы, нерастворимые в воде). Количество образованного формазана прямо пропорционально числу живых клеток.

Оценка цитотоксических свойств вискумина после его выхода из полилактидной матрицы показала, что цитотоксическая активность вискумина, выявленного в анализируемых образцах, остается практически такой же как у токсина, не подвергавшегося дополнительной обработке.

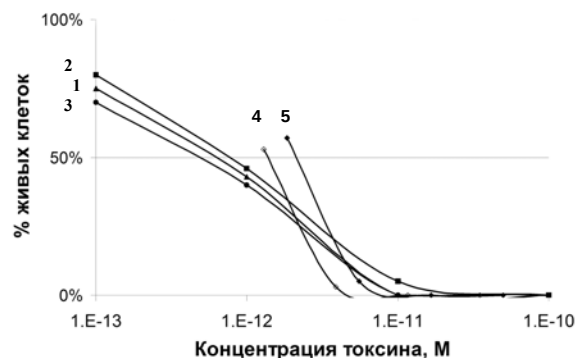


Рис. 3. Цитотоксическая активность вискумина и контрольных растворов. 1 – предварительно лиофилизированный вискумин; 2 – вискумин, не подвергавшийся лиофилизации; 3 – вискумин, хранившийся при +4°C. Цитотоксическая активность супернатантов, содержащих вискумин. 4 – образец, содержащий неинкапсулированный вискумин; 5 – супернатант, полученный через 48 часов инкубации.

Таким образом, инкапсуляция вискумина в полилактидную матрицу практически не повлияла на его свойства. Использование вискумина в качестве цитотоксического агента, икапсулированного в полилактидную матрицу, является достаточно перспективным. В чистом виде вискумин уже используется в качестве лекарственного средства при терапии опухолей. Использование инкапсулированного токсина может быть более эффективно, вследствие постепенного высвобождения малых количеств цитотоксического агента, воздействующих на опухолевые клетки.

#### Список литературы:

- Barbieri, L., Battelli, M.G., Stirpe, F., *Biochim.Biophys.Acta*, V. 1154, P. 237-282 (1993).
- Niwa, H., Tonevitsky, A.G., Agapov, I.I. *Eur.J.Biochem*, V. 270, P. 2739-2749 (2003).
- van Wely, M., Stoss, M., Gorter, R.W., *Am.J.Ther*, V. 6, P. 37-43 (1999).
- Park, R., Kim, M.S., So, H.S. et. al., *Biochem.Pharmacol*, V. 60, P. 1685-1691(2000)
- Knopf-Sidler, F., Viviani, A., Rist, L. et. al., *Pharmazie*, V. 60, P. 448-454 (2005).
- Urech, K., Buessing, A., Thalmann, G. et al., *Anticancer Res.*, V. 26, P. 3049-3055. (2006)
- Темяков, Д.Е., Агапов, И.И., Мойсенович, М.М. и др. Молекулярная биология, Т. 31, С. 536-541 (1997).

# ПРИМЕНЕНИЕ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ СРЕЗОВ ТКАНЕЙ

А.С. Роскошная, Д.В. Багров, Г.Е. Онищенко, К.В. Шайтан

МГУ им. М.В. Ломоносова

annarosk@gmail.com

Считается, что атомно-силовая микроскопия (АСМ) позволяет исследовать поверхность образца, но не его внутреннюю структуру, поскольку игла кантилевера не проникает в объем исследуемого объекта. В данной работе описан метод, позволяющий визуализировать внутреннюю структуру клеток и тканей, и получать изображения субклеточных структур, которые обычно получаются методами просвечивающей электронной (ПЭМ) и оптической микроскопии.

Было показано, что методика приготовления образцов для просвечивающей электронной микроскопии (фиксация без использования солей тяжелых металлов, обезвоживание, иммобилизация в эпоксидной смоле) может быть адаптирована для АСМ [1-2]. Поверхность эпоксидного блока срезается алмазным ножом на ультрамикротоме, при этом на поверхности блока остаются неровности, повторяющие структурные неоднородности иммобилизованного в блоке биологического образца. Взаимодействие кантилевера с каждой конкретной структурой зависит от жесткости и адгезии на ее поверхности. Разные объекты имеют разную жесткость и адгезию, что также вносит свой вклад в контраст получаемого изображения. В отличие от ПЭМ, исследуется не ультратонкий срез, а поверхность блока.

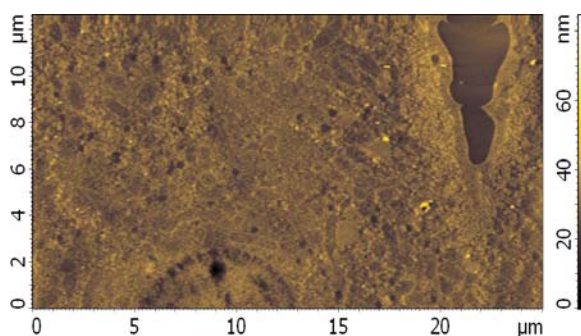


Рис. 1. Поверхность эпоксидного блока, препарат печени мыши.

В данной работе были получены изображения растительных и животных образцов; показано, что сканирование может осуществляться и в контактном, и в полуконтактном режиме. На рисунке 1 представлено изображение ткани печени мыши, зафиксированной в блоке эпоксидной смолы. На изображении

видна структура гепатоцита – фрагмент ядра и цитоплазмы, также видны митохондрии, лизосомы и вакуоли, справа вверху виден капилляр. На рисунке 2 представлено изображение меристемы корешка риса, на нем хорошо видны клеточные стенки, границы и ядрышки клеток.

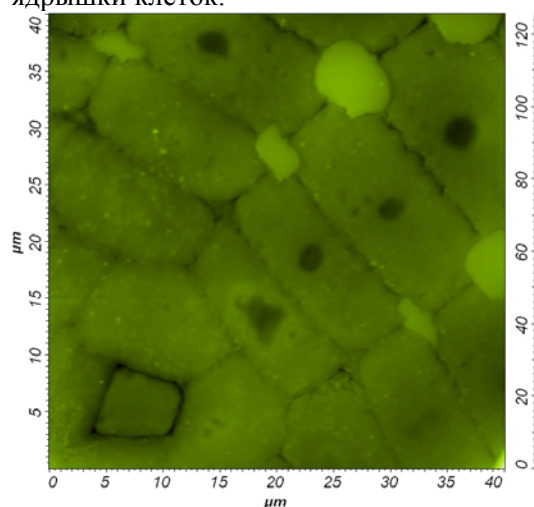


Рис. 2. Поверхность эпоксидного блока, препарат меристемы корешка риса. (Эпоксидный блок корешка риса любезно предоставлен Е.А.Смирновой и Е.М.Лазаревой.)

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что наиболее заметными объектами являются хроматин ядер и ядрышки: на топографических изображениях они выглядят как углубления до 100 нм на фоне относительно гладкой цитоплазмы. Приведенные изображения показывают, что, при сканировании поверхности блоков эпоксидной смолы с фрагментами фиксированной в них ткани, удастся получать изображения, которые по качеству сопоставимы с изображениями, получаемыми на этих же образцах на просвечивающем электронном микроскопе без контрастирования образца тяжелыми металлами.

## Список литературы:

1. N.B. Matsko, Ultramicroscopy, 107, 95–105 (2007)
2. A. Efimov, A.G. Tonevitsky, M. Dittrich, N.B. Matsko, Journal of Microscopy, 226, 207–217 (2007)



# ШИРОКОПОЛОСНАЯ ФОКУСИРОВАННАЯ МНОГОЭЛЕМЕНТНАЯ АНТЕННА ДЛЯ ОПТИКО-АКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

В.А. Симонова, А.А. Карабутов, Е.В. Саватеева, В.Я. Панченко

*Институт проблем лазерных и информационных технологий  
при Российской Академии Наук, г. Шатура, Московская область  
varvara.simonova@gmail.com*

Лазерная оптико-акустическая (ОА) томография является новым перспективным методом диагностики биологических объектов [1]. В настоящее время ОА томография развивается в направлении совершенствования систем регистрации сигналов, полученных с помощью многоэлементных антенн.

Важным параметром, характеризующим полученное изображение, является его разрешение по трем направлениям. Этот параметр является определяющим при выборе многоэлементной антенны для конкретной задачи биологической диагностики.

При диагностике *in vivo* часто предпочтительным оказывается получение двумерных изображений, так как при этом сбор данных и их обработка может осуществляться в режиме реального времени [2]. Двумерное изображение представляет собой сечение распределения тепловых источников плоскостью изображения. Пространственное разрешение в направлении, перпендикулярном плоскости изображения, определяется конструкцией антенной решетки. Во всех предложенных до последнего времени конструкциях пространственное разрешение в этом направлении было основным фактором, снижающим качество получаемого изображения [3]. Данная проблема решается путем использования решетки из фокусируемых приемников [4, 5, 6, 7, 8].



Рис. 1. Схема расположения элементов в антенне.

На настоящий момент полной методики расчета параметров многоэлементной фокусирующей антенны с заданными значениями пространственных разрешений изображения не существует. Для создания антенны с заданными параметрами получаемого изображения необходимо знать связь параметров многоэлементной антенны с задаваемыми разрешениями.

В настоящей работе предлагается методика расчета характеристик и геометрических параметров широкополосной многоэлементной антенны с высоким пространственным разрешением для задач ОА томографии.

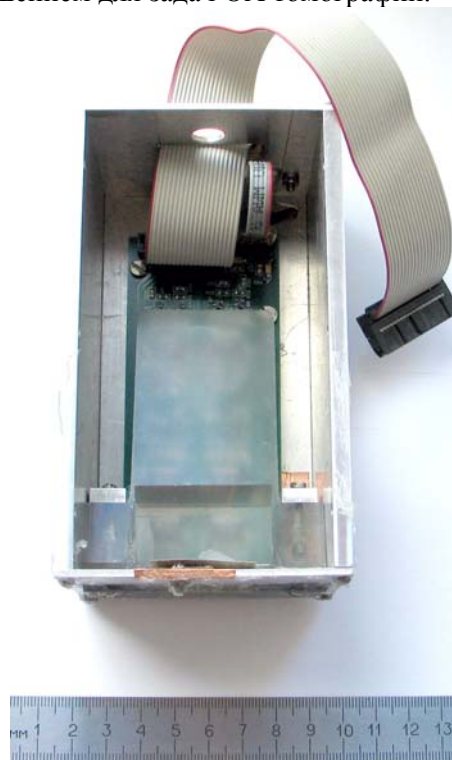


Рис. 2. Фотография прототипа разработанной антенны для ОА и ЛУ томографии.

По предложенной методике сконструирован прототип антенны (рис. 1, 2) с заданными значениями пространственных разрешений для задач томографии биологических объектов (томографии рака груди на ранней стадии) ( $\Delta x = 0.1$  мм,  $\Delta y = 0.5$  мм,  $\Delta z = 1.6$  мм).

Необходимо отметить, что реализованная в прототипе схема расположения элементов

антенны (рис. 1) позволяет использовать эту антенну не только для ОА томографии, но и для лазерной ультразвуковой (ЛУ) томографии одновременно.

Лазерная ультразвуковая томография предполагает генерацию звука лазерным импульсом, поглощаемым в тонком поверхностном слое исследуемой среды (или специальном оптико-акустическом генераторе), распространение ультразвукового импульса в исследуемой среде и регистрацию прошедшего или рассеянного ультразвукового сигнала с высоким временным разрешением [9, 10]. Метод обеспечивает эффективное возбуждение в широком спектральном диапазоне от единиц до десятков мегагерц.

Изображение, полученное с помощью лазерной ультразвуковой части антенны, будет обладать меньшим оптическим контрастом, определяемым коэффициентом отражения ультразвука и соотношением акустических импедансов между различными типами биоткани.

С другой стороны лазерная ультразвуковая часть антенны позволяет получать в несколько раз лучшие разрешения изображений, нежели оптико-акустическая часть.

Таким образом, прототип созданной антенны сочетает в себе преимущества обоих методов. Он позволяет получать более полную картину неоднородностей исследуемого биологического объекта с высоким пространственным разрешением в спектральном диапазоне от единиц до десятков мегагерц.

Прототип антенны представляет собой набор из 8 линейных пленочных (ПВДФ) пьезоприемников, расположенных на плоскости, и акустической линзы с цилиндрической фокусировкой (рис. 1,2).

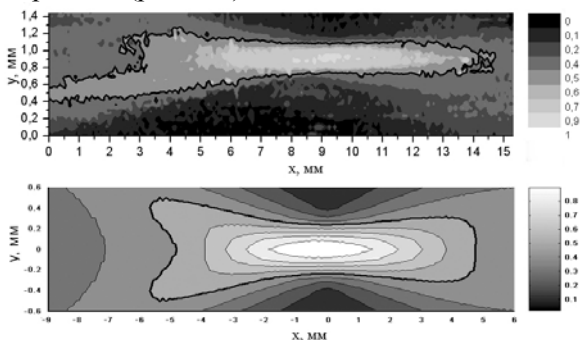


Рис. 3. Экспериментально измеренная (верхняя) и численно полученная (нижняя) карты фокальной области отдельного приёмника 8-канальной антенны, ось  $X$  направлена от приёмника.

Для сконструированной антенны проведены численные и экспериментальные измере-

ния карты фокальной области отдельного приемника антенны и функции передачи точки антенны. Карта фокальной области многоэлементной антенны представляет собой зависимость амплитуды ОА сигнала от точечного источника на отдельном приемнике от координаты этого источника в плоскости  $XY$  (рис. 3). Функция передачи точки антенны представляет собой восстановленное с помощью метода обратных проекций изображение точечного источника, расположенного в фокусе антенны (рис. 4).

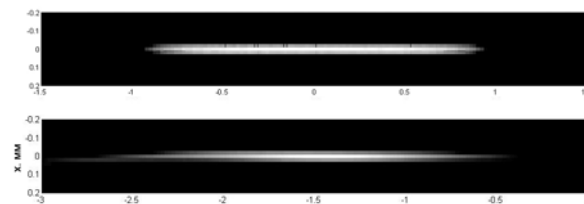


Рис. 4. Численно рассчитанная (верхняя) и экспериментально измеренная (нижняя) функции передачи точечного источника 8-канальной антенной.

Пространственные разрешения антенны, полученные экспериментально, хорошо соответствуют расчетным значениям.

#### Список литературы:

1. Гусев В.Е., Карабутов А.А., Лазерная оптоакустика, Москва, Наука, 1991.
2. Kruger R.A., Kiser W.L., Romilly A.P., Schmidt P., Proc. SPIE, vol. 4256, p. 1–5 (2001).
3. Andreev V.G., Karabutov A.A., Solomatin S.V., Savateeva E.V., Aleynikov V.L., Zhylyna Y.V., Fleming R.D., Oraevsky A.A., Proc. SPIE, vol. 3916, p. 36–47 (2003).
4. Oraevsky A.A., Karabutov A.A., Solomatin S.V., Savateeva E.V., Andreev V.G., Gatalica Z., Singh H., Fleming R.D., Proc. SPIE, vol. 4256, p. 6 (2001).
5. Oraevsky A.A., Karabutov A.A., Proc. SPIE, vol. 3916, p. 1 (2000).
6. Жаринов А.Н., Карабутов А.А., Кожушко В.В., Пеливанов И.М., Соломатин В.С., Хохлова Т.Д., Акустический журнал, т. 49, № 6, с. 799 (2003).
7. Ermilov S., Conjusteau A., Mehta K., Lacewell R., Henrichs P.M., Oraevsky A.A., Proc. SPIE, vol. 6086, p. 1–12 (2006).
8. Khokhlova T.D., Pelivanov I.M., Karabutov E.A.A., Appl. Phys. Lett., vol. 92, p. 1–3 (2008).
9. Буров В.А., Сергеев С.Н., Румянцева О.Д., Биомедицинская радиоэлектроника, т. 3, с. 61–66 (2000).
10. Kremkau F.W., Diagnostic Ultrasound. Principles and Instruments (sixth edition), W.B. Saunders Company, 2002.

# НОВЫЙ МЕТОД НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЯ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

О.В. Синицына<sup>1,2</sup>, И.В. Яминский<sup>1,3</sup>, Г.Б. Мешков<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Центр перспективных технологий

<sup>2</sup>Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова

<sup>3</sup>Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова

*sinitsyna@gmail.com*

Тонкие пленки графита, графен, углеродные нанотрубки рассматриваются как перспективные материалы для создания устройств нанoeлектроники и высокочувствительных сенсорных систем. Для развития углеродной электроники необходимо разработать методы наноструктурирования углеродных материалов. Графит может рассматриваться как модельный материал с  $sp^2$ -гибридизацией для исследования процессов, протекающих при модификации углеродных слоев.

Настоящая работа посвящена исследованию механизмов электрохимического окисления графита с помощью зондов сканирующего туннельного и атомно-силового микроскопов. Работа выполнена на сканирующем зондовом микроскопе «ФемтоСкан» с использованием программного обеспечения «ФемтоСкан Онлайн» (ООО НПП «Центр перспективных технологий», Россия). Литография выполнялась с помощью Pt/Ir игл и кантилеверов  $\mu\text{C11}$  с золотым покрытием (НИИФП им. Ф.В. Лукина). Модификации подвергалась свежесколотая поверхность высокоориентированного пиролитического графита (ООО «Атомграф-кристалл»).

Известно, что при напряжении более 2 В между поверхностью графита и зондом, являющимся катодом, происходит окисление графита с образованием полостей [1]. Однако в работе [2] сообщается, что при низкой относительной влажности и напряжении выше 3,5 В вместо полостей происходит образование выпуклых дорожек.

В настоящей работе показано, что при использовании специально подготовленных зондов [3] возможно проведение окисления графита с образованием только выпуклых областей. Процесс окисления графита начинается, когда напряжение между зондом и образцом превышает пороговое значения. Скорость окисления монотонно возрастает при увеличении напряжения и концентрации водяных паров в атмосфере. Окисленные области характеризуются высоким коэффициентом трения и низкой электропроводностью. Мы предполагаем, что выпуклые уча-

стки на поверхности графита, возникающие в процессе окисления, обладают структурой оксида графита.

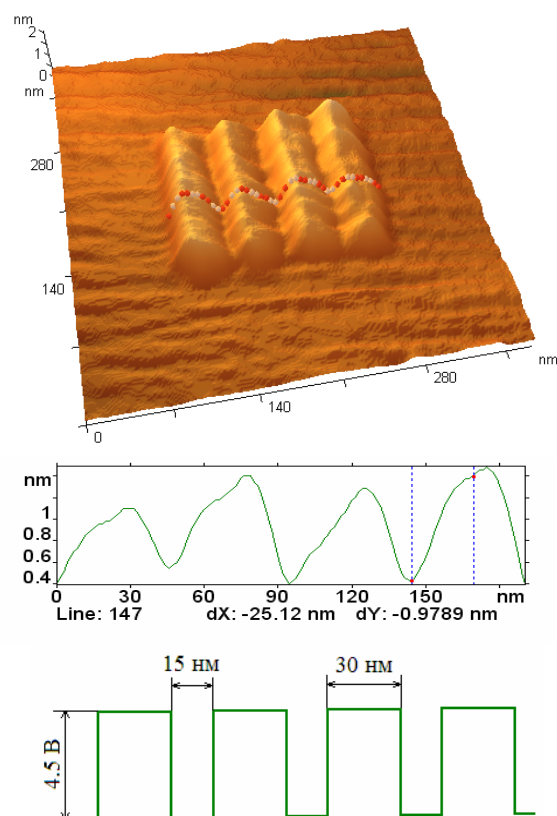


Рис. 1. Формирование электропроводящих каналов, ограниченных областями оксида графита на поверхности графита. Сверху - вниз: топографическое изображение полученной методом локального анодного окисления структуры; профиль поверхности; профиль маски, использованной для литографии.

Список литературы:

1. Hiura H., Applied Surface Science, 222, 374-381 (2004).
2. Неволин В.К., Зондовые нанотехнологии в электронике, М.: Техносфера, 2006, 152-154.
3. Мешков Г.Б., Синицына О.В., Яминский И.В., заявка № 2009106849 на патент РФ на изобретение.

# ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МИКРОЧАСТИЦЫ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ

И.В. Соболева, З.М. Томова, А.А. Федянин  
*Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова*  
*soboleva@nanolab.phys.msu.ru*

В последние годы технология изготовления частиц диоксида кремния, предложенная впервые в работе [1], получила широкое применение. Кварцевые микрочастицы используются, например, при проведении биологических исследований (осаждение и перенос нуклеиновых кислот, доставка лекарств, иммуноанализ и т.д.), в микро- и нанoeлектронике (для создания двумерных и трехмерных полупроводниковых микро-структур). Покрытие частиц функциональными (магнитными и плазмон-активными материалами) позволяет использовать такие частицы в качестве основы для микроскопии, а при использовании их в оптическом пинцете появляется возможность исследовать свойства биологических объектов *in vivo* на микроуровне. В данной работе предложено использовать для функционализации микрочастиц метод послойного осаждения [2] наночастиц магнетита и золота, также использовать многослойное покрытие с чередованием золота и магнетита.

В основе метода послойного осаждения лежит осаждение за счет сил электростатического притяжения частиц, обладающих поверхностным зарядом разного знака. Однако микрочастицы кварца, золота и магнетита в общем случае обладают отрицательным поверхностным зарядом. Для осаждения необходимо добиться заряда разного знака. Достичь этого можно, используя модификацию поверхности микро- и наночастиц полиэлектролитами. При этом величина получаемого на поверхности частицы заряда пропорциональна количеству молекул полиэлектролита, осажденного на частицу. Прямым методом контроля изменения величины поверхностного заряда частицы является измерение ее дзета-потенциала до и после осаждения полиэлектролита. В данной работе получены водные суспензии кварцевых микрочастиц контролируемого среднего размера, золи золота. Получены водные суспензии микрочастиц, покрытых полиэлектролитами, исследована зависимость толщины слоя полиэлектролита, изменения поверхностного заряда микрочастицы и стабильности суспензии от параметров изготовления и концентраций микрочастиц и полиэлектролитов. Получены функциональ-

ные микрочастицы, покрытые наночастицами золота.

Для синтеза сфер диоксида кремния использовался метод Штобера [1] при соотношении объемов  $\text{Si}(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})_4$ :  $\text{NH}_3$ :  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ :  $\text{H}_2\text{O}$  2.9: 0.3: 37: 10. Характеризация полученных микрочастиц проводилась методом динамического светорассеяния, АСМ и СЭМ-микроскопии. Модификация поверхности кварцевых микросфер проводилась с использованием водного раствора аминопропилтриметоксисилана (APTMS). После завершения синтеза кварцевых микросфер в суспензию добавлялся APTMS в количестве 50  $\mu\text{л}$  на 50 мл исходной суспензии. Степень осаждения полиэлектролита контролировалась с помощью измерения дзета-потенциала частиц методом динамического светорассеяния. Осаждением APTMS на поверхность кварцевых микросфер удалось добиться изменения дзета-потенциала микросфер с -34 мВ (чистая поверхность) до +10 мВ (поверхность, модифицированная APTMS). Исследования дзета-потенциала золотого золя показали широкий разброс значений в диапазоне от -70 мВ до -20 мВ, что означает наличие большого количества примесей на поверхности золотых наночастиц. Для получения однородного поверхностного заряда использовалась модификация поверхности золота поливинилпирролидоном (PVP). После модификации поверхности получен устойчивый дзета-потенциал наночастиц величиной -9,4 мВ. Функционализация частиц диоксида кремния проводилась методом послойного осаждения [3] модифицированных наночастиц золота. Полученные функциональные микрочастицы охарактеризованы методами динамического светорассеяния и АСМ-микроскопии.

Список литературы:

1. W. Strober, A. Fink, E. Bohn, J. Coll. Int. Sci., 26, 62 (1968).
2. Y. Zhua, H. Daa, X. Yang, Y. Hu, Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects, 231, 123 (2003).
3. C. Graf, S. Dembski, A. Hofmann, E. Ruhl, Langmuir 22, 5604 (2006).



# ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА САМОСБОРКИ ВИРУСНЫХ ЧАСТИЦ ПРИ ПОМОЩИ АСМ

А.Д. Сушко<sup>1</sup>, Н.А. Никитин<sup>2</sup>, В.М. Полозов<sup>2</sup>,  
М.В. Архипенко<sup>2</sup>, О.В. Карпова<sup>2</sup>, И.В. Яминский<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Центр перспективных технологий

<sup>2</sup>Биологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова

<sup>3</sup>Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова  
ann.sushko@gmail.com

Достаточно давно известно, что многие растительные вирусы способны к самосборке и могут быть в определенных условиях реконструированы *in vitro* с использованием низкомолекулярного препарата белка оболочки (БО) и собственной нуклеиновой кислоты вируса.

Нам удалось подробно исследовать строение и свойства гомологических комплексов (комплексов, для образования которых использован белок и НК одного и того же вируса) и гетерологических комплексов с чужеродной РНК, а так же показать, что возможно сборка комплексов на основе животной РНК и на основе ДНК.

В работе исследовали гомологичный комплекс РНК ХВК и БО ХВК; гетерологичные комплексы РНК ВТМ, ВМН (вирус мозаики нарцисса), ВАМК (вирус аукубы мозаики картофеля) и вируса Менго с БО ХВК; гетерологичные комплексы линейной двуцепочечной ДНК с БО ХВК. В качестве ДНК использовали случайно фрагменты двуцепочечной кДНК Х-вируса картофеля различной длины: от 500 до 5000 пар оснований.

Кроме того, была исследована возможность самосборки вирусных частиц с использованием белка оболочки вируса Альтернатеры ВМАльт.

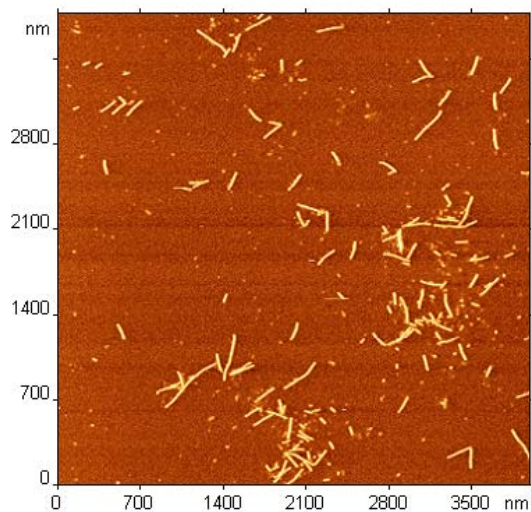


Рис. 1. Гетерологичные РНП.

Ранее было показано [1], что при инкубации БО ХВК с гомологичной РНК ХВК образуются вирусоподобные частицы, палочки различной длины: от 30 - 40 нм до 350 - 400 нм. Средняя длина частиц составляет 200 нм, а высота 9-11 нм. Такая высота характерна и для АСМ натурального вируса ХВК, в то время как длина нативного вируса значительно больше.

Частицы, которые образуются при инкубации БО ХВК с чужеродной РНК, имеют такие же характеристики. На Рис. 1 приведено АСМ-изображение типичных РНП, содержащих гетерологичную РНК.

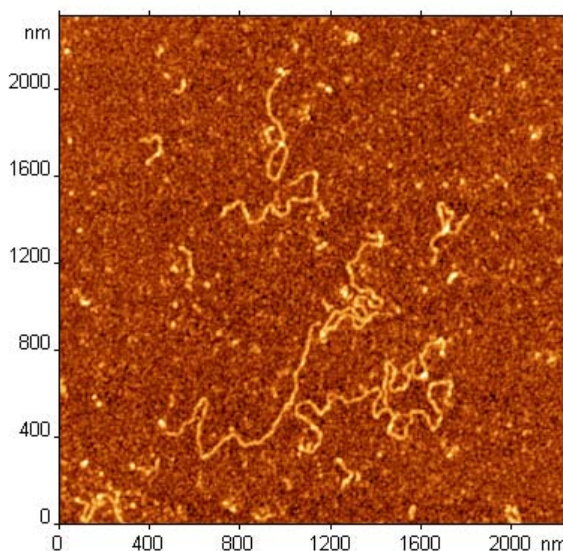


Рис. 2. ДНП.

Совершенно иначе происходит сборка комплексов на основе ДНК. Нами была изучено влияние на структуру наночастиц длины ДНК, массового соотношения БО-ДНК, рН и ионной силы буферной среды. Были подобраны оптимальные условия для сборки таких комплексов. С помощью АСМ показано, что ДНП существенно отличаются от РНП по морфологии.

Типичное АСМ-изображение ДНП приведено на рис. 2. Они представляют собой длинные, гибкие, извитые, неоднородные по всей длине нити, в отличие от палочковидных РНП, идентичных по своей структуре



вириону. Длина ДНП варьировалась от 200-300 нм до 1200 нм. Распределение по длинам имеет характерную верхнюю границу, соответствующую длине использованной ДНК. Это говорит о том, что укладка ДНК в ДНП не соответствует нуклеосомной.

Высота ДНП неоднородна по длине частицы и в среднем составляет 4 нм. Иногда (особенно при неблагоприятных условиях сборки) высота частицы на отдельных участках может составлять менее 1 нм, что соответствует высоте ДНК.

Исходя из этого, можно предположить, что организация комплекса белка оболочки и ДНК в составе ДНП не соответствует нуклеосомной. Возможно, при инкубации ДНК с БО ХВК образуется комплекс с нерегулярной структурой, принципиально отличающийся от РНП, образованных БО ХВК с гетерологичными или гомологичными РНК.

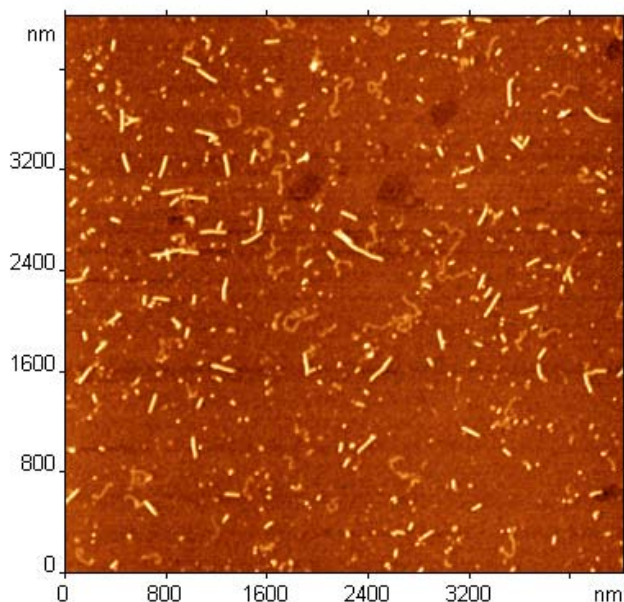


Рис. 3. РНП и ДНП на слюде.

Так же мы исследовали возможность сборки подобных комплексов на основе белка оболочки ВМАльт. Впервые показано, что БО ВМАльт способен полимеризоваться с образованием крупных вирусоподобных структур в отсутствие НК. Эти частицы склонны образовывать пучки (рис. 4 б). При попытке синтезировать ДНП на основе БО ВМАльт (рис. 4 а, в) удалось наиболее наглядно показать, что нуклеиновая кислота принимает пассивное участие в образовании тяжелей: на поверхности образца наблюдалось много свободной ДНК.

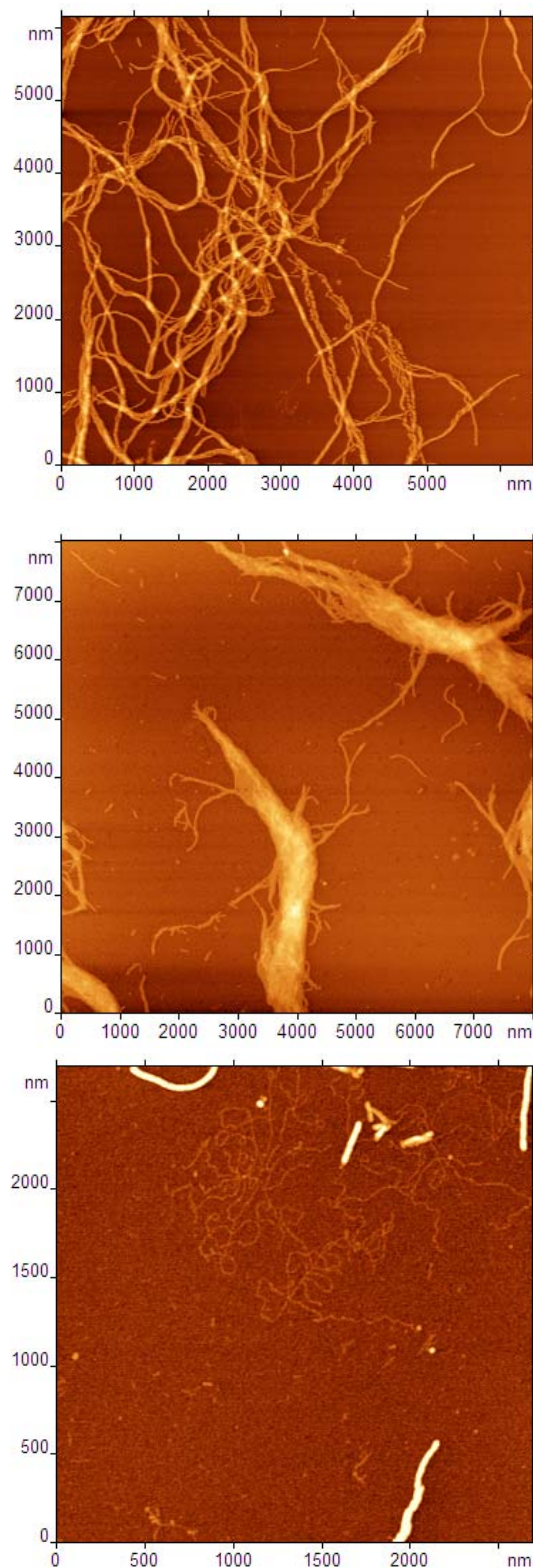


Рис. 4. Структуры, образующиеся из БО вируса Альтернантеры а) в присутствии ДНК, б) без ДНК, в) Свободная ДНК в опыте по сборке ДНП на основе белка ВМАльт.

Список литературы:

1. Karpova O.V. et.al. Potato virus X RNA-mediated assembly of single-tailed ternary coat protein-RNA-movement protein complexes, JGV, 87, 2731 - 2740 (2006)

# ВЫСВОБОЖДЕНИЕ РНК ИЗ ВИРУСА ОБЫКНОВЕННОЙ ПРОСТУДЫ ЧЕЛОВЕКА HRV 2 В КИСЛОЙ СРЕДЕ

А.Д. Сушко<sup>1</sup>, Ю.Ф. Дрыгин<sup>2</sup>, И.В. Яминский<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Центр перспективных технологий

<sup>2</sup>Институт физико-химической биологии им. А.Н. Белозерского МГУ

<sup>3</sup>Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова

ann.sushko@gmail.com

Риновирусы (HRV, human rhinoviruses) являются возбудителями простудных заболеваний человека. Их белковая оболочка представляет собой икосаэдр диаметром около 30 нм, построенный из четырех различных белков (VP1, VP2, VP3, VP4), а генетический материал представлен мРНК.

Вирус HRV 2 сорбируется на рецептор LDL-R (Low-Density Lipoprotein Receptor). Прикрепившаяся к клетке частица посредством эндоцитоза попадает в цитоплазму, и под действием пониженного pH в эндосоме происходит высвобождение вирусной РНК. Можно предположить, что при искусственном освобождении РНК из вируса HRV 2 *in vitro* (в пробирке под действием кислого pH) все процессы происходят так же, как и *in vivo* (при обычном заражении клеток).

Мы моделировали процесс высвобождения РНК, подкисляя нейтральный буфер при помощи уксусной кислоты. Нейтральной средой для наблюдения вируса в его естественном состоянии был TNM-буфер с pH около 8,0. Вирус выдерживали небольшое время в растворе, а затем наносили на поверхность свежесколотой слюды.

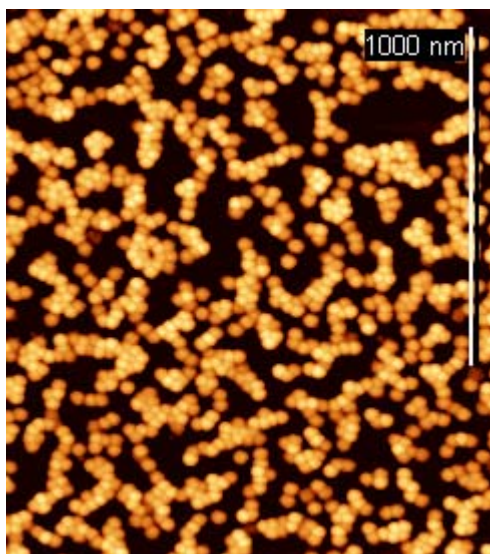
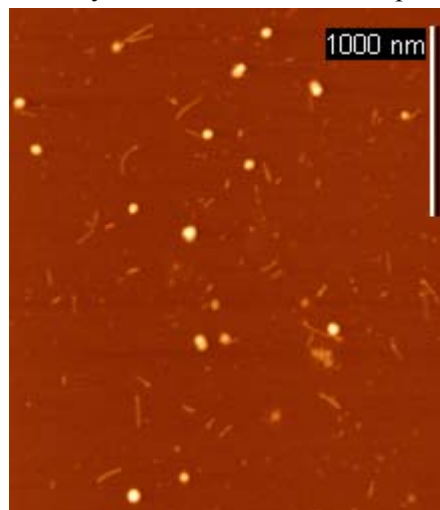


Рис. 1. Целые вирусные частицы на поверхности слюды при pH 7,8-8,0.

Поскольку протонная АТФаза может понижать pH в эндосомах инфицированных клеток до pH=5, мы работали именно при такой кислотности. В результате обработки появились новые структуры – цилиндры, чувствительные к панкреатической РНКазе, и, следовательно, содержащие РНК.

Расчеты показывают, что полноразмерная РНК вируса HRV 2 (около 2 мкм длиной) может быть уложена в такой цилиндр.



Известно, что в пустышках, остающихся после выхода РНК из вириона, присутствуют белки VP1, VP2 и VP3. В то же время, наблюдаемая нами стержневая структура РНК (см. рис. 2) не является типичной формой укладки свободной РНК в этих условиях. Можно сделать разумное предположение, что в упаковке РНК в эту структуру участвует и белок оболочки. Если наблюдаемые стержневые структуры действительно представляют собой РНП (рибонуклеопротеид), то наиболее вероятно, что с РНК связывается белок VP4. Рис. 2. Вирионы HRV 2 при pH 4,8. РНК лежит в виде цилиндров, высотой  $(4.3 \pm 0.6)$  нм и длиной  $(127 \pm 20)$  нм, отдельно от вирионов.

# ПЛАЗМОН-АКТИВНЫЕ МИКРОЧАСТИЦЫ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ ДЛЯ ОПТИЧЕСКОГО СЕНСОРА

З.М. Томова, К.М. Герман, И.В. Соболева, А.А. Федянин

*Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова*

*tomova@nanolab.phys.msu.ru*

Высококчувствительное определение в жидкостях биологически активных соединений, таких как антибиотики, лекарственные препараты, белки, отравляющие вещества и др., необходимо для характеристики состояния живого организма, поэтому приборы, позволяющие осуществлять такое определение, находят широкое применение в области биомедицинских исследований. Оптические биосенсоры на поверхностных плазмонах, представляя собой пример подобных приборов, обладают рядом преимуществ, например, дают возможность одновременного смешанного детектирования различных соединений [1]. В традиционных схемах оптических биосенсоров, использующих резонанс поверхностных плазмонов в металлических пленках, для возбуждения плазмона применяются специальные схемы заведения возбуждающего излучения [1]. Необходимость использования таких схем обусловлена законом дисперсии поверхностного плазмона на границе раздела металл-воздух. Обычно возбуждение поверхностного плазмона осуществляется при заведении излучения через призму (схемы Кретчманна, Отто), либо с использованием дифракционной решетки. Сенсоры на резонансе поверхностных плазмонов хорошо отработаны и обеспечивают высокую чувствительность в широком диапазоне концентраций исследуемых реагентов. Однако, при этом область детектирования сенсора ограничивается тонким слоем исследуемой жидкости вблизи поверхности металла. Использование оптических сенсоров на поверхностных плазмонах для диагностики объемных распределений исследуемых биологически активных соединений и их взаимодействия с компонентами исследуемых жидкостей (например, плазмы, крови) остается затруднительным. Использование методики оптического пинцета в качестве элемента оптического сенсора дает возможность решить такую задачу. Основой оптического сенсора в таком случае является оптический пинцет с захваченной в него диэлектрической частицей, частично покрытой металлом, например, золотом. Взаимодействие частицы с активными соединениями в исследуемой жидкости приводит к изменению спектрального положения резонанса поверхностного плазмона.

Детектирование осуществляется по изменению силы взаимодействия частицы и ловушки оптического пинцета. При использовании такой схемы можно существенно повысить чувствительность сенсора за счет детектирования малых изменений сил взаимодействия, а также объем жидкости может быть исследован избирательно на различных уровнях относительно подложки. Целью данной работы является разработка методики получения плазмон-активной частицы для оптического сенсора на оптическом пинцете.

Плазмон-активные частицы были получены функционализацией микрочастиц диоксида кремния. Для синтеза сфер диоксида кремния использовался метод Штобера [2] при соотношении объемов  $\text{Si}(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})_4$ :  $\text{NH}_3$ :  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ :  $\text{H}_2\text{O}$  2,9: 0,3: 37: 10. Через 3-5 минут после добавления  $\text{Si}(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})_4$  раствор начинает мутнеть, что свидетельствует о зарождении частиц диоксида кремния. Полное время синтеза составило 30 мин, после чего каждый образец пятикратно промывался дистиллированной водой. Характеризация полученных микрочастиц проводилась методом динамического светорассеяния, АСМ и СЭМ-микроскопии. Функционализация частиц диоксида кремния проводилась методом послойного осаждения [3] АPTMS и наночастиц золота, покрытых предварительно слоем поливинилпирролидона (PVP) из водного раствора. Концентрация водного раствора PVP рассчитывалась так, чтобы толщина слоя полиэлектролита на наночастице золота составила 2,6 монослоев. Характеризация полученных функциональных частиц проводилась методом динамического светорассеяния. Также получены СЭМ и АСМ-изображения изготовленных композитных частиц  $\text{SiO}_2\text{-Au}$ .

Список литературы:

1. X. Fan, I.M. White, S.I. Shopova, H. Zhu, J.D. Suter, Y. Sun, Anal. Chimica Acta 620, 8 (2008).
2. W. Strober, A. Fink, E. Bohn, J. Coll. Int. Sci., 26, 62 (1968).
3. C. Graf, S. Dembski, A. Hofmann, E. Ruhl, Langmuir 22, 5604 (2006).

# СТАБИЛИЗАЦИЯ ФЕРМЕНТОВ-АНТИОКСИДАНТОВ В НАНОЗИМАХ: ПЕРСПЕКТИВЫ ЛЕЧЕНИЯ ЗАБОЛЕВАНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ

С.В. Угланова, М.В. Попов, И.С. Панина, Н.Л. Клячко

Химический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова  
suglanova@gmail.com

Известно, что многие дегенеративные заболевания нервной системы сопровождаются избыточной выработкой активных форм кислорода, которые играют важную роль в повреждении нервных клеток. [1]. Эффективными агентами в борьбе с окислительным стрессом являются антиоксиданты. Причем ферментативные антиоксиданты оказываются гораздо более эффективными, нежели низкомолекулярные и вводить их требуется гораздо меньше. Анализ литературных данных показал, что известно немного лекарственных препаратов на основе антиоксидантных ферментов. Одни из них находятся на стадии доклинических испытаний, для других путь в неврологическую практику так и остался закрытым [2].

Среди объективных причин клинической непопулярности ферментных препаратов для лечения нейродегенеративных заболеваний следует отметить высокий риск развития побочных эффектов, быструю инактивацию ферментов, их неспособность проникать через гематоэнцефалический барьер.

Целью настоящих разработок служит получение формы доставки ферментов-антиоксидантов, обладающей всеми необходимыми характеристиками.

Ключевым ферментом в антиоксидантной защите клеток является супероксиддисмутаза, который катализирует превращение супероксидного радикала в кислород и перекись водорода. Каталаза катализирует разложения перекиси до воды. Включая в конъюгаты два фермента – СОД и, например, каталазу, мы сделаем шаг к созданию эффективной мультиферментной системы.

Основная идея проекта заключается в Получении наночастиц на основе ‘нанозимов’ с полиэлектролитами - блок-сополимерами. Входящий в состав ПЭГ нивелирует токсичность, например, полилизина и полиэтилен имина (ПЭИ), но именно такой состав может способствовать проникновению наночастиц через гематоэнцефалический барьер [3]. В качестве полиэлектролитов предполагается использовать положительно заряженные блок-сополимеры полиэлектролитов, так как каталаза при физиологическом pH 7,4 заря-

жена отрицательно. Таким образом, за счет электростатических взаимодействий могут образоваться комплексы белка с полиэлектролитом. Модифицируя полученный комплекс сшивающим агентом с высокой степенью сшивки (рис. 1), по предварительным данным экспериментов, мы получаем конъюгаты с размером частиц  $(30 \pm 2)$  нм (рис. 2), для немодифицированной каталазы он составляет 10 нм.

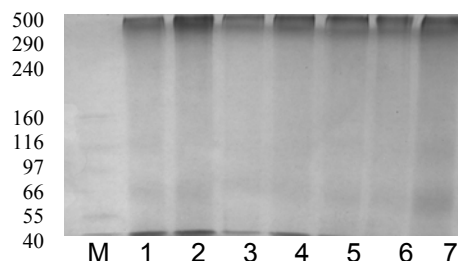


Рис. 1. SDS-гельэлектрофорез в полиакриламидном геле полученных образцов конъюгатов с различным соотношением белок/полиэлектролит.

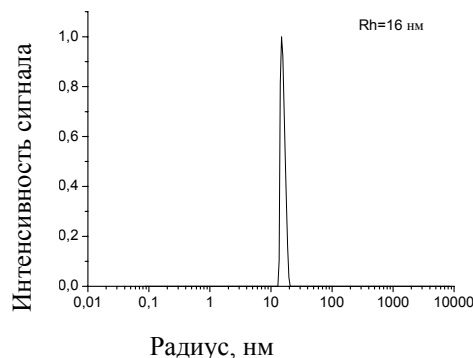


Рис. 2. Распределение частиц по размерам в системе каталаза-ПЭИ-ПЭГ (1:1) (50 мМ  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  pH 7,4),  $\Theta=90^\circ\text{C}$ , Rh – средний гидродинамический радиус.

## Список литературы:

- Осипов А.Н., Азизова О.А., Владимиров Ю.А., Успехи.биол.химии, т. 31, с. 180-208, (1990).
- Kabanov A.V., Gendelman H.E., Prog. Polym. Sci., v. 32, p. 1054–1082, (2007).
- Batrakova E.V., Bioconjugate Chem., v. 18, p. 1498-1506, (2007).



# УСТРАНЕНИЕ ИСКАЖЕНИЙ, ВНОСИМЫХ КОНЕЧНОЙ ФОРМОЙ ЗОНДА

И.А. Усов

ООО НПП «Центр перспективных технологий»  
usov@polly.phys.msu.ru

В настоящее время все большее значение приобретают методы измерения геометрических свойств поверхностей на микро- и наноуровне. Метод СЗМ относится как раз к таким методам и позволяет получить не просто двумерное изображение, но и трехмерный образ рельефа поверхности. Однако один из недостатков этого метода заключается в том, что зонд, не идеален по форме и вносит искажения в получаемое изображение.

Цель настоящей работы – описание наиболее существенных искажений и методов их устранения, а так же разработка алгоритма для реализации данного процесса для основных форм зондов.

Известно, что при сканировании получаемая поверхность изображения зачастую находится выше физической поверхности, что приводит к размытию объектов, сравнимых по размерам с зондом. В случае же небольших углублений, их вовсе невозможно точно зафиксировать.

Математический анализ, проведенный в статье [1] показал, что изображение является расширением (dilation) множества точек образца множеством точек инвертированной иглы.

Следовательно, применив обратную операцию вычитания (erosion) из полученного изображения формы зонда, можно наиболее точно воссоздать реальную форму поверхности.

Определить форму зонда можно несколькими способами:

1. по известной поверхности,
2. по электронной микрофотографии,
3. по техническим характеристикам зонда, таким как угол схождения образующей, радиус закругления острия и др.

Основные рассмотренные и смоделированные формы зондов:

1. конический зонд,
2. сложный конический зонд,
3. пирамидальный зонд,
4. висцерный зонд.

Приведем пример обработки изображения (удаление уширения при сканировании тестовой структуры). При сканировании получаются сильно уширенные пики, фактически мы видим повторяющиеся формы инверти-

рованной поверхности иглы, которой проводили сканирование.

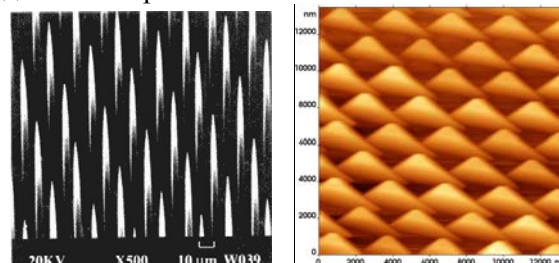


Рис. 1. Тестовая острая наноструктура и изображение, полученное при ее сканировании.

После реконструкции получившееся изображение довольно четко и правильно передает настоящую поверхность тестовой структуры.

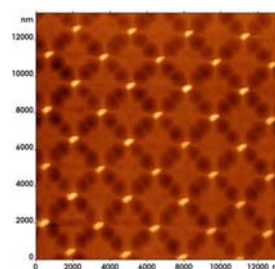


Рис. 2. Реконструированное изображение.

Однако не всегда возможна точная реконструкция всей поверхности образца.

В ходе работы были получены следующие результаты: исследованы и описаны основные виды искажений; исследован и описан метод, по которому можно получить наиболее точную реконструкцию; создана подключаемая библиотека к программе ФемтоСкан Онлайн, позволяющая моделировать различные формы игл по известным геометрическим параметрам и проводить операции эрозии и дилиации с их использованием.

Список литературы:

1. Villarubia J.S., Algorithms for Scanned Probe Microscope Image Simulation, Surface Reconstruction and Tip Estimation, J. Res. Natl. Stand. Technol. 102, 425 (1997).
2. Бухараев А.А., Бердунов Н.В., Овчинников Д.В., Салихов К.М., ССМ-метрология микро- и наноструктур, Микроэлектроника, Т.26, №3, С.163-175 (1997).

# МОДЕРНИЗАЦИЯ МИКРОСКОПА ФЕМТОСКАН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ

А.С. Филонов, Г.Б. Мешков

ООО НПП «Центр перспективных технологий»

*filonov@nanoscopy.net*

С тех пор, как в 1996 году появилась на свет первая модель микроскопа ФемтоСкан, элементная база шагнула далеко вперед. Сердце микроскопа – плата сигнального процессора – была построена с использованием простой и надежной шины обмена данными формата ISA. В настоящее время эта шина вышла из употребления в своем первоначальном громоздком варианте, хотя решения на ее базе продолжают использоваться в новых форматах PC-104 и ETX (рис. 1).

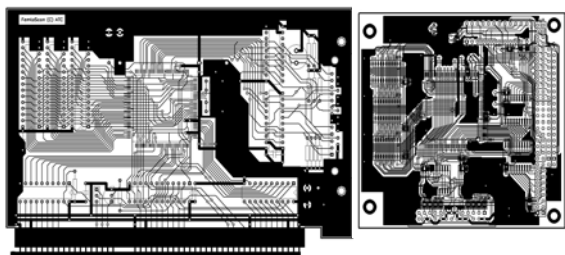


Рис. 1. Сравнение форматов ISA (слева) и PC/104 (справа).

Блок управления, построенный на базе процессора семейства x86, претерпел значительные изменения – увеличилась мощность процессора, объем виртуальной памяти и дискового пространства. Параллельно появляются новые более ресурсоемкие приложения, для работы которых возможностей старого компьютера уже не хватает.

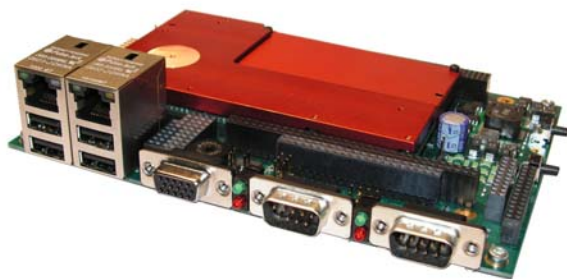


Рис. 2. Одноплатный компьютер формата PC/104.

С другой стороны, последние достижения разработчиков электронных компонентов позволяют уменьшить размер всего блока до объема дисководов компакт-дисков (рис. 2). При этом имеется возможность заменить все компоненты, имеющие тенденцию к износу, на отказоустойчивые: поставить пассивное

охлаждение процессора вместо вентилятора, заменить жесткий диск на компакт-флэш.

Структура клиент-сервер программного обеспечения микроскопа позволяет разделить клиентскую и серверную части и вынести их в отдельные блоки – серверная часть остается в мини-блоке управления, помещаемом конструктивно в один корпус с электронным блоком, а клиентская часть устанавливается на мощной графической станции под управлением современной операционной системы Windows Vista или Windows 7. Серверная часть работает под операционной системой Windows XP Embedded, что позволяет без дополнительных модификаций использовать существующий драйвер операционной системы и сервер. Официальная поддержка этой системы продлится до 2016 года – в отличие от Windows XP для настольных систем, продажа которых уже прекращена.

Соединение между сервером и клиентом осуществляется по сети Ethernet. Фактически сетевой режим работы прибора, ранее использовавшийся опционально, теперь становится стандартным режимом работы. Прибор становится более мобильным, более универсальным, более надежным.

Программа Fmboard, использовавшаяся для мониторинга состояния сервера, запускается так же на клиентском компьютере. Настройка сервера может производиться с помощью программы Fmboard или через веб-интерфейс. Кроме того, встроенный веб-сервер позволяет производить мониторинг состояния микроскопа через веб-браузер без использования дополнительных инструментов. Данные, выдаваемые встроенным веб-сервером, могут быть интегрированы в структуру веб-сайта лаборатории наподобие веб-камеры [1].

Таким образом, не переписывая кардинально программное обеспечение прибора, мы модернизировали систему, добавив в нее новые конкурентные преимущества – устойчивость, масштабируемость, интерактивность.

Ссылки:

1. <http://www.nanoscopy.org/Applications-Scan.shtml>.

# БИОНАНОСКОПИЯ ДЛЯ КЛИНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

И.В. Яминский

МГУ им. М.В. Ломоносова

Центр перспективных технологий

yaminsky@nanoscopy.net

Современный многофункциональный сканирующий микроскоп предоставляет богатую информацию о морфологии и свойствах поверхности образцов. Число реализованных в зондовых микроскопах режимов измерений и объем экспериментальной информации становятся весьма внушительными. Также большим становится число участников, вовлеченных в современный эксперимент. Все это неминуемо приводит к необходимости к внедрению в зондовый микроскоп передовых средств коммуникации, эффективных протоколов передачи данных и форматов файлов.

В настоящем докладе приведен пример использования сканирующего зондового микроскопа для изучения белков, ДНК и РНК, вирусов, бактерий и клеток животных (рис.1).

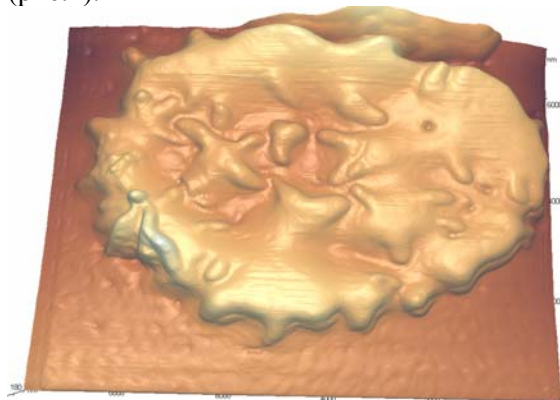


Рис. 1. Изображение эритроцита (эхиноцита). Размер кадра – 10x7 мкм.

Использование техники сканирующей зондовой микроскопии позволяет создавать микрокантилеверные биосенсоры. Атомные весы, построенные на основе атомно-силового микроскопа, дают возможность регистрировать массу микро и наночастиц – бактерий и биомакромолекул. При использовании коммерческих кантилеверов чувствительность весов находится на уровне  $10^{-14}$  г. Максимальная чувствительность на уровне  $10^{-19}$  г достигается при использовании кантилеверов со специальной геометрией. При использовании в качестве кантилевера одиночной нанотрубки удастся зарегистрировать массу  $0,13 \times 10^{-21}$  г, что соответствует примерно 1/2 массы одного атома золота. В докладе представлен обзор применения кантилевер-

ных сенсоров в задачах клинической диагностики.

В нашей группе осуществлена визуализация следующих вирусов: вируса табачной мозаики [1,2], вируса полиомиелита [3], X вируса картофеля [4,5] и A вируса картофеля [6]. Изучение 5 типов растительных вирусов представлено в [7]: вируса табачной мозаики, вируса мозаики костра, вируса мятлика, вируса штриховой мозаики ячменя и вируса люцерны.

Работа выполнена при поддержке Роснауки (02.514.11.4102, 02.512.11.2279), Научной программы НАТО (CBR.NR.NRSFPP 983204) и РАН (OXHM7).

## Список литературы

1. Yu. F. Drygin, O. A. Bordunova, M. O. Gallyamov, I. V. Yaminsky. // FEBS letters, 425, 217-221 (1998).
2. M.O. Gallyamov, Yu.F. Drygin, I.V. Yaminsky. // Surface investigation, 15, 1127-1134 (2000).
3. I.V. Yaminsky, A.V. Bolshakova, B.A. Loginov, V.V. Protasenko, A.L. Suvorov, M.A. Kozodaev, D.S. Volnin. // Surface investigations 2000, Vol. 15, pp. 1119-1125.
4. O.I. Kiselyova, N.S. Nasikan, I.V. Yaminsky, V.K. Novikov. // Physics of Low-Dimensional Structures, 3/4, 167-174 (2001).
5. Kiselyova O.I., Galyamov M.O., Nasikan N.S., Yaminsky I.V., Karpova O.V., Novikov V.K., Scanning probe microscopy of biomacromolecules: nucleic acids, proteins and their complexes in "Frontiers of Multifunctional Nanosystems" (Eds. Buzanaeva E.V., Scharff P. - Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2002, 500 pages), pp. 321-330 (2002).
5. O. I. Kiselyova, I. V. Yaminsky, E. M. Karger, O. Yu. Frolova, Y. L. Dorokhov, J. G. Atabekov. // Journal of General Virology, 82, 1503-1508 (2001).
6. E. A. Obratsova, N.O. Kalinina, M.E. Taliansky, R.G. Gabrenaite-Verkhovskaya, K. Malinen, I.V. Yaminsky. // Colloid Journal, Vol. 70, No. 2, 199-201 (2008).
7. E.V. Dubrovin, Yu.F. Drygin, V.K. Novikov, I.V. Yaminsky. // Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine, volume 3, issue 2, 2007, 128-131.

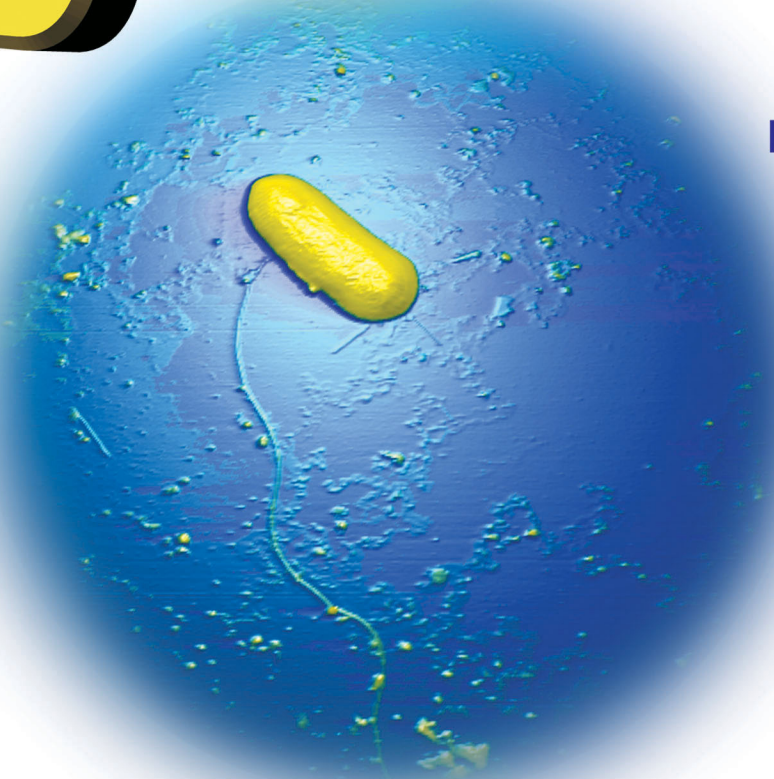




# FemtoScan Online

**Центр  
перспективных  
технологий**

[www.nanoscopy.net](http://www.nanoscopy.net)  
[spm@nanoscopy.net](mailto:spm@nanoscopy.net)  
(495) 926-37-59



**ФемтоСкан Онлайн** является универсальным программным обеспечением для обработки и анализа изображений оптической, электронной и зондовой микроскопии. Поддерживает различные форматы файлов, в числе которых JPEG, TIFF (включая 16-битный формат высокого разрешения, применяемый в электронной и оптической микроскопии), данные популярных моделей зондовых микроскопов, а так же захватывает изображения с видеокамер и сканеров. Широкий набор функций по анализу трехмерных данных включает гистограммы, профили, Фурье-анализ, оценку параметров шероховатости, распознавание объектов и статистическую обработку.

**ФемтоСкан Онлайн** обладает потрясающими возможностями по визуализации данных, подготовке отчетов, публикаций и презентаций. Слайд-шоу, трехмерные изображения, поддержка стерео-режима, создание видеороликов – вот только часть огромного спектра предоставляемых пользователю инструментов.

Помимо анализа данных **ФемтоСкан Онлайн** можно использовать для организации удаленного доступа к комплексу зондовых, электронных и оптических микроскопов для обучения и проведения исследований. Спектр уникальных возможностей включает:

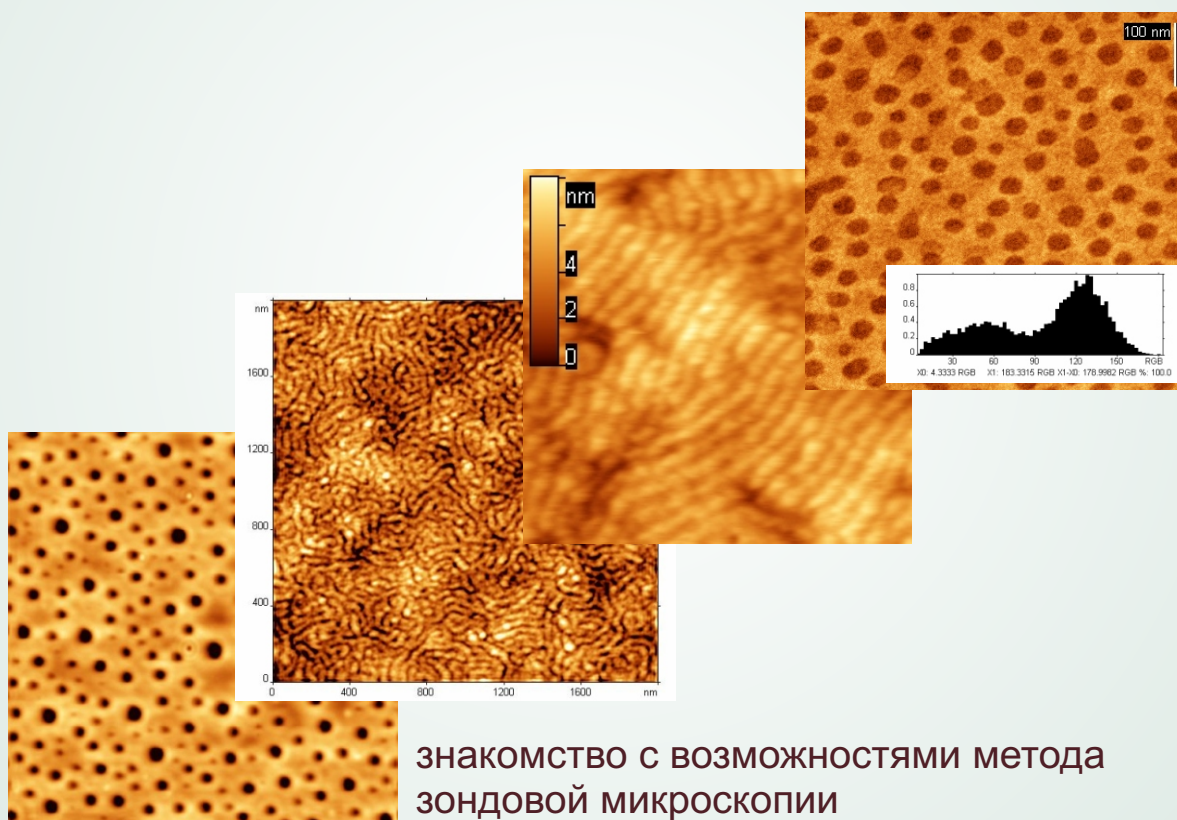
- ❑ Полное управление произвольным прибором через сеть Интернет
- ❑ Организацию многопользовательского доступа
- ❑ Обмен данными в защищенном виде
- ❑ Ведение базы данных экспериментов
- ❑ Поддержку видеоконференций и обмена сообщениями
- ❑ Интеграцию с веб-сервером





Кафедра ВМС химического факультета  
МГУ имени М.В. Ломоносова  
и  
ООО НПП “Центр перспективных технологий”  
представляют  
лабораторную работу  
“Сканирующая зондовая микроскопия  
блок-сополимеров”

*Большакова А.В., Киселёва О.И., Никонорова Н.И., Яминский И.В.*



знакомство с возможностями метода  
зондовой микроскопии  
применительно к полимерным объектам\*;  
изучение структуры блок-сополимеров;  
обработка данных и  
представление научных результатов

\*Выполнение работы требует знание основ теории полимеров  
Лабораторная работа рассчитана на 16 академических часов

**Москва  
2008**

# ЛОКАЛЬНАЯ ФЕМТОСЕКУНДНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ПЛАЗМОННЫХ МЕТАМАТЕРИАЛОВ

В.О. Бессонов

Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова  
vbessonov@inbox.ru

Исследования плазмонных колебаний и бегущих поверхностных плазмон-поляритонов в плазмонных наноструктурах представляют фундаментальный интерес и позволяют решать проблемы, связанные с управлением светом на нанометровых масштабах. С развитием фемтосекундных импульсных лазеров появляется возможность изучать временные характеристики плазмонных колебаний и управлять ими, что открывает широкие перспективы для использования плазмонных наноструктур в качестве сверхбыстрых переключателей, сенсоров и т.п. Когда сверхкороткий лазерный импульс резонансно возбуждает поверхностный плазмон в наноструктуре, временной профиль отраженного и прошедшего через структуру импульса может существенно изменяться в зависимости от характеристик возбуждаемого плазмона [1]. Измеряя временной профиль такого импульса, можно определять времена жизни поверхностных плазмонов [2], находить оптимальные условия эффективного возбуждения плазмонов или следить за распространением плазмонных колебаний, используя зондирующий импульс. Цель данной работы — создание экспериментальной установки для изучения сверхбыстрой динамики плазмонных эффектов и исследование влияния бегущего плазмона, возбуждаемого в одномерном плазмонном кристалле, на временной профиль отраженного импульса.

В качестве источника фемтосекундных импульсов используется перестраиваемый титан-сапфировый лазер с основными характеристиками: длительность импульсов — 140 фс, частота повторения — 80 МГц, область перестройки — 690 — 1020 нм, интегральная мощность 1,5 — 3 Вт. Информация о форме и длительности отраженного от образца импульса получается путем измерения его корреляционной функции при помощи генерации второй гармоники (ВГ) в нелинейном кристалле при сканировании во времени исходным импульсом накачки. Для этого излучение лазера разделяется на 2 одинаковых по интенсивности пучка, один из которых направляется на образец и затем фокусируется на нелинейный кристалл, а второй проходит через линию задержки, обеспечивающую временное разрешение измерений порядка 7 фс, и фокусируется в ту же точку кристалла под углом 45° к первому пучку. Выходящее по бис-

сектрисе излучение ВГ регистрируется ФЭУ, работающем в пропорциональном режиме.

В качестве объекта исследования была выбрана планарная наноструктура, представляющая собой алюминиевую дифракционную решетку, состоящую из полосок шириной 300 нм, высотой 30 нм и периодом 740 нм. На рис. 1 представлены зависимости интенсивности ВГ от времени задержки между импульсами для двух случаев, когда полоски лежат в плоскости падения *p*-поляризованного излучения накачки (черные точки) и когда полоски перпендикулярны плоскости падения (красные точки). Измерения проводились для угла падения 68° и длины волны 727 нм, при которых во втором случае в спектре отражения наблюдалась аномалия Вуда. Наличие затянутого на несколько десятков фемтосекунд плеча во временном профиле отраженного импульса говорит о существовании поверхностных плазмонов с соответствующим временем жизни.

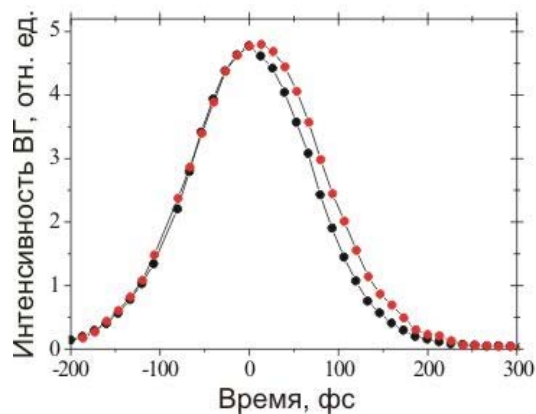


Рис. 1. Зависимость интенсивности ВГ от времени задержки между импульсами при отсутствии (черные точки) и наличии (красные точки) бегущих плазмонов.

## Список литературы:

1. R.V. Andaloro, H.J. Simon, and R.T. Deck, Appl. Opt. 33, 6340 (1994).
2. A.S. Vengurlekar, A. Venu Gopal, and T. Ishihara, Appl. Phys. Lett. 89, 181927 (2006).

# ПЛАЗМОННОЕ УСИЛЕНИЕ ЛИНЕЙНОГО ДВУЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЯ И ДИХРОИЗМА В ПЛАНАРНЫХ АНИЗОТРОПНЫХ ОПТИЧЕСКИХ МЕТАМАТЕРИАЛАХ

П.П. Вабищевич, М.И. Добындэ, М.Р. Щербаков, Т.В. Долгова, А.А. Федянин

Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова

vabishchevich@nanolab.phys.msu.ru

Развитие нанолитографических методик привело к появлению целого ряда задач и приложений связанных с управлением оптическим излучением на масштабах меньше длины волны, в частности, стало возможно создание оптических метаматериалов из объемных сред или тонких пленок путем их структурирования с характерными размерами порядка десятков нанометров. Это приводит к появлению качественно новых макроскопических оптических свойств по сравнению с исходным материалом. В тонких пленках благородных металлов благодаря структурированию возможно резонансное возбуждение как локальных плазмонов, так и бегущих плазмон-поляритонов, поэтому такие структуры способны приводить к различным эффектам, например к экстраординарному оптическому пропусканию [1], а также оказывать значительное воздействие на состояние поляризации прошедшего света [2].

Образцы планарных метаматериалов были изготовлены на основе тонких пленок серебра и золота, нанесенных на подложку из плавленого кварца. Образец 1 представляет собой тонкую пленку серебра толщиной 150 нм в которой методом литографии сфокусированным ионным пучком был проделан массив сквозных отверстий прямоугольной формы, образующий квадратную решетку с периодом 400 нм (рис. 1а). Образец 2 представляет собой полосы шириной 130 нм и толщиной 30 нм и периодом структуры 330 нм, изготовленный методом электронно-лучевой литографии (рис. 1б). Оба образца обладают осью симметрии второго порядка, перпендикулярной плоскости образца.

Измерение параметров состояния поляризации света проводилось на установке по микроспектроскопии коэффициента пропускания в поляризованном белом свете. При этом проводился контроль как падающего света, так и света, прошедшего через структуру поляризации, в диапазоне длин волн от 400 до 750 нм.

В спектрах пропускания образцов наблюдаются резонансные особенности, связанные с возбуждением локальных и бегущих плазмон-поляритонов. Это приводит к усилению

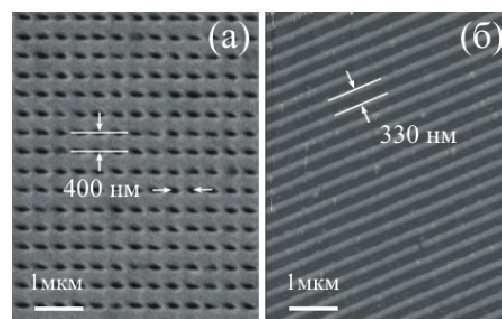


Рис. 1. а) РЭМ-изображение поверхности серебряной пленки с отверстиями прямоугольной формы 100x300 нм<sup>2</sup>. б) АСМ-изображение поверхности полосковой структуры.

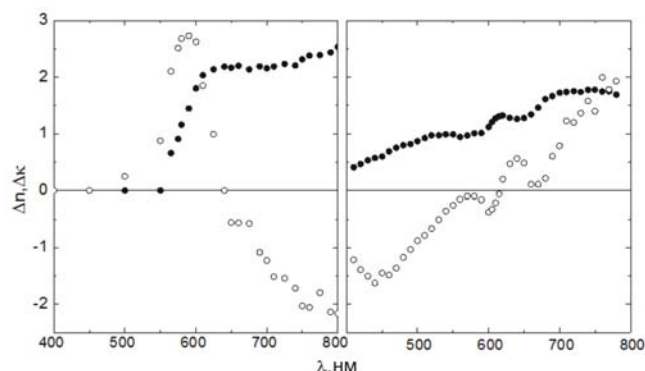


Рис. 2. Спектры двулучепреломления  $\Delta n$  (черные кружки) и  $\Delta k$  (белые кружки) для полоскового материала (слева) и материала с массивом прямоугольных нанотверстий (справа).

эффектов линейного двулучепреломления и дихроизма, причем разница эффективного показателя преломления и коэффициента экстинкции в данных образцах на длинах волн, соответствующих возбуждению плазмонов (рис. 2) на порядок больше чем у двулучепреломляющих кристаллов.

Список литературы:

1. T. W. Ebbesen, H. J. Lezec, H. F. Ghaemi, *et al.*, *Nature* **391**, 667 (1998).
2. R. Gordon, A.G. Brolo, A. McKinnon, *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **92**, 037401 (2004).



# ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ КОНТРОЛЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ СМЕСЕЙ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

А.И. Волков

*МГУ им. М.В. Ломоносова*

*E-mail: rhenium@list.ru*

В настоящее время в ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» для определения химического состава железорудных смесей (ЖРС) отбирают пробы и проводят химический анализ. В обычной системе контроля состава ЖРС можно выделить два основных недостатка. Во-первых, отбираемые пробы не представляют по химическому составу всю массу ЖРС в штабеле. Во-вторых, на отбор, доставку и подготовку проб уходит много времени. Результат химического анализа поступает технологу после того, как анализируемое сырье было переработано и невозможна корректировка процесса.



Рис. 1. Система непрерывного РФА.

Среди аналитических методов определения состава вещества в промышленных условиях рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) является наиболее подходящим для решения данной проблемы. Непрерывный бесконтактный рентгенофлуоресцентный анализ сыпучих материалов непосредственно в технологическом потоке практически трудно осуществить из-за неравномерности загрузки конвейера и перебоев в подаче материала. Существующие спектрометры отечественного и зарубежного производства, как правило, созданы для обводных линий. Такие системы не обеспечивают непрерывного анализа в технологическом потоке, требуют значительных капитальных затрат и обслуживания сложной системы дополнительного оборудования.

Поэтому, для аглоцеха горно-обогатительного производства ОАО «ММК» разработали систему автоматического непре-

рывного контроля состава ЖРС на основе энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного спектрометра ConX-02. Система также включает в себя механизированный пробоотборник, защитную лыжу спектрометра, разравниватели слоя материала, противоаварийную систему защиты прибора, алгоритм расчёта химического состава ЖРС в бункерах и необходимого расхода флюсов для агломерации. Анализ ЖРС проводится непосредственно на ленте конвейера без отбора проб. Для возбуждения спектра флуоресценции ЖРС использовали рентгеновскую трубку с молибденовым анодом и напряжением 30 кВ, силой тока 100 мкА. В спектрометре применяется полупроводниковый кремниевый диффузионно-дрейфовый детектор. Набор спектра рентгеновской флуоресценции происходит в течение заданного времени, затем данные передаются в программу для расчёта концентрации компонентов способом фундаментальных параметров. Далее набирается новый спектр.

Для оценки точности измерения концентрации железа, оксидов кальция и марганца в ЖРС на ленте конвейера методом РФА отбирали пробы с помощью механизированного пробоотборника через каждые 12-18 минут. Вес проб составил 1,5 – 2,5 кг. Было изучено более 710 образцов ЖРС в диапазоне концентраций Fe 56,4 – 62,4%, CaO 2,66 – 5,84% и MnO 0,24 – 3,66%. Стандартное отклонение результатов РФА на конвейере от химического анализа проб для Fe 0,84%, CaO 0,44%, MnO 0,29%.

Проведённые промышленные испытания в условиях ОАО «ММК» показали, что создаваемая система позволит оперативно влиять на качество агломерата и за счёт этого снизить себестоимость чугуна. Как показывают экономические расчёты, за время эксплуатации разрабатываемой системы в 7 лет индекс рентабельности инвестиций составит 12,33 руб/руб с периодом окупаемости в полгода. Разрабатываемая система может быть применена для контроля химического состава различных сыпучих материалов непосредственно в технологическом потоке без создания дополнительных транспортёров.



# МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПИСАНИЯ МИКРОСКОПИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПОЛИМЕР-ЭЛЕКТРОЛИТНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

А.А. Гаврилов, А.В. Чертович, А.Р. Хохлов  
Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова  
gavrilov@polly.phys.msu.ru

Из-за своей высокой энергетической эффективности, экологичности и низкого уровня шума, топливные элементы в будущем могут стать основными энергопреобразующими устройствами. Хотя существует много видов ТЭ, именно полимер-электролитные привлекают наибольшее внимание, как наиболее простые, удобные и безопасные в работе источники энергии. Кроме того, в полимер-электролитных ТЭ вместо классических металлических катализаторов возможно применение биокатализаторов на основе ферментов.

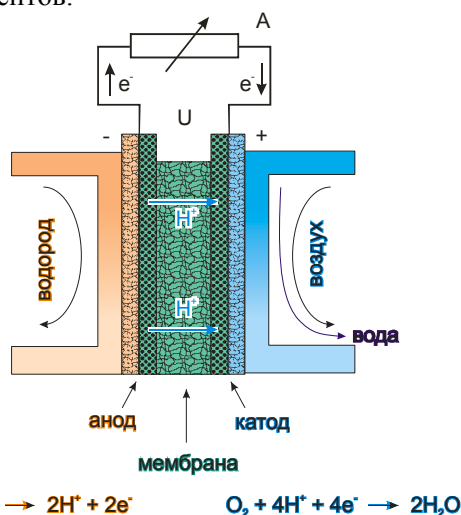


Рис. 1. Схема работы топливного элемента.

В полимер-электролитных ТЭ водород и кислород электрохимическим образом объединяются с образованием воды, электрической энергии и небольшого количества тепла. Существует несколько способов повысить эффективность полимер-электролитных ТЭ, в первую очередь это повышение температуры. Оно позволяет использовать менее чистый водород, т.к. платиновый катализатор отравляется в меньшей степени, что может существенно упростить конструкцию и требования к входным газам. Однако, в классических мембранно-электродных блоках нет возможности существенно повысить температуру. Решением может служить замена перфторированной мембраны на мембрану на основе ПБИ-полимера, допированную фосфорной кислотой, что позволяет поднять рабочую температуру до 160-200°C. При помо-

щи моделирования, базирующегося на физических моделях, развитых из результатов экспериментов, можно понять процессы, происходящие в топливных элементах и предсказать поведение системы в нестандартных условиях.

Активный слой анода и катода ТЭ состоит из наноразмерных частиц платины и угля. Микрофотография среза представлена на рисунке 2. При работе ТЭ в активном слое происходит множество процессов, в том числе деградация, которая особо хорошо выражена при больших рабочих температурах. Это выражается в «спекании» частиц платины, а также частичном растворении платины и уходе в толщу мембраны.

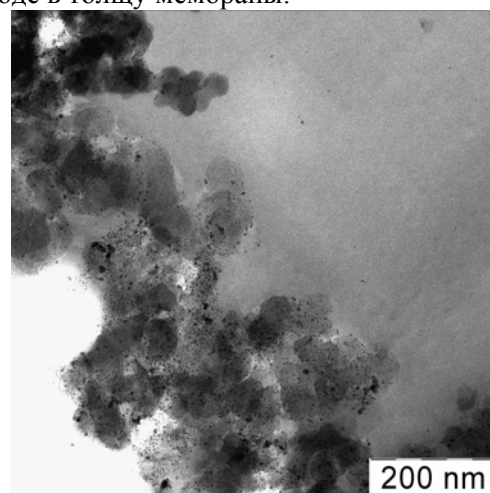


Рис. 2. Микрофотография активного слоя на границе с полимерной мембраной.

В данной работе авторы разрабатывают специализированный программный комплекс, который позволит анализировать течение разных процессов, происходящих в ТЭ, на микроскопическом уровне, что позволит существенно сократить количество экспериментов, необходимых для описания микроструктуры данного топливного элемента. Кроме того, комплекс также сможет предсказывать оптимальные режимы работы с учетом влияния микроскопических процессов и получения прогнозируемых (требуемых) вольтамперных характеристик для данного набора исходных компонентов.

# ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ И СТРУКТУРЫ ПОЛИМЕРНОЙ СЕТКИ НА СВОЙСТВА ТЕРМОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПОЛИМЕРОВ

Е.Ю. Кожунова

Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова,  
kozhunova@phs.phys.msu.ru

Полимеры, восприимчивые к внешним воздействиям, в последнее время привлекают к себе внимание благодаря интересным свойствам – в подобных полимерах происходят относительно большие и резкие изменения физических и химических параметров под действием незначительных перемен во внешней среде [1]. Способность изменять физические и химические свойства восприимчивых полимеров на молекулярном уровне имеет важнейшее значение для создания высокотехнологичных материалов.

Целью настоящей работы является изучение влияния природы и структуры полимерной сетки на свойства термочувствительных гелей. Проведено исследование конформационного перехода от набухшего к сколлапсированному гелю, индуцированного температурой. Эксперимент проводился с слабосшитыми гелями на основе сополимеров N-изопропилакриламида и N-винилкапролактама и во взаимопроникающих сетках. Для изучения влияния природы мономерных звеньев полимерных цепей сетки геля на его свойства проанализировано поведение гелей при введении ионогенных звеньев: диаллилдиметиламмония, стиролсульфоната и метакриловой кислоты.

Проведенное исследование показало, что введение в состав термочувствительного полимера N-изопропилакриламида заряженных звеньев (стиролсульфонат, диаллилдиметиламмоний, метакриловая кислота) приводит к повышению критической температуры перехода набухший / сколлапсированный гель. Это объясняется конкуренцией электростатических и гидрофобных взаимодействий. Образование водородных связей в гелях на основе сополимеров метакриловой кислоты ведет к уменьшению коэффициента набухания и степени коллапса.

В ходе исследований были рассмотрены конформационные переходы в гидрогелях со структурой полувзаимопроникающих сеток термочувствительного полимера и полиэлектролита двух типов: в первом случае трехмерную сетку формирует неионный термочувствительный полимер, а во втором – полиэлектролит. Гель первого типа на основе полувзаимопроникающих сеток поли-N-

изопропилакриламид – полистиролсульфонат (ПНИПА-ПСС) претерпевает конформационный переход и достаточно быстро достигает равновесного состояния. Гели второго типа на основе полувзаимопроникающих сеток полидиаллилдиметиламмоний хлорид – поливинилкапролактама (ПДАДМАХ-ПВК) и ПДАДМАХ-ПНИПА при нагревании мутнеют, что объясняется переходом клубок / глобула термочувствительных макромолекул в объеме слабосшитой полиэлектролитной сетки (рис. 1). При этом масса геля изменяется незначительно. Данные свойства могут быть использованы в оптических системах, к примеру, в качестве покрытия для «умных» окон. Стекла с таким покрытием темнеют при нагревании на солнце и не пропускают в помещение свет, что приводит к уменьшению затрат электроэнергии на кондиционирование.

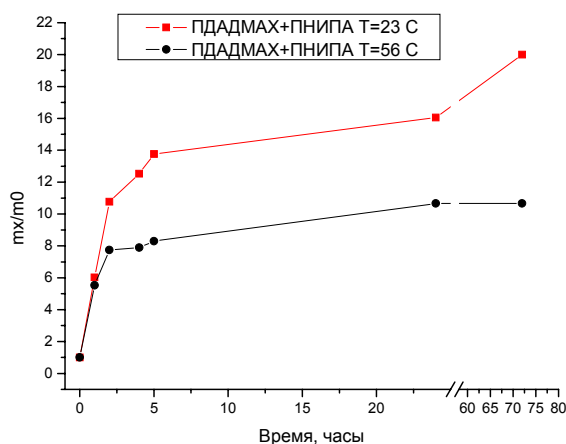


Рис. 1. Гель ПДАДМАХ-ПНИПА. Зависимость степени набухания от времени.

Список литературы:

1. Khokhlov A.R., Starodubtsev S.G., Vasilenskaya V.V.; Conformation transition in polymer gels: theory and experiment. //Adv. In Polymer Sci., 109, 123-171 (1993).

# КАТАЛИТИЧЕСКОЕ ГИДРОФОСФОРИЛИРОВАНИЕ БЕНЗОИЛЗАМЕЩЕННЫХ ГИДРАЗОНОВ

Е.Д. Матвеева, Т.А. Подругина, И.Н. Колесникова, Н.С. Зефилов

Химический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова

matveeva@org.chem.msu.

По данным всемирной организации здравоохранения проблема лечения нервнодегенеративных заболеваний (болезни Паркинсона, Альгеймера и др.) занимает третье место после сердечно-сосудистых и раковых заболеваний. Метаботропные глутаматные рецепторы (mGlu) занимают ключевое место в функционировании центральной нервной системы человека и служат мишенями при лечении нейродегенеративных заболеваний.

В последние годы было найдено, что (RS) - 1-аминоиндан-1,5-дикарбоновая кислота (AIDA) (рис. 1) проявляет существенные антагонистические свойства и высокую селективность по отношению к mGluR<sub>1</sub>, mGluR<sub>2</sub> и mGluR<sub>5</sub> подтипам метаботропных глутаматных рецепторов.

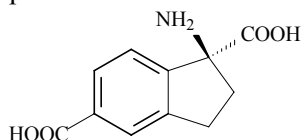


Рис. 1. (S)-AIDA.

Именно эта особенность AIDA делает это вещество перспективным для использования в качестве соединения-лидера в потенциальных лекарственных препаратах.

Настоящее исследование посвящено синтезу биоизостерных аналогов AIDA - α-гидразинофосфоновых кислот путем модификации α-аминокислотного узла цикlopентанового кольца.

Синтез этого класса соединений может быть основан на классической реакции Пудовика. Однако если гидрофосфорилирование иминов изучено достаточно широко, то гидразоны в этой реакции изучены крайне фрагментарно [1-3], так выходы α-гидразинофосфонатов на основе бензоилгидразонов цикlopентанона не превышали 13% [3].

Мы нашли, что бензоилзамещенные гидразоны ацетона и циклогексанона взаимодействуют с диэтилфосфитом без катализатора в отсутствие растворителя при 80°C, образуя соответствующие α-гидразинофосфонаты с выходом 50%. Однако эта реакция требует длительного нагревания (рис 2.).

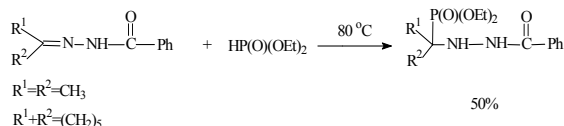


Рис. 2. Синтез α-гидразинофосфонатов в отсутствие катализатора.

Развивая разрабатываемый нами каталитический метод синтеза α-аминопроизводных фосфоновых кислот с использованием металлических комплексов фталоцианинов [4], нам удалось распространить использование катализатора фталоцианинами и на реакцию гидрофосфорилирования гидразонов. Так, мы показали, что бензоилзамещенные гидразоны как альдегидов, так и различных кетонов образуют с выходами 45-80% α-гидразинофосфонаты, неописанные ранее и недоступные другими методами.

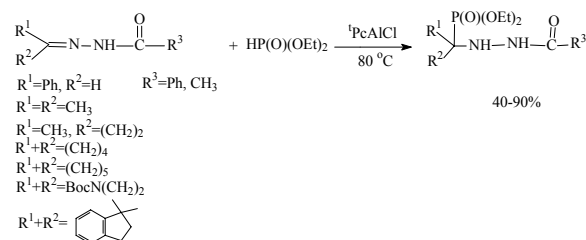


Рис. 3. Синтез α-гидразинофосфонатов в присутствии <sup>1</sup>PcAlCl.

Структуры всех полученных соединений подтверждены данными элементного анализа и спектров ЯМР <sup>1</sup>H, <sup>13</sup>C и <sup>31</sup>P.

Список литературы:

1. Rachon J., Wasielewski C., Roczniki., Chemi, 50, 477 (1976).
2. Ряписова Л. В., Кашеварова Л. Б., Фридланд С. В., Шайхiev И.Г., Журн. общ. химии, 70, 1631 (2000).
3. Chia-Ling Lien, Chi-Tung Hsu. International Journal of Applied Science and Engineering, 6, 11-17 (2008).
4. Матвеева Е.Д., Подругина Т.А., Присяжной М.В., Русецкая И.Н., Зефилов Н.С., Изв. АН, Сер. Хим., №4, с. 768-774 (2007).

# НАНЕСЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК НА ПОДЛОЖКИ С ВЫСОКОРАЗВИТОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ИЗ СРЕДЫ СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

Д.О. Коломыткин

Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова  
kolomytkin@polly.phys.msu.ru

В настоящее время разработка новых функциональных материалов является актуальной задачей для развития высокотехнологичных отраслей промышленности. В самых разных областях техники возникает необходимость модификации изначально гидрофильных материалов с целью придания им гидрофобных и сверхгидрофобных свойств. Данная проблема вызывает значительный научный интерес [1], поскольку требует разработки новых подходов, например, таких как модификация поверхности нанесением ультратонких пленок. Одно из многих применений подобной модификации лежит в области топливных элементов. В данном случае речь идет о придании гидрофобных свойств электродам топливных элементов с высоко-развитой поверхностью (что обеспечивает возможность получения сверхгидрофобных свойств в соответствии с уравнениями Венцеля и Касси-Бакстера) с фосфорной кислотой в качестве электролита. Задача интересна тем, что необходимо сохранить способность электродов пропускать газообразное топливо и окислитель, поскольку, очевидно, электрохимические реакции эффективно идут только в местах сосуществования трех фаз (электролит, газ, катализатор) [2].

Используя перспективную схему нанесения фторсодержащего полимера из среды сверхкритического диоксида углерода [3], мы ставили перед собой задачи исследования стабильности получившегося слоя и ожидаемых свойств; разработки возможных методик, позволяющих повысить износостойкость. Также мы ставили перед собой задачу провести сравнительный анализ данного метода по отношению к стандартным методам гидрофобизации и исследовать возможность использования модифицированных электродов в фосфорнокислотном топливном элементе, и оценить их влияние на рабочие характеристики элемента.

Результаты наших исследований включают в себя: зависимости контактных углов от времени для воды на изучаемых подложках, подвергшимся стандартизированным тестам (в том числе применяемых в технологии). Полученные зависимости подтверждают

улучшение общей стабильности покрытий при проведении дополнительной обработки, обеспечивающей более однородное распределение. Показано, что предложенная схема нанесения полимерной пленки при меньших затратах гидрофобизатора по сравнению со стандартной процедурой позволяет получить лучшие результаты. Также представлены вольтамперные характеристики собранных с использованием модифицированных электродов мембранно-электродных блоков. Доказана принципиальная возможность использования подобных электродов в топливных элементах и получены неплохие вольтамперные (рис. 1) и ресурсные характеристики.

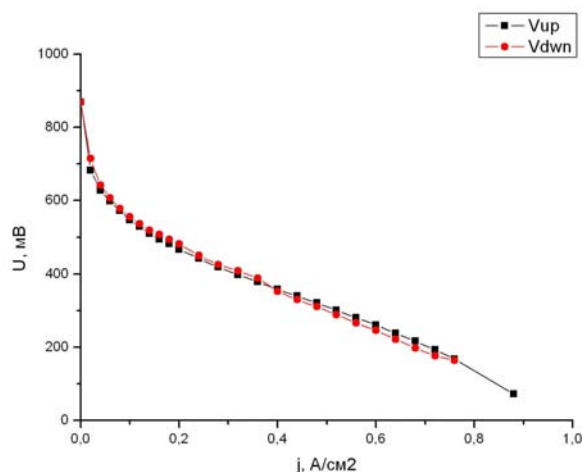


Рис. 1. Полученная вольтамперная характеристика.

Список литературы:

1. R. Sedev, M. Fabretto, J. Ralston, The Journal of Adhesion, v.80, is.6, pp.497-520 (2004).
2. Fuel cell handbook (seventh edition) (2004)
3. M.O. Gallyamov, L.N. Nikitin, A.Yu. Nikolaev, A.N. Obraztsov, V.M. Bouzник, A.R. Khokhlov, Colloid journal, v.69, is.4, pp.411-424 (2007)



# СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НОВЫХ ФТОРПРОИЗВОДНЫХ ФУЛЛЕРЕНА

Е.С. Корниенко

*Химический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова  
karnienka@mail.ru*

После открытия фуллеренов было предложено много способов их практического использования. На сегодняшний день наибольшее число патентов в области фуллеренов посвящено применению фуллеренов и нанотрубок в полупроводниковой технике и наноэлектронике. Это фотодиоды, транзисторы, солнечные батареи. Фуллерен  $C_{60}$ , обладая высокой электроотрицательностью, легко образует комплексы с переносом заряда, где выступает акцептором электронов. В диадах, состоящих из фуллерена в качестве акцептора, ковалентно связанного с фотоактивным донором, под действием света происходит фотоиндуцированный электронный переход. Высокая эффективность светопоглощения и разделения зарядов является фундаментальным принципом работы солнечных батарей. Соответственно, важной задачей является изучение производных фуллерена с повышенными акцепторными свойствами.

Ввиду сильной электроотрицательности атома фтора, его присоединение к фуллеренам приводит к увеличению электроноакцепторных свойств последних. Поэтому изучение фторсодержащих производных фуллеренов представляет собой большой интерес. В данной работе были проведены синтез, выделение и исследование электрохимических свойств двух простейших представителей нового класса фторидов фуллерена:  $C_{60}(CF_2)$  и  $C_{60}(CF_2)_2$ .

Было показано, что присоединение  $CF_2$ -мостика к фуллерену приводит к значительному анодному смещению потенциала восстановления: [6,6]-открытый  $C_{60}(CF_2)$  и

*цис*-2- $C_{60}(CF_2)_2$  претерпевают обратимое восстановление при потенциалах на 150 и 145 мВ больших, чем потенциал восстановления  $C_{60}$ . Структура, строение электронной оболочки и времена жизни получаемых в результате восстановления анион-радикалов были определены методом ЭПР и расчетами по теории функционала плотности. Показано, что в моноанионах исследуемых соединений сохраняется метиленовый мостик.

Протонирование моноанион-радикала  $C_{60}(CF_2)$  в орто-дихлорбензоле с использованием сильной Н-кислоты приводит к образованию 1,9-дигидро-(1a,1a-дифторо-1aH-1(9)а-гомо( $C_{60}$ -I<sub>h</sub>)) фуллерена,  $C_{60}(CF_2H_2)$ . Это соединение является первым охарактеризованным производным [6,6]-открытого  $C_{60}(CF_2)$ . По данным методов УФ-видимой спектроскопии, масс-спектрометрии MALDI и  $^1H$  и  $^{19}F$ -ЯМР спектров установлено, что оно имеет 6,6-открытую структуру.

Функционализация фуллеренов  $CF_2$ -группами является еще одним подходом к усилению их электроноакцепторных свойств, наряду с фторированием, трифторметилированием и т.д. Однако, в отличие от других акцепторных аддендов,  $CF_2$ -группы сохраняют  $sp^2$ -гибридизацию атомов, к которым они присоединены, и, как показано в данной работе, повышают акцепторность фуллеренового ядра. Решение проблемы синтеза этих соединений расширяет известные классы фуллереновых производных и открывает новое синтетическое направление в химии фуллеренов.

# СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ ПОЛИЯДЕРНЫХ ГЕТЕРОАРОМАТИЧЕСКИХ ЭКСТРАГЕНТОВ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И АКТИНИДОВ

А.А. Костин<sup>1</sup>, И.И. Елисеев<sup>2</sup>, М.Ю. Аляпышев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Химический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова

<sup>2</sup>НПО «Радиовый институт им. В.Г.Хлопина», С-Петербург

andrey.a.kostin@gmail.com

Производные ароматических  $\pi$ -донорных азотистых гетероциклов находятся в фокусе исследований в различных областях современной химии, медицины и материаловедения благодаря своей способности связывать и прочно удерживать ионы металлов, в том числе и редкоземельных элементов. Для изучения распознавания и комплексообразования РЗЭ с полиядерными гетероароматическими лигандами нами был синтезирован ряд амидов полициклических гетероароматических дикислот 2,2'-бипиридила (I) и 1,10-фенантролина (II).

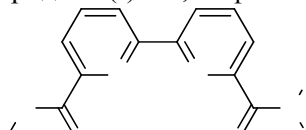


Рис. 1. Соединение (I). а)  $R_1=R_2=n\text{-Bu}$ , б)  $R_1=R_2=n\text{-Oct}$ , в)  $R_1=\text{Et}$ ,  $R_2=\text{Ph}$ .

По данным рентгеноструктурного анализа соединения **Ic** обнаружено, что в кристалле молекулы претерпевают значительное упорядочение за счет стекинг-взаимодействия. Сканирование поверхности потенциальной энергии с использованием метода функционала плотности показало, что рассчитанные барьеры внутримолекулярного вращения вокруг  $\text{CO-N}$  связи амидной группы хорошо согласуются с данными, экспериментально измеренными в растворе с помощью метода динамического ЯМР.

Было изучено комплексообразование полученных лигандов с РЗЭ в растворах, определена стехиометрия образующихся комплексов и вычислены константы комплексообразования. Были синтезированы комплексы с нитратами лантана, европия, тербия, гадолиния, церия и лютеция. Полученные соединения были охарактеризованы данными ИК, ЯМР и масс-спектропии. Строение полученных комплексов было установлено с помощью рентгеноструктурного анализа.

Для комплексов **I** с нитратом лантана с различным соотношением металл – лиганд (1:1, 1:2 и 1:3) методом динамического ЯМР была определена энергия активации конформационного вращения вокруг  $\text{C(O)-N}$  связи в амидной группировке. Характер зависимости энергии активации от соотношения металл – лиганд с выраженным минимумом для комплекса состава 1:1 позволил сделать вывод о том, что с ростом лигандного числа снижается степень участия атомов кислорода карбоксильных групп в координации с ионом металла.

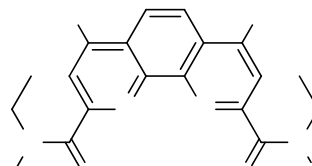


Рис. 2. Соединение (II). а)  $R = \text{O-n-Pentyl}$ , б)  $R = \text{Ph}$ .

Экстракционные свойства амидов **I** были исследованы на примере пары америций – европий в растворах азотной кислоты. Полученные данные свидетельствуют о том, что амиды 2,2'-бипиридил-6,6'-дикарбоновой кислоты являются эффективными экстрагентами для селективного выделения актинидов из смесей с РЗЭ.

Также была обнаружена очень высокая селективность амида **IIa** по отношению к лантану и европию на фоне остальных лантанидов при экстракции из растворов РЗЭ в азотной кислоте.

Кроме того, комплексы амидов 2,2'-бипиридил-6,6'-дикарбоновой кислоты с европием и тербием обнаруживают весьма интересные фотофизические свойства.

Таким образом, получена серия новых полиядерных гетероароматических лигандов и их комплексов, представляющих интерес как потенциальные селективные экстрагенты, сорбенты, а также новые люминесцентные материалы.

# МЕТОД МНОГОКАНАЛЬНОГО ГАММА-АКТИВАЦИОННОГО АНАЛИЗА

И.В. Макаренко

*МГУ им. М.В. Ломоносова, НИИЯФ им. Д.В. Скобелцына  
makarenkoirina@gmail.com*

Предложен новый метод многоканального  $\gamma$ -активационного анализа атомных ядер. Метод основан на использовании тормозного излучения с максимальной энергией фотонов 50-70 МэВ и анализе многочастичных фотоядерных реакций. Использование высокоэнергичных пучков фотонов позволяет одновременно наблюдать и исследовать многочастичные фотоядерные реакции с испусканием до 7-8 нуклонов. Это повышает надежность результатов  $\gamma$ -активационного анализа и позволяет использовать данный метод в случаях, когда реакции ( $\gamma, n$ ) или ( $n, \gamma$ ) на исследуемом ядре приводят к образованию стабильных изотопов, что делает неприменимыми методы гамма- и нейтроноактивационного анализа.

В Научно-исследовательском институте ядерной физики (НИИЯФ) им. Д.В. Скобелцына МГУ им. М.В. Ломоносова создан экспериментальный комплекс по изучению многочастичных фотоядерных реакций. Этот комплекс включает в себя компактный импульсный разрезной микротрон RTM-70 [1] на энергию электронов до 70 МэВ, детектор из сверхчистого германия Canberra GC3019, автоматизированную систему сбора данных и базу данных экспериментальных гамма-спектров [2], Центр данных Фотоядерных Экспериментов (ЦДФЭ) НИИЯФ МГУ [3].

Создана и успешно протестирована экспериментальная методика исследования многочастичных фотоядерных реакций для  $\gamma$ -активационного анализа ядер. Методика характеризуется высокой эффективностью, позволяющей изучать идущие с весьма низкими сечениями реакции фоторасщепления ядер с вылетом из ядра до семи нейтронов. Впервые наблюдались многочастичные фотоядерные реакции с вылетом из ядра до 7 нуклонов на изотопах  $^{197}\text{Au}$ ,  $^{203,205}\text{Tl}$ ,  $^{209}\text{Bi}$ . Создана система обработки экспериментальных данных, позволяющая из  $\gamma$ -спектров остаточной активности получить выходы фотоядерных реакций различной множественности. Получены выходы и интегральные сечения наблюдаемых фотоядерных реакций. Метод также позволяет использовать возбуждение изомерных состояний атомных ядер в фотоядерных реакциях для  $\gamma$ -активационного анализа.

Предложен метод определения выходов многочастичных фотоядерных реакций по характеристическому рентгеновскому излучению. В случаях, когда  $\beta$ -распады конечных ядер фотоядерных реакций не сопровождаются  $\gamma$ -переходами в дочерних ядрах, анализ  $\gamma$ -линий спектров остаточной активности не позволяет исследовать такие реакции. В то же время, если  $\beta$ -распад сопровождается переходами электронов в электронной оболочке атома дочернего ядра, такой  $\beta$ -распад может быть зарегистрирован по характеристическим рентгеновским линиям в спектре остаточной активности облученного образца. При таком методе расчета выходов фотоядерных реакций необходимо учитывать, что различные изотопы одного химического элемента могут иметь рентгеновские линии одинаковых энергий. В этом случае, чтобы рассчитать выход фотоядерной реакции по характеристическим рентгеновским линиям в спектрах, необходимо выделить вклад конечного ядра этой реакции в образование рентгеновских линий. Выделить вклад отдельного изотопа можно, анализируя временные зависимости интенсивности таких линий.

Результаты работы могут иметь следующее практическое применение: в активационном анализе для определения изотопного состава веществ, для разрушения долгоживущих изотопов радиоактивных отходов, образующихся при работе ядерных реакторов, для создания радиофармпрепаратов в медицине.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ гос. контракт 02.513.12.0046, гранта РФФИ 08-02-00620-а.

Список литературы:

1. Shvedunov V.I., et al., Nuclear Instrum. Methods., A550, 39-53 (2005).
2. Бельшев С.С., Кузнецов А.А., Макаренко И.В. Автоматизированная система накопления и анализа данных гамма-активационного анализа. Препринт НИИЯФ МГУ - 2006 - 19/818.
3. <http://www.cdfе.sinp.msu.ru>.

# МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ПОЛИАНИЛИНА

К.А. Милакин, В.Г. Сергеев

Химический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова  
milakin777@yandex.ru

Целью работы было получение композиционных материалов на основе полианилина (ПАНИ) и полимерных матриц (найлона-6, полиэтилена) и создание на их основе высокочувствительного газосенсора на аммиак и индикаторных электродов для потенциометрического определения синтетических и природных ионов в растворе.

Композиционные материалы на основе ПАНИ получали в результате окислительной полимеризации анилина под действием персульфата аммония в присутствии матриц найлона-6 (рис. 1).

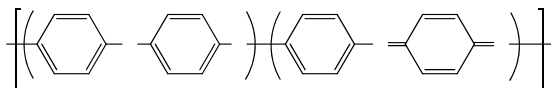


Рис. 1. Структурная формула ПАНИ, где  $y$  – параметр, принимающий значения от 0 до 1 в зависимости от степени окисления ПАНИ.

Исследование структуры и морфологии поверхности композиционных материалов методами атомно-силовой и просвечивающей электронной микроскопии показало, что композитные пленки состоят из 3 слоев: полимерной матрицы и двух приповерхностных слоев ПАНИ, представляющих собой сферические частицы размером 200-500 нм. При этом в зависимости от типа матрицы можно варьировать толщину и дисперсность слоя ПАНИ на ней. Следует отметить, что ПАНИ не оказывает существенного влияния на механические свойства композитов, которые определяются только типом матрицы, что позволяет использовать такие композитные пленки в качестве сенсорных материалов для создания газо- и биосенсоров.

Установлено, что электропроводность ПАНИ в композите (10-12 См/см) в 4 раза превышает электропроводность ПАНИ, полученного без матрицы (3-4 См/см), и зависит от его степеней окисления и допирования. Присутствие в воздухе газообразного аммиака, проявляющего основные свойства, вызывает уменьшение электропроводности ПАНИ в результате частичного депротонирования (рис. 2).

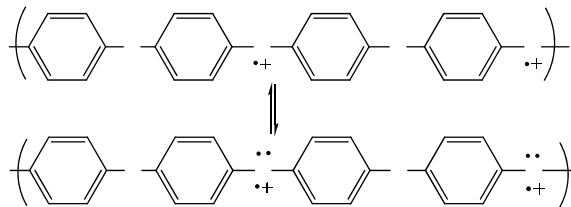


Рис. 2. Схема депротонирования ПАНИ под действием аммиака.

Разработан кондуктометрический датчик на аммиак, в котором в качестве детектирующего элемента использовали композитную пленку ПАНИ-найлон-6. Показана возможность использования данного датчика для работы в двух режимах подачи аммиака: диффузионном и потоковом. В потоковом режиме чувствительность композиционного материала составляет 1 част./млн (1 ppm), а в диффузионном –  $10^{-7}$  г/мл, что ниже предельно допустимой концентрации аммиака в воздухе ( $10^{-5}$  г/мл) на два порядка. К главным достоинствам данного датчика можно отнести возможность его полной регенерации после использования, а также высокую чувствительность, позволяющую использовать его для обнаружения некоторых видов патогенных бактерий в организме человека.

Показано, что получение композиционного материала с высокоразвитой площадью реакционной поверхности повышает способность ПАНИ вступать в окислительно-восстановительные реакции, что может быть использовано для определения некоторых типов веществ в растворе (например, аскорбиновой кислоты в напитках). На примере взаимодействия ПАНИ в композите с иодидами в растворе изучена его реакционная способность.

Показана возможность литографии на поверхности ПАНИ в композиционных материалах под воздействием высокоинтенсивного импульсного излучения. Облучение ПАНИ вызывает потерю им электропроводности, пропорциональной времени воздействия и удаленности от объекта. Предложен возможный механизм данного процесса.



# ОПТИМИЗАЦИЯ ОБОБЩЕННОГО ОРТОГОНАЛЬНОГО БАЗИСА ВЕЙЛЯ-ГЕЙЗЕНБЕРГА С УЧЕТОМ ВИДА СИММЕТРИИ ФОРМИРУЮЩЕГО ИМПУЛЬСА

Д.А. Петров

МГУ им. М.В. Ломоносова

dapetroff@gmail.com

В среде с пространственно-временным рассеянием хорошо локализованные базисы обеспечивают наилучшее восстановление сигнала. Такие базисы применяются, например, в системах связи, использующих принцип OFDM-передачи (достигается наименьшая чувствительность к межканальной и межсимвольной интерференции), в радиолокации (наилучшее разрешение объектов в пространственно-временной области), в спектральном анализе.

Разработка методов синтеза ортогональных базисов, получаемых равномерным сдвигом по времени и частоте двух и более инициализирующих функций (обобщенных базисов Вейля-Гейзенберга), представляет самостоятельный интерес независимо от области их последующего применения. Однако именно в системах передачи информации использование хорошо локализованных ортогональных базисов является необходимым для создания устройств с высокой спектральной эффективностью и низким энергопотреблением. В частности, такие базисы лежат в основе разрабатываемой автором OFTDM схемы модуляции, позволяющей получить наилучшее частотно-временное уплотнение модулирующих символов (Orthogonal Frequency Time Division Multiplexing).

Известно, что в цифровых OFDM системах связи наибольшую спектральную эффективность можно достичь, применяя смещенную квадратурную амплитудную модуляцию (OQAM) и согласованный с этим видом модуляции обобщенный ортогональный базис Вейля-Гейзенберга [1,2]. Передаваемый OFTDM сигнал  $s(t)$  в дискретном времени можно эквивалентно представить в виде:

$$s[n] = \sum_{k=0}^{M-1} \left( \sum_{l=0}^{L-1} c_{k,l}^R \psi_{k,l}^R[n] - \sum_{l=0}^{L-1} c_{k,l}^I \psi_{k,l}^I[n] \right), \quad n \in J_N$$

$$\psi_{k,l}^R[n] = g[(n - lM)_{\text{mod } N}] \exp\left(j \frac{2\pi}{M} k(n - \alpha/2)\right),$$

$$\psi_{k,l}^I[n] = -jg[(n + M/2 - lM)_{\text{mod } N}] \times \exp\left(j \frac{2\pi}{M} k(n - \alpha/2)\right),$$

где  $j = \sqrt{-1}$ ;  $c_{k,l}^R = \text{Re}(a_{k,l})$ ,  $c_{k,l}^I = \text{Im}(a_{k,l})$  - действительные и мнимые части комплексных информационных QAM символов  $a_{k,l}$ ;  $s[n] = s(nT/M)$ ,  $g[n] = g(nT/M)$ ,  $J_N = \{0, 1, \dots, N-1\}$ ,  $\psi_{k,l}^R[n]$  и  $\psi_{k,l}^I[n]$  - комплексные функции, полученные в результате равномерных сдвигов по времени и частоте двух инициализирующих функций  $g(t)$  и  $g(t + T/2)$ ;  $M \geq 2$  - количество поднесущих,  $N = M \cdot L \geq M$ ;  $F = 1/T$  - расстояние между поднесущими,  $T$  - символьный временной период;  $\alpha \in \mathbb{R} = (-\infty, \infty)$  - фазовый параметр. Система базисных функций  $\mathcal{B}[J_N] \triangleq \{\psi_{k,l}^R[n], \psi_{k,l}^I[n]\}$ , нормирована и ортогональна на дискретном интервале  $J_N$  в смысле вещественного скалярного произведения

$$\langle x[n], y[n] \rangle_R = \text{Re} \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \cdot \bar{y}[n].$$

В работе была рассмотрена алгебраическая процедура построения обобщенно ортогонального базиса Вейля-Гейзенберга, обладающего свойством наилучшей локализации одновременно в частотной и временной областях. Теоретически обоснован выбор оптимального значения фазового параметра ( $\alpha$ ) такого базиса для случаев (N-1)-симметрии и сопряженной N-симметрии инициализирующей функции.

Смещение  $\alpha$  от оптимального значения приводит к исчезновению симметрии формирующего импульса и к увеличению его «боковых лепестков» (рис. 1).

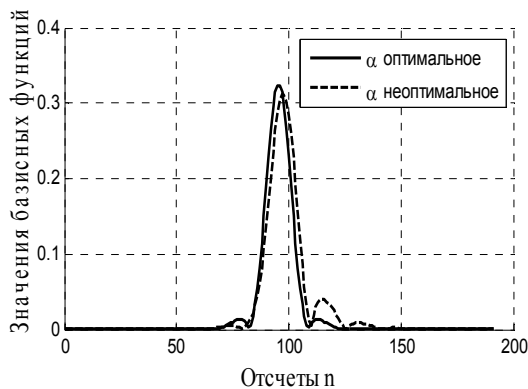


Рис. 1. Графики базисной функции  $g[n - N/2]$  при различных значениях  $\alpha$ .

При этом, было получено, что оптимальным, с точки зрения локализации базиса является случай сопряженной  $N$ -симметрии.

Дополнительно улучшить локализацию базиса можно за счет оптимального выбора сопряженной  $N$ -симметричной формирующей функции.

На рис.2 приведены результаты сравнения базисных функций идеально локализованного, но не ортогонального базиса Габора и полученного в результате моделирования оптимального базиса Вейля-Гейзенберга.

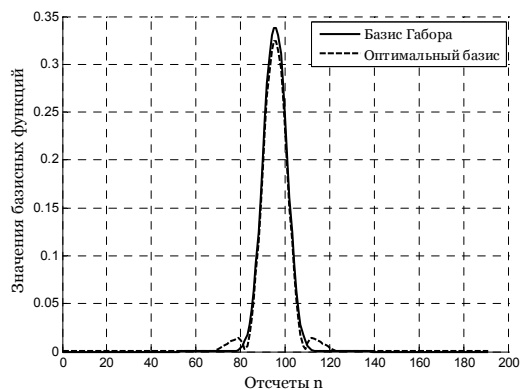


Рис. 2. Формирующие функции базиса Габора и оптимального базиса Вейля-Гейзенберга.

**Теорема.** Пусть  $g[n], n \in J_{-N,N}$  - произвольная комплексная последовательность, заданная на симметричном целочисленном интервале  $J_{-N,N} \triangleq \{-(N-1), \dots, (N-1)\}$ ;

$\tilde{q}^{(N)}[n] \triangleq q[(n)_{\text{mod } N}]$  - некоторая комплексная  $N$ -периодическая комплексная последовательность, рассматриваемая на том же интервале  $J_{-N,N}$ ;  $\tilde{\mathcal{C}}[J_N] = \{\tilde{q}^{(N)}[n]\}$

- множество всех таких последовательностей. Тогда наилучшая  $N$ -периодическая аппроксимация  $\tilde{g}_0^{(N)}[n]$  для  $g[n]$ , доставляющая минимум в задаче

$$\tilde{g}_0^{(N)}[n]: \sum_{n=-(N-1)}^{N-1} (g[n] - \tilde{q}^{(N)}[n])^2 \rightarrow \min_{\tilde{q}^{(N)}[\cdot] \in \tilde{\mathcal{C}}[J_N]},$$

описывается выражением:

$$\tilde{g}_0^{(N)}[n] = (\tilde{g}^{(N)}[n] + \tilde{g}^{*(N)}[-n]) / 2.$$

#### Список Литературы:

1. Bolscei, H. and all (1999) Efficient design of OFDM/OQAM pulse shaping filter // Proceedings of IEEE International Conference on Communications (ICC 99), vol.1, p. 559-564.
2. Волчков В. П. (2007) Сигнальные базисы с хорошей частотно-временной локализацией // Журнал «Электросвязь», №2, С. 21-25.
3. Волчков В.П., Петров Д.А. Оптимизация ортогонального базиса Вейля-Гейзенберга для цифровых систем связи, использующих принцип OFDM/OQAM передачи// Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика. 2009. №1(56). Вып. 9/1. 104-115

# АРОМАТИЗАЦИЯ C<sub>6</sub>-C<sub>8</sub> ФРАКЦИИ ПИРОКОНДЕНСАТА НА МЕТАЛЛОСодЕРЖАЩИХ ЦЕОЛИТНЫХ КАТАЛИЗАТОРАХ

Б.А. Солопов

*МГУ им. М.В. Ломоносова*

*E-mail: bsolopov@mail.ru*

С целью уменьшения потерь ценного углеводородного сырья при переработке в России пироконденсата, актуальной задачей на сегодняшний день является внедрение в технологическую схему переработки пироконденсата состава C<sub>6</sub>-C<sub>8</sub> стадии доароматизации, при которой парафины и нафтены будут превращаться в ароматические углеводороды, что приведёт к увеличению выхода бензола и уменьшению образования топливного газа после стадии гидродеалкилирования.

Перспективными катализаторами ароматизации являются цеолиты, модифицированные металлами. В связи с этим целью данной работы являлась разработка эффективного бифункционального катализатора, содержащего цеолит и металл, для ароматизации углеводородов состава C<sub>6</sub>-C<sub>8</sub> гидрированной фракции пироконденсата в условиях присутствия водорода и избытка ароматических соединений.

В качестве катализаторов в работе были выбраны цеолиты структурных типов MFI с различным соотношением Si/Al; BEA и LTL. Цеолиты модифицировали методом пропитки по влагоемкости соединениями цинка и галлия в количестве, а также платины. Полученные в работе образцы были охарактеризованы методами химического анализа, низкотемпературной адсорбции азота и термопрограммированной десорбции аммиака. Каталитические эксперименты проводили в проточной установке при атмосферном давлении в интервале температур 400-500 °C, массовой скорости подачи сырья 3 ч<sup>-1</sup>, в присутствии водорода.

Изучение влияния типа цеолита на ароматизацию углеводородов состава C<sub>6</sub>-C<sub>8</sub> фракции пироконденсата показало, что катализаторы на основе MFI более активны и селективны по сравнению с BEA и LTL. Найдено оптимальное отношение кремния к алюминию, обеспечивающее наибольший выход ароматических углеводородов. Показано, что на более кислотных MFI протекают процессы крекинга с образованием легких алканов, тогда как менее кислотные приводят к снижению

активности в ароматизации. Изучение природы металла показало, что при низких температурах Ga-содержащие MFI более активны в ароматизации алканов и нафтеносостава C<sub>6</sub>-C<sub>8</sub>, чем образцы, модифицированные соединениями цинка, тогда как при высоких температурах более активны цинк-содержащие катализаторы. Найдено оптимальное количество нанесенного металла, как для Zn-содержащих, так и для Ga-содержащих катализаторов.

Таким образом, разработан эффективный катализатор ароматизации C<sub>6</sub>-C<sub>8</sub> фракции пироконденсата, который представляет собой модифицированный цинком цеолит MFI, обеспечивающий прирост ароматических углеводородов 7,2 мас.%, прирост бензольных колец 5,5 мас.% при 100 % конверсии алканов и нафтеносостава C<sub>6</sub>-C<sub>8</sub>.

Следует отметить, что технологически оправдано внедрение стадии ароматизации при переработке пироконденсата, если прирост бензольных колец будет не менее 4,5 мас.%. При этом технологическая линия должна быть дополнена реактором с катализатором. Важно, что в данном случае модернизируется уже существующая система, при этом наше решение гораздо более простое и дешёвое по сравнению, например, с зарубежными схемами, которые предполагают установку сложного и дорогого ректификационного и экстракционного оборудования.

В планы дальнейшей работы входит оптимизация материала катализатора и повышение его сероустойчивости, а так же оптимизация условий реакции с различным сырьём. Вместе с тем планируется отработать методику изготовления катализатора со связующим, с тем чтобы выработать укрупнённую партию для проведения пилотных испытаний.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (№ 08-03-00972).

# ПЕРВАПОРАЦИОННОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ ВОДНО-ОРГАНИЧЕСКИХ СМЕСЕЙ НА МЕМБРАНАХ С ЦЕОЛИТОМ NaA

Д.А. Федосов, А.А. Наширбаев

Химический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова  
dfedosov@inbox.ru

Метод первапорации разрабатывался как альтернативная технология хорошо освоенным, но недостаточно эффективным способом разделения жидких компонентов, образующих азеотропные смеси, имеющих близкие температуры кипения или легко разлагающихся при нагреве. Он совмещает в себе процессы селективного транспорта вещества через мембрану и испарения после нее за счет пониженного давления. Создание мембран с высокими сепарационными свойствами позволило в последнее время успешно внедрить первапорационную технологию в циклы таких процессов, как получение МТБЭ [1] и биоэтанола [2].

На практике для разделения азеотропной смеси вода/органическое соединение довольно часто используют гидрофильные полимерные мембраны. Однако показано, что наиболее эффективными по пропускной способности и селективности в данном процессе являются неорганические мембраны с микропористым цеолитом NaA [2]. Высокие показатели обусловлены сильной гидрофильной природой материала и специфическим размером пор цеолита NaA, составляющим 0,4 нм, что больше диаметра молекул воды, но меньше диаметра большинства органических молекул.

В данной работе был получен принципиально новый композитный материал с цеолитным слоем NaA на гибкой металлокерамической подложке.

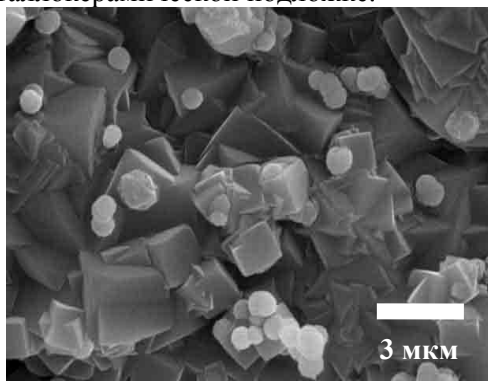


Рис. 1. Микрофотография СЭМ поверхности цеолитной мембраны.

Монолитный цеолитный слой на поверхности мембраны образован сросшимися кристаллами кубической формы размером от 1 до 3 мкм (рис. 1). Такой

материал превосходит существующие аналоги на алюмооксидных носителях по прочности, отношению полезной площади к общему объему и имеет меньшую стоимость. Его сепарационные свойства были исследованы в серии первапорационных тестов по разделению водно-органических смесей (рис. 2).

С увеличением размера молекулы органического компонента происходит рост коэффициента разделения, определяемого как  $[x_p/(1-x_p)]/[x_f/(1-x_f)]$ , где  $x_{p(f)}$  - массовая доля воды в пермеате (основном потоке). Этот результат указывает на реализацию механизма молекулярной фильтрации, что, в свою очередь, свидетельствует о высоком качестве цеолитного слоя мембраны. При этом проницаемость мембраны изменяется лишь в незначительной степени и определяется диффузией молекул воды.

Таким образом, разработанный нами мембранный материал действительно обладает высокими сепарационными характеристиками по отношению к воде и может эффективно применяться для абсолютирования органических соединений.

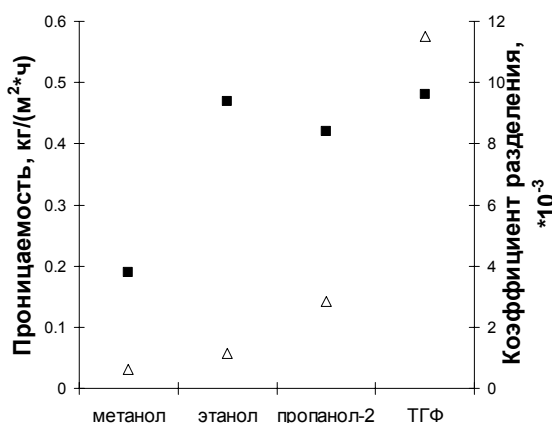


Рис. 2. Проницаемость (■) и коэффициент разделения (Δ) мембраны с цеолитом NaA для водно-органических смесей.

Список литературы:

1. Ravanchi M.T., Desalination, 235, 199-244 (2009).
2. Morigami Y., Separation and Purification Technology, 25, 251-260 (2001).



# РАЗРАБОТКА ПОДХОДОВ К СТАБИЛИЗАЦИИ ФЕРМЕНТОВ БАКТЕРИОФАГОВ КАК ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫХ АГЕНТОВ ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ БОЛЕЗНЕЙ МИКРОБНОЙ (СТРЕПТОКОККА И СТАФИЛОКОККА) ЭТИОЛОГИИ В МЕДИЦИНЕ И ВЕТЕРИНАРИИ

Л.Ю. Филатова, Н.Л. Клячко

*Кафедра химической энзимологии химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова  
lubfil@rambler.ru*

Стрептококк и стафилококк являются наиболее опасными из всех грамм - положительных микроорганизмов. Например, стрептококк групп А и С вызывает такие заболевания, как ангина, импетиго, рожа, скарлатина, ревматизм, нефриты, эндокардиты. 25% штаммов стрептококка группы А устойчивы к пенициллину. В России ежегодно болезни стрептококковой этиологии поражают 3 - 5 млн. человек, 10% случаев имеют летальный исход. Золотистый стафилококк способствует возникновению фурункулов, ячменей, пневмоний, менингитов, эндокардитов, нагноений и инфекций по типу заражения крови. 90% штаммов золотистого стафилококка обладает множественной резистентностью к антибиотикам. Среди пациентов, зараженных *Staphylococcus aureus*, смертность составляет 30%, в России болезни стафилококковой этиологии ежегодно поражают более 100.000 человек.

Литические ферменты бактериофагов являются альтернативой антибиотикотерапии. Такие ферменты образуются на конечных стадиях инфицирования бактериальных клеток фаговыми частицами. Они способны разрушать клеточную стенку бактерий, что делает их перспективными антимикробными агентами.

В 2005 году был выделен фермент, продуцируемый бактериофагом К при заражении им клеток *Staphylococcus aureus*. В литературе он встречается под именем LysK. Данный фермент способен лизировать клетки более 20 штаммов *Staphylococcus aureus*, в том числе резистентных к метициллину.

В середине 70-х годов сотрудниками Rockefeller University Нью-Йорка (США) был обнаружен фермент, лизирующий клетки стрептококка групп А и С. Данный фермент является фаг-ассоциированным и продуцируется после заражения бактериальной клетки бактериофагом C1. Этот фермент осуществляет гидролиз амидной связи между L-аланином и N-ацетилмурамовой кислотой пептидогликанового остова кле-

точной стенки стрептококка. В литературе он встречается по имени PlyC.

Основным недостатком данных ферментов, препятствующим их применению в качестве антибактериальных агентов, является их низкая стабильность при физиологической температуре (37°C) и при температуре хранения (25°C, комнатная температура). Кроме того, эти ферменты как биокатализаторы практически не изучены.

В связи с этим одной из задач исследования было получение основных характеристик ферментов, знание которых важно для подбора стабилизирующих агентов. Во – первых, это уточнение молекулярной массы, олигомерной организации и субстратной специфичности полученных ферментов. Во - вторых, дискриминация механизмов инактивации. В третьих, идентификация групп, входящих в состав реакционных центров.

Подбор стабилизирующих агентов осуществлялся с учетом следующих требований: эффектор должен увеличивать сродство фермента к субстрату, быть нетоксичным и биоразлагаемым, метод модификации должен быть прост и дешев, фермент в препарате должен сохранять активность в течение 0,5 – 1 года при +25°C (температура хранения).

В экспериментах было показано, что оба фермента содержат в своих реакционных центрах цистеин и гистидин, причем окисление цистеина не является лимитирующей стадией процесса инактивации. Установлено, что молекула LysK состоит из одной субъединицы, основная причина его инактивации – агрегация макромолекул. Обнаружено, что PlyC – олигомерный фермент, инактивирующийся по диссоциативному механизму.

В экспериментах по стабилизации были использованы следующие подходы: наложение внутримолекулярных химических сшивок; включение в композиции, содержащие нетоксичные низкомолекулярные добавки и полиэлектролиты; химическая иммобилизация на полимерных носителях. Причины наблюдаемых эффектов обсуждаются.

# МУЛЬТИФЕРРОИДНЫЕ ТРЁХМЕРНЫЕ ФОТОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ

Б.Б. Цема, М.И. Шарипова, В.В. Абрамова, С.О. Климонский, А.А. Ежов,

Т.В. Долгова, А.А. Федянин

МГУ им. М.В. Ломоносова

*tsema@nanolab.phys.msu.ru*

Фотонный кристалл (ФК) представляет собой структуру с периодически изменяющимся показателем преломления. Как и обычный кристалл, ФК может запрещать существование фотонов с некоторым диапазоном длин волн во всём кристалле (так называемая, фотонная запрещённая зона). Контролируемое создание таких областей в зонной структуре фотонного кристалла открывает возможности для контроля над распространением излучения, и является актуальной задачей современной физики.

Одним из распространённых способов создания трёхмерных фотонных кристаллов на данный момент является изготовление инвертированных опалов из материалов с различными электрическими и магнитными свойствами. Таким образом формируются функциональные ФК: сегнетоэлектрические, магнитооптические, полупроводниковые. Однако до настоящего времени отсутствовали способы получения инвертированных опалов из материалов, в которых магнитные и электрические свойства взаимосвязаны (например, из мультиферроиков).

В данной работе исследуются структурные и оптические свойства впервые полученного трёхмерного фотонного кристалла, представляющего собой инвертированный опал из мультиферроика  $\text{BiFeO}_3$ .

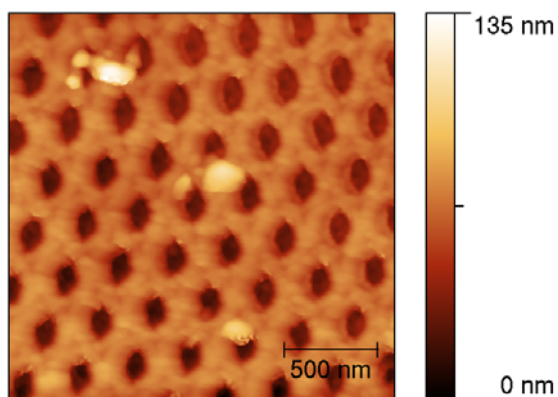


Рис. 1. АСМ-изображение поверхности фотонного кристалла инвертированного опала.

Атомно-силовая микроскопия была выбрана как удобный способ получить изображение поверхности ФК с нанометровым разрешением. Изображение участка инвертиро-

ванного опала (рис. 1) показывает высокую степень упорядоченности. Период структуры составляет 330 нм. С помощью контактной атомно-силовой микроскопии был оценён характерный размер формирующих образцов нанокристаллов, лежащий в диапазоне от 40 до 70 нм.

Типичные обнаруженные размеры областей, на которых существует упорядоченная структура, достигают 50 микрон, что позволяет провести микроспектроскопические исследования (рис. 2). На спектре отражения наблюдается запрещённая фотонная зона на длине волны 520 нм, положение которой попадает в теоретически рассчитанный диапазон длин волн. При расчёте была принята во внимание зависимость диэлектрической проницаемости  $\text{BiFeO}_3$  от длины волны проходящего излучения. Две линии спектра соответствуют различным участкам упорядоченности образца.

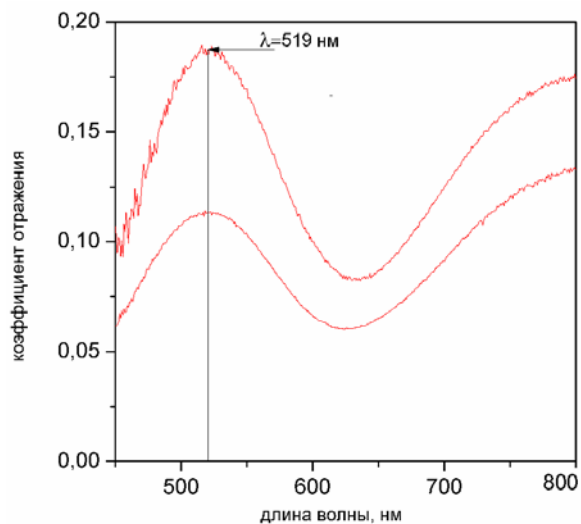


Рис. 2. Фотонная запрещённая зона в спектре отражения. Две линии соответствуют различным участкам упорядоченности образца.

# ФОТОННОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ПЛАНАРНЫЕ МИКРОИНТЕРФЕРОМЕТРЫ МАХА-ЦЕНДЕРА ДЛЯ СЕНСОРИКИ

А.В. Четвертухин, Е.В. Дрынкина, А.А. Федянин

Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова  
chetvertukhin@nanolab.phys.msu.ru

Использование фотонных кристаллов (ФК) позволяет создавать волноводные структуры с большими углами сгиба, что приводит к существенному уменьшению размеров устройства. Для управления распространением лазерного излучения в пространстве удобно использовать планарные ФК-волноводы сделанные на основе двумерного ФК (периодичность показателя преломления по двум направлениям) и волноводной пластины, ограничивающей распространение светового сигнала по третьему направлению за счет эффекта полного внутреннего отражения (для чего берется оптически более плотный чем окружение материал).

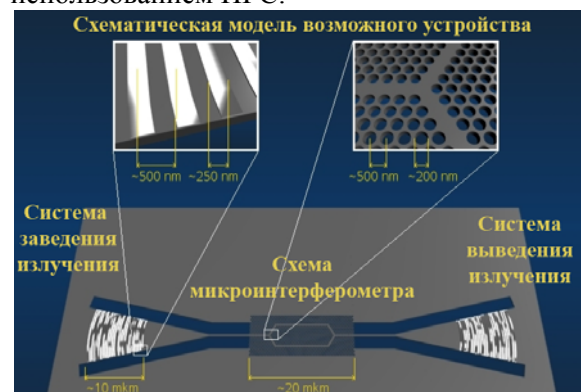
В данной работе представлены результаты реализации частей фотоннокристаллических планарных микроинтерферометров. Для изготовления волноводной пластины был выбран кремний, а в качестве подложки — диоксид кремния. Далее была спроектирована и численно оптимизирована с использованием метода плоских волн и метода конечных разностей во временном домене схема планарного интерферометра Маха-Цендера из фотоннокристаллических волноводов. Чтобы проводить исследования с высоким временным разрешением, используются лазеры с длиной импульса 120 фс и длиной волны 1560 нм, которая лежит в окне прозрачности кремния.

Отдельную задачу представляет собой заведение и выведение фемтосекундного лазерного излучения в волноводную пластину, оптимизированная толщина которой для исследуемой длины волны составляет 220 нм. Для этого был выбран метод субдлинноволновой золотой дифракционной решетки, изготовленной на поверхности волновода и оптимизированной для направления -1 порядка дифракции (остальные должны отсутствовать для увеличения эффективности) вдоль плоскости волновода, что делает возможным эффективную перекачку энергии в волноводную моду. Данный метод был численно смоделирован и оптимизирован для изготовления системы заведения/выведения. По расчетам эффективность заведения может составлять около 30%, период решетки около 630

нм для угла падения  $45^\circ$  толщина золотой решетки 20 нм.

Для изготовления тонкой кремниевой волноводной пластины и субдлинноволновой золотой решетки было применено напыление 220 нм кремния и 20 нм золота с использованием метода нагрева с помощью электронного пучка. Дифракционная субдлинноволновая золотая решетка была изготовлена методом УФ лазерной интерференционной литографии. Интерференционная картина в виде полос требуемого диаметра создавалась с помощью интерферометра Ллойда на слое фоторезиста, лежащего поверх напыленного на кремниевую волноводную пластину слоя золота. Далее следовало проявление для создания маски из фоторезиста. Следующим этапом было создание и оптимизация концентрации раствора для травления золота по изготовленной маске из фоторезиста. Эта задача была успешно решена.

Полученные образцы систем ввода-вывода излучения были охарактеризованы методами атомно-силовой, электронной и оптической микроскопии. Дифракционные способности полученной субдлинноволновой решетки исследованы оптическим методом с использованием ПГС.



Микроинтерферометры Маха-Цендера могут быть использованы для повышения точности сенсорики, добавляя предполагаемому устройству чувствительный интерференционный метод. Также преимуществом являются предполагаемые микроскопические размеры предполагаемого устройства — порядка десятков микрон.

# ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОПОЛЯРИЗАТОРОВ НА ОСНОВЕ АНИЗОТРОПНЫХ ПЛАЗМОННЫХ МЕТАМАТЕРИАЛОВ

М.Р. Щербаков, А.А. Федянин

Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова  
shcherbakov@nanolab.phys.msu.ru

Одной из первоочередных задач современной оптики и лазерной физики является проблема управления распространением света на нанометровых масштабах. Одним из решений, связанных с обработкой оптического сигнала на субдлинноволновых масштабах, является использование поверхностных плазмон-поляритонов. Наноструктурирование среды, в которых могут возбуждаться такие поверхностные состояния, позволяют создавать различные условия распространения и преобразования оптического сигнала. Материалы, имеющие особенности структурирования, сравнимые или меньшие длины волны излучения оптического диапазона, способны оказывать значительное воздействие на состояние проходящего через них света, в том числе, на состояние поляризации. Такие материалы относятся к классу так называемых метаматериалов [1].

Данная работа посвящена моделированию распространения излучения оптического диапазона через тонкие металлические пленки, в которых проделан периодический массив прямоугольных отверстий (рис. 1), называемые анизотропными оптическими метаматериалами. Пропускание такой структуры света является чувствительным к состоянию его поляризации [2]. Пропускание излучения с линейной поляризацией, ориентированной вдоль отверстий, обычно менее эффективно пропускания света с ортогональным состоянием поляризации. В работе изучалась способность такого рода наноструктур поляризовать излучение. Были вычислены спектральные зависимости коэффициентов экстинкции образцов, представляющих собой пленку серебра толщиной 150 нм, располагающуюся на подложке из плавленного кварца, в которой с периодом 400 нм проделаны сквозные отверстия шириной 100 нм. Длина отверстий варьировалась в диапазоне от 100 нм до 400 нм. Показано, что коэффициент экстинкции такими структурами одной из линейных поляризаций может составлять вплоть до 0,005 в видимом диапазоне и 0,0003 в ближнем ИК-диапазоне (рис. 2), что позволит использовать такого рода метаматериалы в качестве микрополяризаторов.

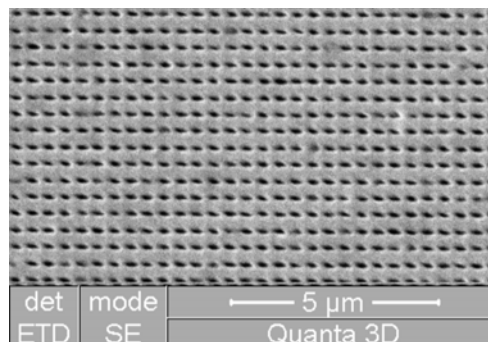


Рис. 1. Пример изготовленного методом сфокусированного ионного пучка образца анизотропного метаматериала. Изображение получено в растровом электронном микроскопе.

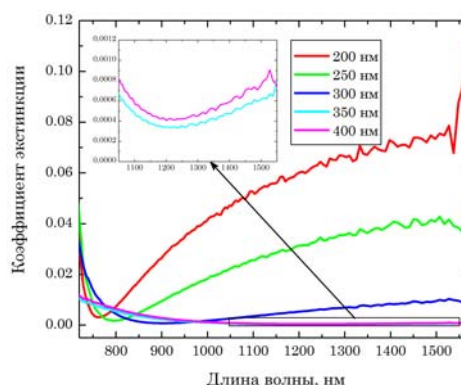
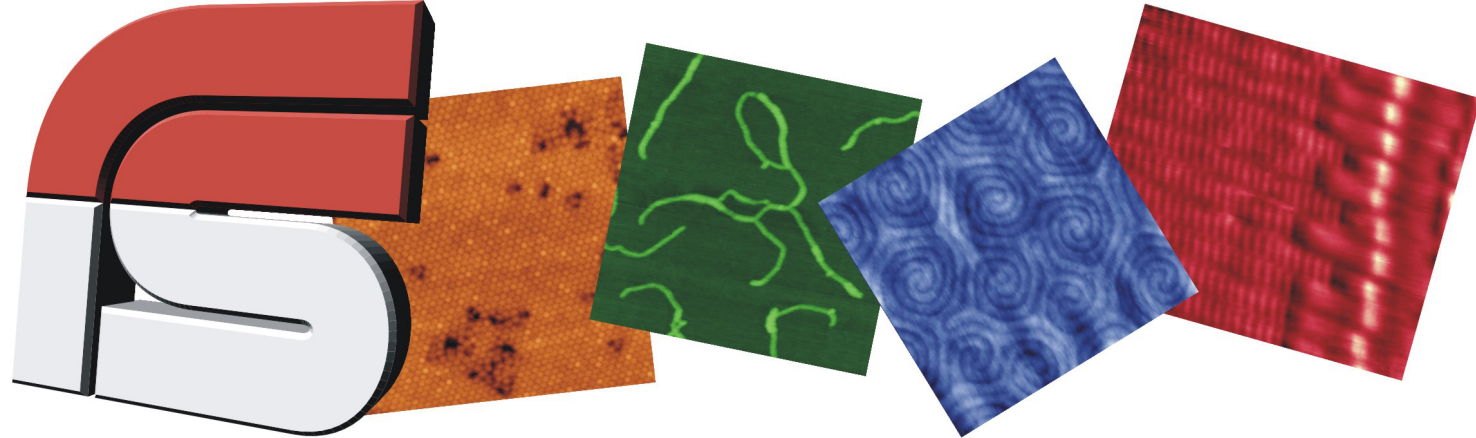


Рис. 2. Вычисленный спектр коэффициента экстинкции анизотропных метаматериалов в ближнем ИК-диапазоне. Кривые разного цвета обозначают спектры образцов с отверстиями различной длины.

## Список литературы:

1. R.A. Shelby, D.R. Smith, S. Schultz, , Experimental verification of a negative index of refraction, Science 292, 77-79 (2001).
2. R. Gordon, *et al.*, Strong Polarization in the Optical Transmission through Elliptical Nanohole Arrays, Phys. Rev. Lett. 92, 037401 (2004).





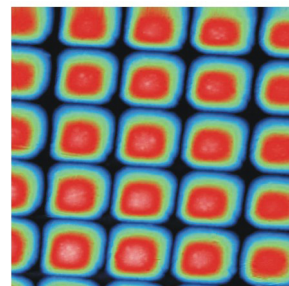
## Центр перспективных технологий

[www.nanoscopy.net](http://www.nanoscopy.net), [sptm@nanoscopy.net](mailto:sptm@nanoscopy.net), (495) 926-37-59

**Практикум по наноскопии** — это увлекательное путешествие в мир атомов и молекул

### Практикум комплектуется

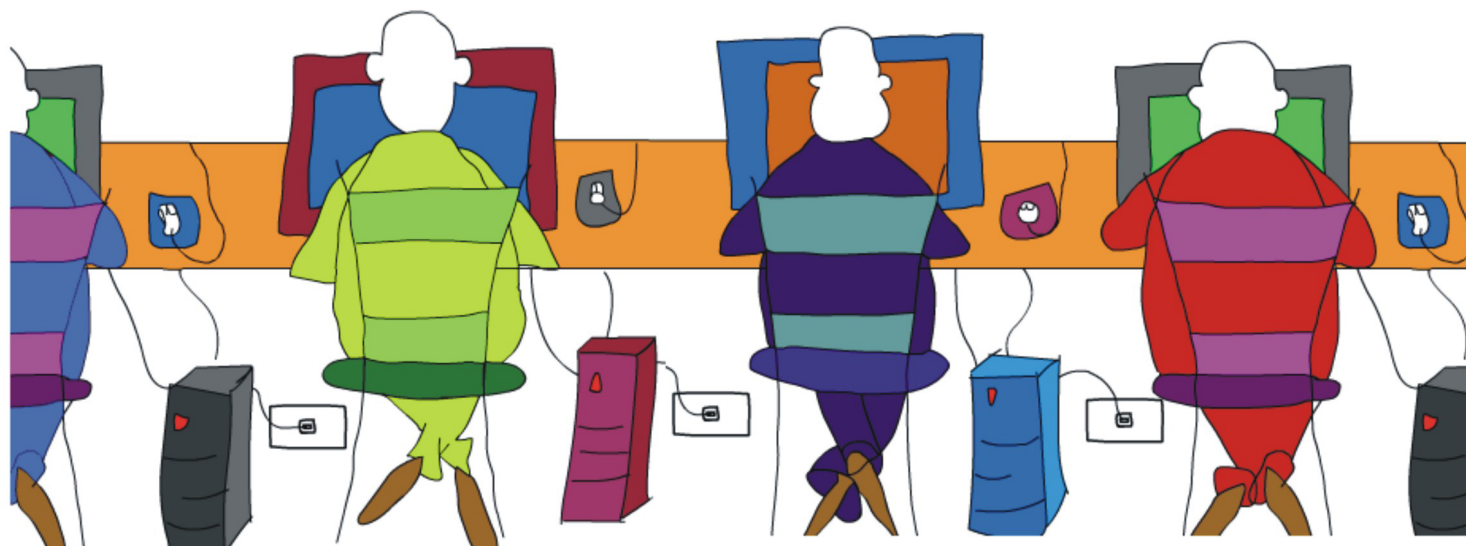
- ✎ сканирующим зондовым микроскопом “ФемтоСкан”
- ✎ компьютерами с большими экранами
- ✎ наборами образцов и наглядными описаниями
- ✎ программным обеспечением для управления микроскопом и построения трехмерных картинок



В практикуме Вы приобретаете полезные навыки работы на микроскопе. Доступны режимы туннельной, атомно-силовой, резистивной, электростатической, магнитно-силовой микроскопии и нанолитографии.

Технологии открытого  
интернет образования по  
наноскопии

**5+**



ФемтоСкан™. Сканирующие зондовые микроскопы, программное обеспечение, расходные материалы и аксессуары для нанотехнологий.

**ATC**  
ADVANCED TECHNOLOGIES CENTER

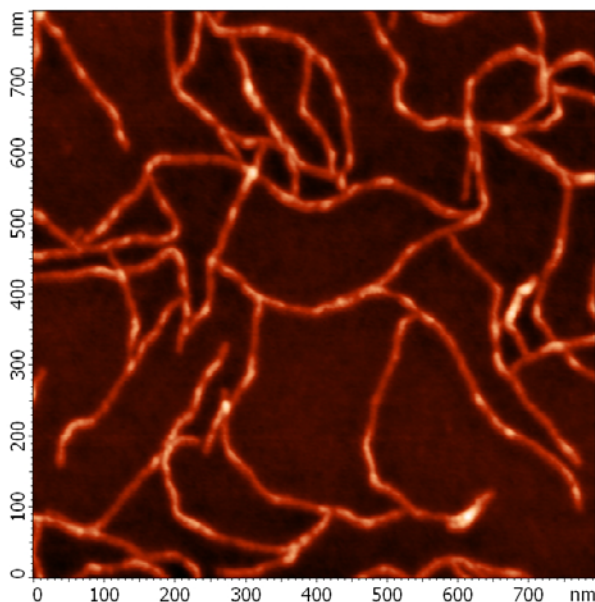


# Конкурс изображений

# BioImage

Багров Дмитрий Владимирович  
МГУ им. М.В. Ломоносова

Микроскоп: атомно-силовой микроскоп Solver Pro-M (НТ-МДТ, Россия)



На изображении представлены нанофибриллы рекомбинантного белка паутины 1F9 на слюде. Образец предоставлен В.Г. Богушем (Государственный научный центр «ГосНИИГенетика»).

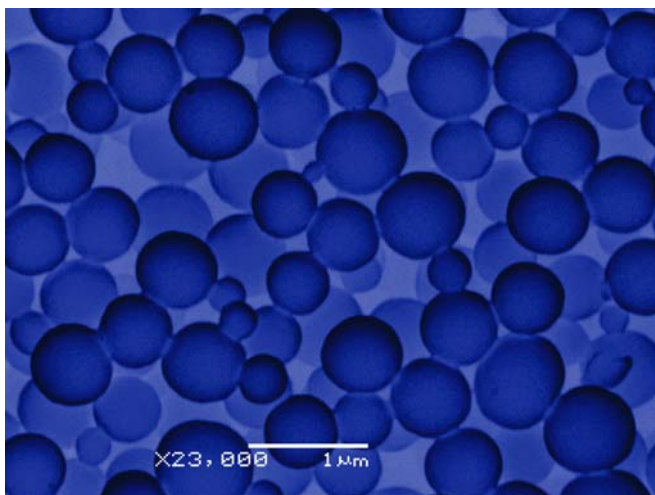
Никитин Николай Александрович

Кафедра вирусологии биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова  
Микроскоп: сканирующий электронный микроскоп «JEOL» JSM-6380LA

## Наночастицы на основе фитовирусов.

Отсутствие общих патогенов у растений и человека делает фитовирусы биобезопасными для применения в нанобиотехнологии. Разработаны условия образования наночастиц сферической формы регулируемых размеров, полученных путем термической обработки спирального палочковидного фитовируса - вируса табачной мозаики.

Подобные наночастицы могут служить удобной матрицей для образования комплексов с биологически активными веществами (вакциногены, ферменты, медицинские препараты).

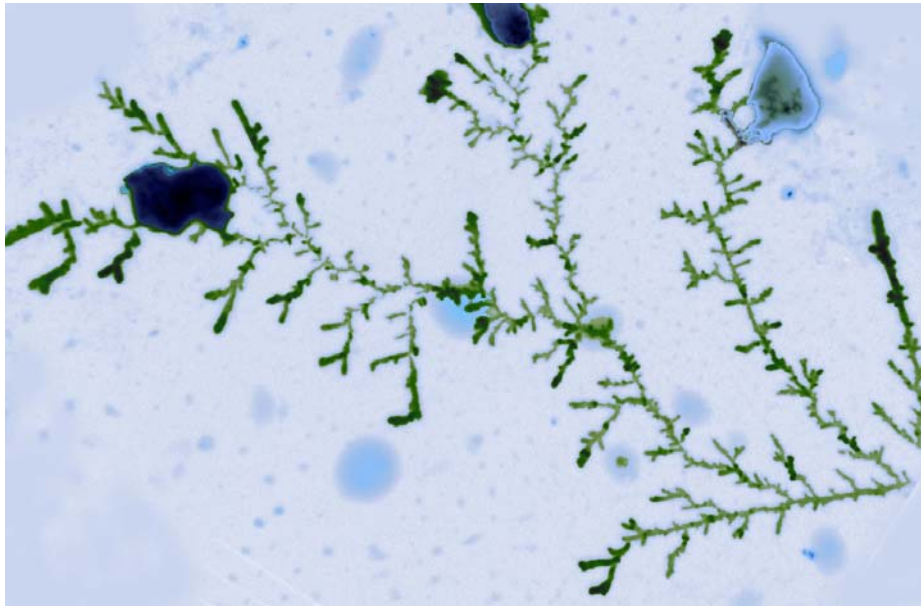


# BioImage

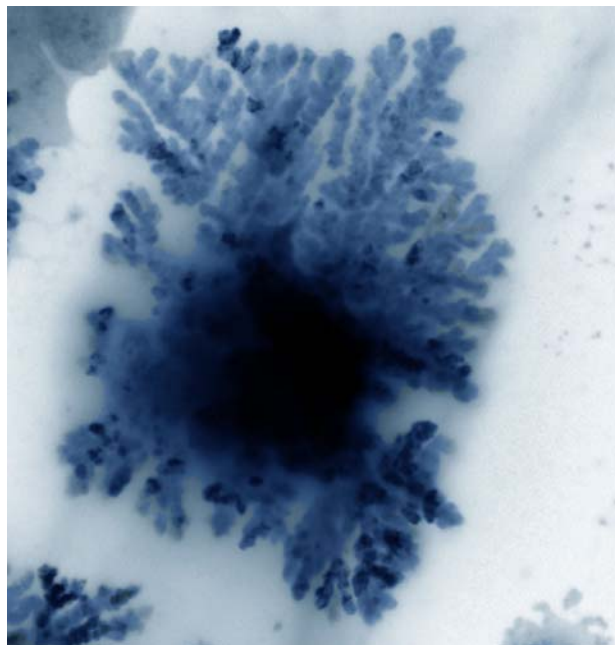
Пищальникова Анастасия Владимировна

*Кафедра биоинженерии биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова*

*Микроскоп: электронный трансмиссионный микроскоп JEM-1011*



Водоросли в воде. Изображение лизата эукариотических клеток (кристаллов соли).



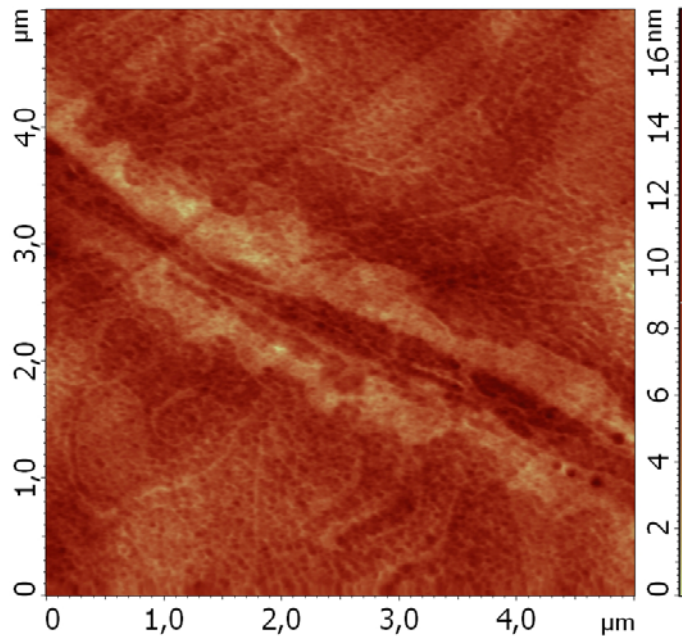
Снежинка. Изображение лизата эукариотических клеток (кристаллов соли).

# BioImage

Роскошная Анна Сергеевна

*Кафедра биоинженерии биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова*

*Микроскоп: атомно-силовой микроскоп Solver Pro-M (НТ-МДТ, Россия)*

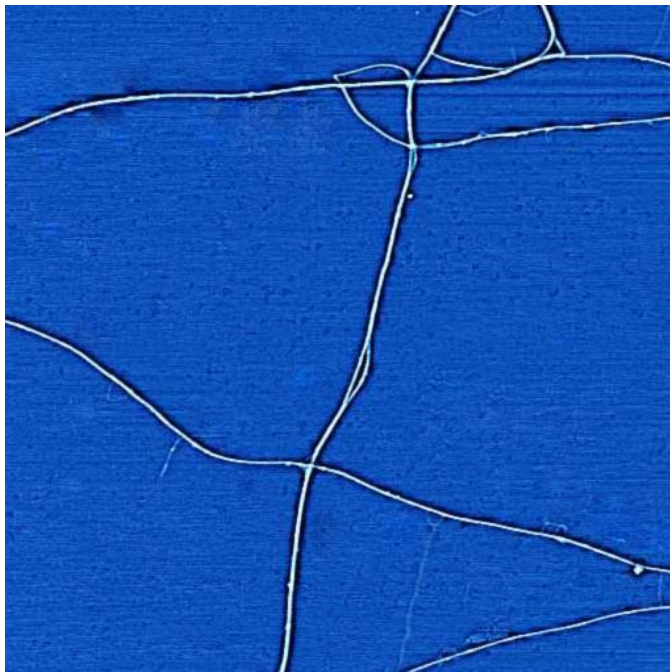


Изображение клеток почек мыши, зафиксированных в блоке эпоксидной смолы, изображена поверхность блока. На изображении представлено место контакта двух клеток.

Сушко Анна Дмитриевна

*Центр перспективных технологий*

*Микроскоп: атомно-силовой микроскоп Nanoscope IIIa (Digital Instruments, USA)*



Танец.

Комплекс искусственно синтезированной ДНК с дендримерами G6 образует структуры, подобные «бусинам на нитке», и длинные волокна, сплетенные из нескольких молекул ДНК.

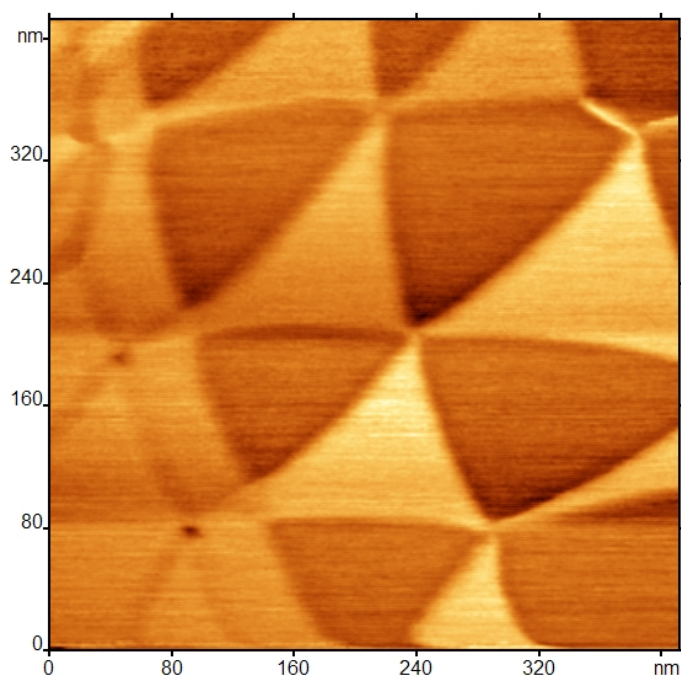
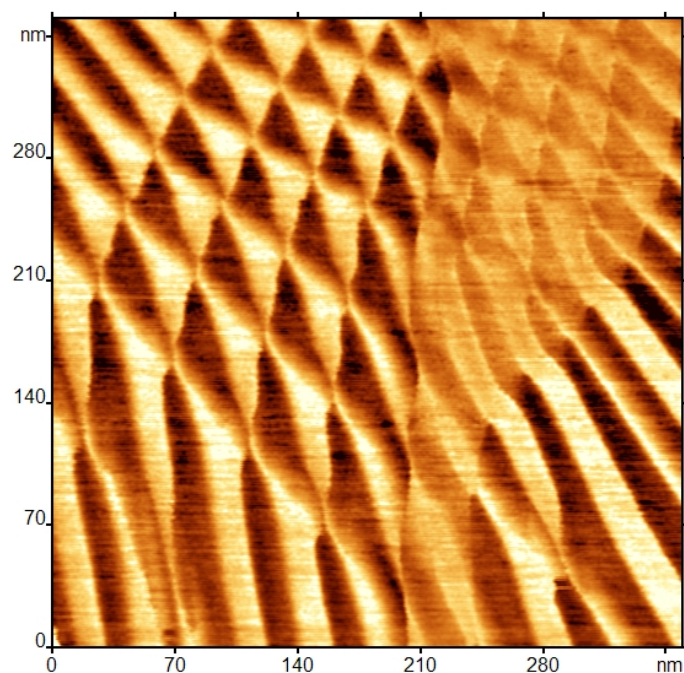


# BioImage

Мешков Георгий Борисович, Сеницына Ольга Валентиновна

*ИНЭОС РАН, Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова*

*Микроскоп: ФемтоСкан*



## Шахматы на графитовой доске.

Изображения дислокационных дефектов на поверхности графита. Получены в режиме резистивной атомно-силовой микроскопии. Приведены токовые изображения.

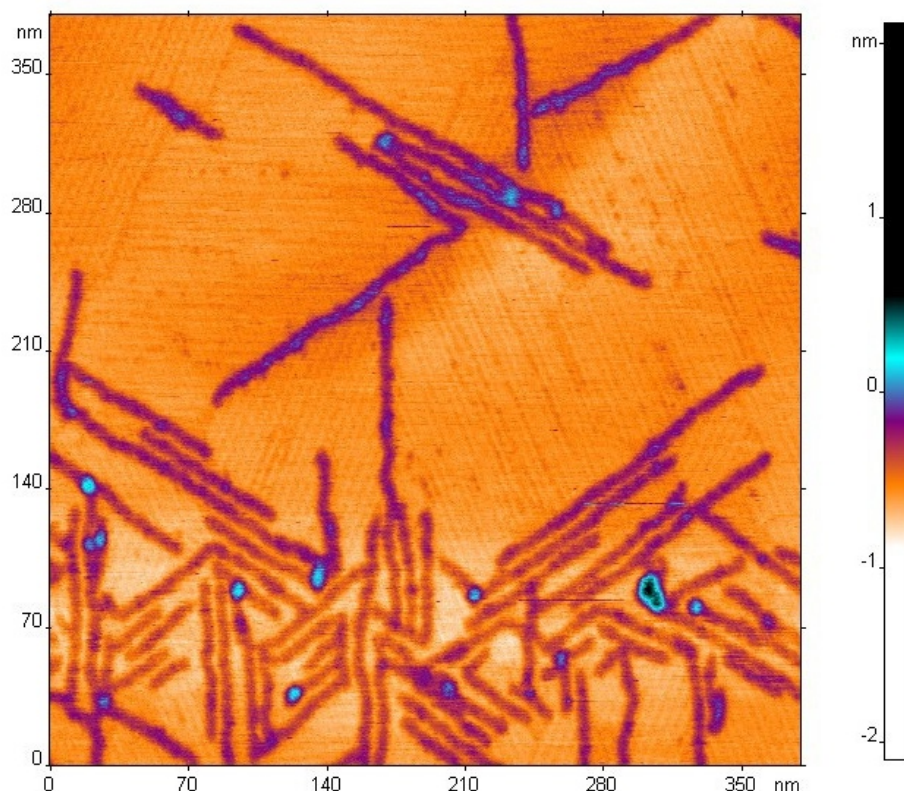
При сканировании использовался контактный кантилевер Veeco с Pt-Ir покрытием SCM-PIR. Верхнее изображение получено при сканировании с напряжением +9 мВ на зонде, нижнее – с напряжением -9 мВ на зонде

Дислокации получены на графите с углом разориентации 0,4 градуса, подвергнутого механическим деформациям в области сканирования около 3 лет назад.



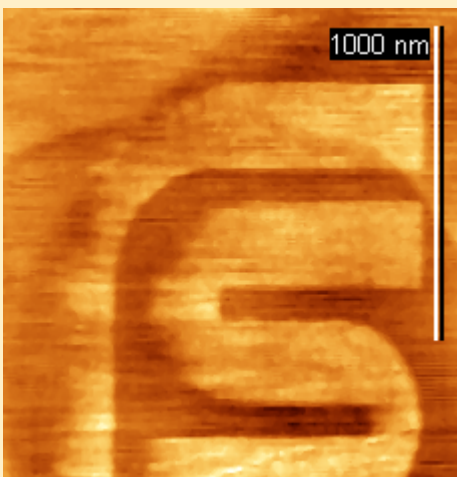
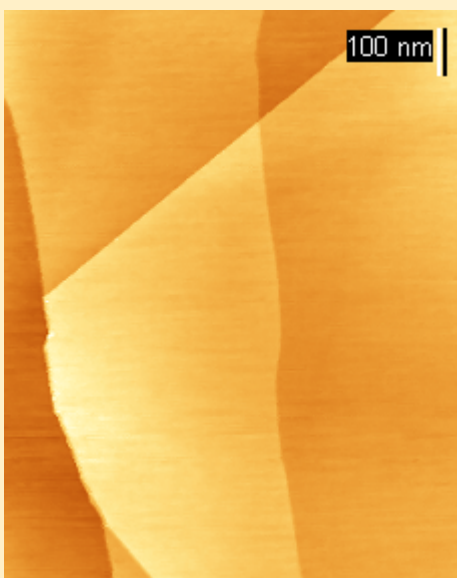
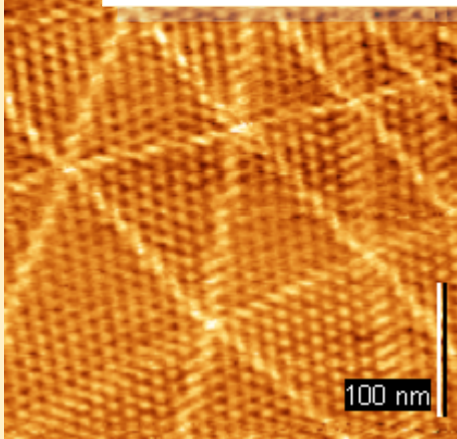
Прохоров Валерий Васильевич  
ИБХ РАН им. М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова, г. Москва  
Микроскоп: Nanoscope-3

## Эпитаксиальные ламеллярные структуры гексаглициламида на пиролитическом графите



На рисунке приведено АСМ-изображение (топография) покрытия поверхности пиролитического графита ламелями гексаглицил-амида (ГГА) двух структурно-различных типов. Ламели первого типа имеют ширину 5 нм, равную двойной длине молекулы ГГА, и образуют плотно упакованные высокоупорядоченные доменные монослои. Ламели второго типа преимущественно одиночны и ориентированы под углами  $30^\circ$  или  $90^\circ$  по отношению к ламелями первого типа. Молекулярное моделирование возможных двумерных олигопептидных ГГА структур на графите приводит к выводу, что ламели первого типа являются сдвоенными бета-листами, ориентированными по типу «голова к голове». Ламели второго типа – единичные бета-листы с антипараллельной ориентацией молекул. Ориентация молекул ГГА в ламелях относительно решетки графита различна: соответственно вдоль направлений графита  $\langle 11\bar{2}0 \rangle$  and  $\langle 10\bar{1}0 \rangle$ . Изображение демонстрирует возможность модификации высоко-гидрофобной поверхности графита и углеродных нано-материалов высокоупорядоченным монослоем гидрофильного пептида и одновременно уникальность ГГА, генерирующего различные кристаллографические упаковки в ламелях данных двух типов с различной ориентацией относительно решетки графита.

# Дорога в мир НАНО начинается с графита



## Высокоориентированный пиролитический графит:

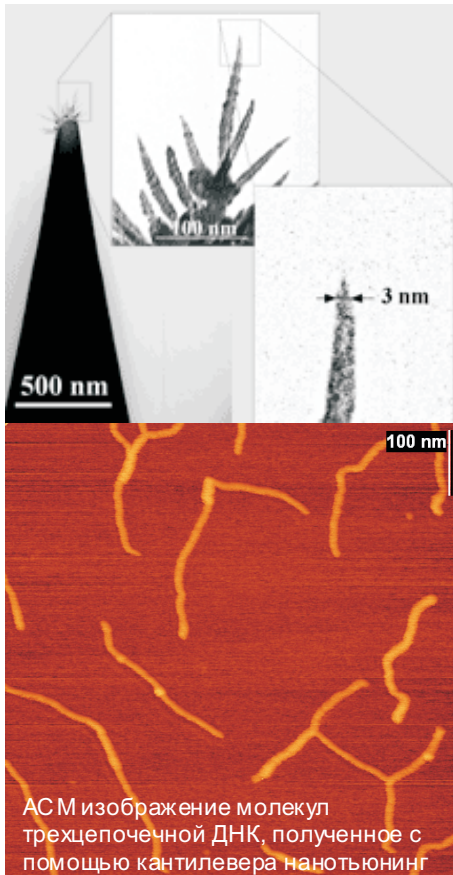
- Гидрофобная подложка для исследования молекул, кластеров, монослоев
- Калибровочная решетка для зондовых микроскопов
- Модельная поверхность для проверки теорий зондовой микроскопии
- Удобный объект для студенческих практикумов по нанотехнологиям
- Материал для приготовления образцов графена

[www.nanoscopy.net](http://www.nanoscopy.net)

Центр перспективных технологий



ООО НПП "Центр перспективных технологий"  
Advanced Technologies Center  
www.nanoscopy.net  
e-mail: spm@nanoscopy.net

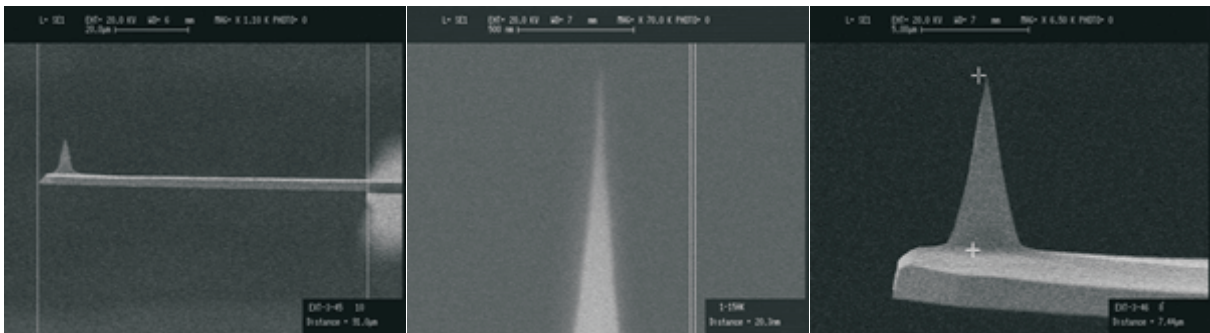


АСМ изображение молекул  
трехцепочечной ДНК, полученное с  
помощью кантилевера нанотьюнинг

## Нанотьюнинг — кантилевер высокого разрешения

- Сверхострые зонды из алмазоподобного углерода
- Радиус зонда ~1 нм
- Наблюдаемый диаметр молекул ДНК 14-17 нм

## Кремниевые кантилеверы



- Кантилеверы для всех видов зондовой микроскопии
- Большой выбор размеров и характеристик
- Категория "Super" — радиус скругления иглы менее 10 нм  
Категория "Standard" — радиус скругления иглы менее 25 нм
- Проводящее и магнитное покрытие

**УЧАСТНИКИ КОНФЕРЕНЦИИ  
«СОВРЕМЕННЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ БИОНАНОСКОПИИ»**

**Абрамов Сергей Маркович**

*Биологический факультет МГУ  
им. М.В. Ломоносова  
[abramov\\_sergei@inbox.ru](mailto:abramov_sergei@inbox.ru)*

**Волков Антон Иванович**

*Химический факультет МГУ  
им. М.В. Ломоносова  
[rhenium@list.ru](mailto:rhenium@list.ru)*

**Архипова Анастасия Юрьевна**

*Биологический факультет МГУ  
им. М.В. Ломоносова  
[matrix.spidroin@gmail.com](mailto:matrix.spidroin@gmail.com)*

**Гаврилов Алексей Андреевич**

*Физический факультет МГУ  
им. М.В. Ломоносова  
[gavrilov@polly.phys.msu.ru](mailto:gavrilov@polly.phys.msu.ru)*

**Багров Дмитрий Владимирович**

*Физический факультет МГУ  
им. М.В. Ломоносова, г. Москва  
[dbagrov@gmail.com](mailto:dbagrov@gmail.com)*

**Голубев Сергей Сергеевич**

*ФГУП "Всероссийский научно-исследовательский институт  
метрологической службы"  
[sergolub@mail.ru](mailto:sergolub@mail.ru)*

**Бессонов Владимир Олегович**

*МЛЦ МГУ им. М.В. Ломоносова  
[vbessonov@inbox.ru](mailto:vbessonov@inbox.ru)*

**Гопин Александр Викторович**

*Химический факультет МГУ  
им. М.В. Ломоносова  
[gopin@radio.chem.msu.ru](mailto:gopin@radio.chem.msu.ru)*

**Большакова Анастасия**

**Владимировна**

*Химический факультет МГУ  
им. М.В. Ломоносова, г. Москва  
[bolshakova@genebee.msu.ru](mailto:bolshakova@genebee.msu.ru)*

**Горелкин Петр Владимирович**

*ООО «Академия биосенсоров», г. Москва  
[gorelkin@genebee.msu.ru](mailto:gorelkin@genebee.msu.ru)*

**Будник Оксана Петровна**

*Международный центр «Институт  
прикладной оптики», Украина  
[oksanalight@gmail.com](mailto:oksanalight@gmail.com)*

**Давыдов Дмитрий**

**Александрович**

*Химический факультет МГУ  
им. М.В. Ломоносова, г. Москва  
[dimitri.davydov@gmail.com](mailto:dimitri.davydov@gmail.com)*

**Вабищевич Полина Петровна**

*МГУ им. М.В. Ломоносова  
[vabishchevich@nanolab.phys.msu.ru](mailto:vabishchevich@nanolab.phys.msu.ru)*

**Докукина Алина Евгеньевна**

*Физический факультет МГУ  
им. М.В. Ломоносова  
[dokukina@nanolab.phys.msu.ru](mailto:dokukina@nanolab.phys.msu.ru)*

**Воинова Вера Владимировна**

*Биологический факультет МГУ  
им. М.В. Ломоносова  
[VeraVoinova@mail.ru](mailto:VeraVoinova@mail.ru)*

**Дубровин Евгений**

**Владимирович**

*Физический факультет МГУ  
им. М.В. Ломоносова, г. Москва  
[dubrovin@polly.phys.msu.ru](mailto:dubrovin@polly.phys.msu.ru)*



**Ежов Александр Анатольевич**

*Физический факультет МГУ  
им. М.В.Ломоносова, г. Москва  
[alexander-ezhov@yandex.ru](mailto:alexander-ezhov@yandex.ru)*

**Ерофеев Александр Сергеевич**

*Физический факультет МГУ  
им. М.В. Ломоносова, г. Москва  
[erofeev@polly.phys.msu.ru](mailto:erofeev@polly.phys.msu.ru)*

**Ефремов Юрий Михайлович**

*Биологический факультет МГУ  
им. М.В. Ломоносова  
[yuefa2111@mail.ru](mailto:yuefa2111@mail.ru)*

**Иванская Наталья Николаевна**

*ГОУ ВПО Ульяновский государственный  
технический университет  
[naivanskaya@yandex.ru](mailto:naivanskaya@yandex.ru)*

**Карлова Мария Георгиевна**

*Биологический факультет МГУ  
им. М.В. Ломоносова, г. Москва  
[mkarlova@yandex.ru](mailto:mkarlova@yandex.ru)*

**Клинов Дмитрий**

*ИБХ им. М.М. Шемякина и  
Ю.А. Овчинникова, РАН, г. Москва*

**Кожунова Елена Юрьевна**

*Физический факультет МГУ  
им. М.В. Ломоносова, г. Москва  
[kozhunova@polly.phys.msu.ru](mailto:kozhunova@polly.phys.msu.ru)*

**Колесникова Инна Николаевна**

*Химический факультет МГУ  
им. М.В. Ломоносова, г. Москва  
[aquainna@mail.ru](mailto:aquainna@mail.ru)*

**Колесов Дмитрий Валерьевич**

*Физический факультет МГУ  
им. М.В.Ломоносова, г. Москва  
[kolesov@polly.phys.msu.ru](mailto:kolesov@polly.phys.msu.ru)*

**Коломыткин Дмитрий Олегович**

*Физический факультет МГУ  
им. М.В.Ломоносова, г. Москва  
[kolomytkin@polly.phys.msu.ru](mailto:kolomytkin@polly.phys.msu.ru)*

**Коновалова Ольга Анатольевна**

*Казанский государственный  
университет  
[Olga.konovalova@bk.ru](mailto:Olga.konovalova@bk.ru)*

**Корниенко Евгения Сергеевна**

*Химический факультет МГУ  
им. М.В. Ломоносова, г. Москва  
[karnienka@mail.ru](mailto:karnienka@mail.ru)*

**Костин Андрей Алексеевич**

*Химический факультет МГУ  
им. М.В. Ломоносова, г. Москва  
[andrey.a.kostin@gmail.com](mailto:andrey.a.kostin@gmail.com)*

**Логинов Павел Борисович**

*Институт Биоорганической Химии  
им. М.М. Шемякина  
и Ю.А. Овчинникова РАН, г. Москва  
[altodor@rambler.ru](mailto:altodor@rambler.ru)*

**Любин Евгений Валерьевич**

*Физический факультет МГУ  
им. М.В. Ломоносова, г. Москва  
[lyubin@nanolab.phys.msu.ru](mailto:lyubin@nanolab.phys.msu.ru)*

**Макаренко Ирина Витальевна**

*НИИЯФ им. Д.В. Скобельцына МГУ  
им. М.В. Ломоносова, г. Москва  
[makarenkoirina@gmail.com](mailto:makarenkoirina@gmail.com)*

**Меньшиков Евгений**

**Александрович**  
*ООО «Старт инноваций», г. Москва  
[menshikov@polly.phys.msu.ru](mailto:menshikov@polly.phys.msu.ru)*

**Милакин Константин Андреевич**

*Химический факультет МГУ  
им. М.В. Ломоносова, г. Москва  
[milakin777@yandex.ru](mailto:milakin777@yandex.ru)*

**Мусатова Вероника  
Владимировна**

Биологический факультет МГУ  
им. М.В. Ломоносова, г. Москва  
[veronica.musatova@gmail.com](mailto:veronica.musatova@gmail.com)

**Мухин Дмитрий Сергеевич**

Физический факультет МГУ  
им. М.В. Ломоносова, г. Москва  
[mukhin@polly.phys.msu.ru](mailto:mukhin@polly.phys.msu.ru)

**Никитин Николай  
Александрович**

Биологический факультет МГУ  
им. М.В. Ломоносова, г. Москва  
[nik.nikitin@gmail.com](mailto:nik.nikitin@gmail.com)

**Николаева Екатерина  
Владимировна**

ГОУ ВПО Уральский государственный  
университет им. А.М. Горького,  
г. Екатеринбург  
[ekaterina.nikolaeva@usu.ru](mailto:ekaterina.nikolaeva@usu.ru)

**Петров Дмитрий**

МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва  
[dapetroff@gmail.com](mailto:dapetroff@gmail.com)

**Пищальникова Анастасия  
Владимировна**

Биологический факультет МГУ  
им. М.В. Ломоносова, г. Москва  
[bionastya@gmail.com](mailto:bionastya@gmail.com)

**Прохоров Валерий**

ИБХ им. М.М. Шемякина и  
Ю.А. Овчинникова, РАН, г. Москва

**Рамонова Алла Аликовна**

Биологический факультет МГУ  
им. М.В. Ломоносова, г. Москва  
[lalula@yandex.ru](mailto:lalula@yandex.ru)

**Роскошная Анна Сергеевна**

Биологический факультет МГУ  
им. М.В. Ломоносова, г. Москва  
[annarosk@gmail.com](mailto:annarosk@gmail.com)

**Садраддинова**

**Эльмира Рамиз-кызы**

Биологический факультет МГУ  
им. М.В. Ломоносова, г. Москва  
[sadraddinovaer@mail.ru](mailto:sadraddinovaer@mail.ru)

**Симонова Варвара**

Институт проблем лазерных и  
информационных технологий при РАН,  
г. Шатура, Московская область  
[varvara.simonova@gmail.com](mailto:varvara.simonova@gmail.com)

**Синицына Ольга Валентиновна**

ИНЭОС РАН, г. Москва  
[sinitsyna@gmail.com](mailto:sinitsyna@gmail.com)

**Соболева Ирина Владимировна**

МЛИЦ МГУ им. М.В. Ломоносова  
[soboleva@nanolab.phys.msu.ru](mailto:soboleva@nanolab.phys.msu.ru)

**Солопов Борис Алексеевич**

МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва  
[bsolopov@mail.ru](mailto:bsolopov@mail.ru)

**Сушко Анна Дмитриевна**

ООО НПП «Центр перспективных  
технологий», г. Москва  
[sushko@polly.phys.msu.ru](mailto:sushko@polly.phys.msu.ru)

**Томова Зулейхан Мухматовна**

Физический факультет МГУ  
им. М.В. Ломоносова, г. Москва  
[tomova@nanolab.phys.msu.ru](mailto:tomova@nanolab.phys.msu.ru)

**Угланова Светлана**

Химический факультет МГУ  
им. М.В. Ломоносова, г. Москва  
[suglanova@gmail.com](mailto:suglanova@gmail.com)

**Усов Иван**

*Физический факультет МГУ  
им. М.В. Ломоносова, г. Москва  
[usov@polly.phys.msu.ru](mailto:usov@polly.phys.msu.ru)*

**Федосов Даниил Александрович**

*Химический факультет МГУ  
им. М.В. Ломоносова, г. Москва  
[dfedosov@inbox.ru](mailto:dfedosov@inbox.ru)*

**Федянин Андрей Анатольевич**

*Физический факультет МГУ  
им. М.В. Ломоносова, г. Москва  
[fedyanin@nanolab.phys.msu.ru](mailto:fedyanin@nanolab.phys.msu.ru)*

**Филатова Любовь**

*Химический факультет МГУ  
им. М.В. Ломоносова, г. Москва  
[lubfil@rambler.ru](mailto:lubfil@rambler.ru)*

**Филонов Александр Сергеевич**

*Химический факультет МГУ  
им. М.В. Ломоносова, г. Москва  
[filonov@nanoscopy.org](mailto:filonov@nanoscopy.org)*

**Цема Борис Борисович**

*Физический факультет МГУ  
им. М.В. Ломоносова, г. Москва  
[tsema@nanolab.phys.msu.ru](mailto:tsema@nanolab.phys.msu.ru)*

**Четвертухин Артем  
Вячеславович**

*Физический факультет МГУ  
им. М.В. Ломоносова, г. Москва  
[chetvertukhin@nanolab.phys.msu.ru](mailto:chetvertukhin@nanolab.phys.msu.ru)*

**Щербаков Максим Радикович**

*Физический факультет МГУ  
им. М.В. Ломоносова, г. Москва  
[shcherbakov@nanolab.phys.msu.ru](mailto:shcherbakov@nanolab.phys.msu.ru)*

**Яминский Игорь Владимирович**

*Физический факультет МГУ  
им. М.В. Ломоносова, г. Москва  
[yaminsky@nanoscopy.org](mailto:yaminsky@nanoscopy.org)*