

## **III Всероссийская конференция**

«Особенности применения сканирующей зондовой  
микроскопии в вакууме и различных средах»

*Черноголовка, 1-3 июня 2022 г.*

## **3rd Conference**

“Applications of scanning probe microscopy out of ambient  
conditions”

*Chernogolovka, 1-3 June 2022*

## ОРГАНИЗАТОР

Институт физики твердого тела имени Ю.А. Осипьяна  
Российской академии наук

## ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

А.А. Левченко, д.ф.-м.н., ИФТТ РАН, Черноголовка  
В.Л. Миронов, д.ф.-м.н., ИФМ РАН, Н. Новгород  
А.Н. Чайка, к.ф.-м.н., ИФТТ РАН, Черноголовка  
А.А. Жуков, к.ф.-м.н., ИФТТ РАН, Черноголовка  
С.В. Зайцев-Зотов, д.ф.-м.н., ИРЭ РАН, Москва

## ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

А.А. Левченко, д.ф.-м.н., ИФТТ РАН, Черноголовка  
А.Н. Чайка, к.ф.-м.н., ИФТТ РАН, Черноголовка  
А.А. Жуков, к.ф.-м.н., ИФТТ РАН, Черноголовка  
Ф.В. Кведер, ИФТТ РАН, Черноголовка

## Конференция проводится при поддержке



Российской академии наук,  
ras.ru



Института физики твердого тела  
имени Ю.А. Осипьяна Российской академии наук,  
issp.ac.ru



Группы компаний НТ-МДТ Спектрум  
Инструментс, ntmdt-si.ru



Российского фонда фундаментальных  
исследований, rfbr.ru

Проекты РФФИ 20-02-00489 и 19-29-03021мк

ИФТТ РАН, Черноголовка, Московская обл., ул.Академика Осипьяна д.2  
Телефон: 8(496) 52 21982 +7 906 095 4402 Факс: +7(496) 522 8160

# Расписание докладов

Среда, 1 июня 2022 г.

10.00-10.10	Открытие конференции
10.10-10.50	<u>В.А. Быков</u> , Ан.В. Быков, В.В. Котов, В.В. Поляков, С.И. Леесмент “Атомно-силовая микроскопия и спектроскопия одиночных молекул и молекулярных ансамблей – возможности приборов НТ-МДТ Спектрум Инструментс”
10.50-11.30	<u>Е.В. Скороходов</u> , Д.А. Татарский, В.Л. Миронов “МРСМ исследования ферромагнитного резонанса в обменно-связанных магнитных вихрях”
11.30-11.50	Coffee break
11.50-12.30	<u>А.В. Анкудинов</u> , Н.А. Бельская, Д.А. Козлов, А.А. Красилин, Т.С. Кункель, М.М. Халисов, Е.К. Храпова “Композитные Ni-Mg гидросиликатные наносвитки: строение, механические, магнитные свойства”
12.30-13.10	А.Г. Темиряев “Магнитно-силовая микроскопия процессов перемагничивания”
13.10-14.00	Lunch
14.00-14.40	<u>В.В. Дремов</u> , А.К. Гребенко, Д.А. Казарян, П.А. Малышкин, Д.С. Яковлев “ Особенности методик АСМ-литографии на графене”
14.40-15.20	<u>Л.А. Фоми</u> н, И.В. Маликов, В.А. Березин, В.Г. Криштоп, Е.А. Вилков, С.Г. Чигарев, Д.Л. Загорский, И.М. Долуденко, С.С. Жуков, Е.С. Жукова “Металлические магнитные микро- и наноструктуры для спинтроники и ТГц фотоники”
15.20-15.40	Coffee break
15.40-16.20	<u>А.Ю. Аладышкин</u> , С.И. Божко “Визуализация скрытых частей дислокационных линий в плёнках Pb(111) методом сканирующей туннельной спектроскопии”
16.20-17.00	<u>А.Н. Чайка</u> “Модификация электронной структуры слоев графена на $\beta$ -SiC(001) молекулами феназинового красителя Нейтральный красный”

## Четверг, 2 июня 2022 г.

10.00-10.40	Н.И. Федотов, А.А. Майзлах, В.В. Павловский, Г.В. Рыбальченко, С.В. Зайцев-Зотов “Подвижные островки топологического изолятора $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ , выращенные с помощью лазерного напыления в режиме эпитаксии ван дер Ваальса”
10.40-11.20	Н.С. Комаров, В.М. Шевлюга, Б.В. Андриюшечкин “Структурные фазовые переходы в монослое хлора на гранях $\text{Ag}(100)$ и $\text{Ag}(110)$ ”
11.20-11.40	Coffee break
11.40-12.20	Е.Ф. Миргазизова, Т.В. Павлова, К.Н. Ельцов “Покрытые графеном Ni-иглы для СТМ-литографии кремния”
12.20-13.00	А.В. Исаков, С.Д. Захаров, Н.С. Комаров, Б.В. Андриюшечкин “Атомная структура монослойных пленок $\text{NiI}_2$ и $\text{AgI}$ , синтезированных на гранях $\text{Ni}(110)$ и $\text{Ag}(111)$ в условиях сверхвысокого вакуума”
13.00-14.00	Lunch
14.00-14.40	Т.В. Павлова, В.М. Шевлюга “Зарядовые состояния оборванной связи кремния и переходы между ними на поверхности $\text{Si}(100)\text{-}2\times 1\text{-Br}$ ”
14.40-15.20	А.И. Орешкин, Д.А. Музыченко, С.И. Орешкин, М.Н. Петухов, Р. Kruger “Фазовые переходы на поверхностях меди, вызванные адсорбцией молекул фторфуллеренов”
15.20-15.40	Coffee break
15.40-16.20	Д.А. Музыченко, С.И. Орешкин, В.И. Панов, А.И. Орешкин “Однослойный и двухслойный германен на поверхности $\text{Al}(111)$ ”
16.20-17.00	А.Ю. Аладышкин “Оценка параметров линейной регрессии (методическое сообщение)”

## Пятница, 3 июня 2022 г.

<b>10.00-10.25</b>	<p><u>Д.В. Лебедев</u>, В.А. Школдин, Л.Н. Дворецкая, К.Н. Новикова, Н.А. Соломонов, А.В. Архипов, А.О. Голубок, И.С. Мухин</p> <p><b>“Синтез композитных Au/Si наноструктур методом СТМ литографии и их исследование в условиях сверхвысокого вакуума”</b></p>
<b>10.25-10.50</b>	<p><u>О.М. Горбенко</u>, М.В. Жуков, С.Ю. Лукашенко, С.В. Пичахчи, И.Д. Сапожников, М.Л. Фельштын, А.О. Голубок</p> <p><b>“О пространственном разрешении пьезорезонансного зондового датчика с вольфрамовой иглой”</b></p>
<b>10.50-11.15</b>	<p><u>С.Ю. Лукашенко</u>, О.М. Горбенко, М.В. Жуков, С.В. Пичахчи, И.Д. Сапожников, М.Л. Фельштын, А.О. Голубок</p> <p><b>“Особенности поведения кривой подвода сканирующего микроскопа ионной проводимости”</b></p>
<b>11.15-11.35</b>	<b>Coffee break</b>
<b>11.35-12.00</b>	<p><u>П.Н. Астанина</u>, О.В. Коплак, А.А. Аносов</p> <p><b>“Анализ структуры липидной мембраны с магнитными наночастицами <math>CoFe_2O_4</math> с помощью ближнепольной оптической микроскопии”</b></p>
<b>12.00-12.25</b>	<p><u>Е.В. Дворецкая</u>, О.В. Коплак</p> <p><b>“Определение магнитного момента одиночной наносферы никеля методом магнито-силовой микроскопии”</b></p>
<b>12.25-12.50</b>	<p><u>А.А. Нагайникова</u>, О.В. Коплак</p> <p><b>“Морфометрия биологических клеток с магнитными наночастицами”</b></p>
<b>12.50-14.00</b>	<b>Lunch</b>
<b>14.00-14.40</b>	<p><u>С.В. Чекмазов</u>, А.С. Ксёنز, А.А. Смирнов, Р.Н. Можчиль, А.М. Ионов, С.Г. Протасова, А.А. Капустин, В.С. Столяров, С.И. Божко</p> <p><b>“Солитоны в трёхмерных пайерлсовских диэлектриках”</b></p>
<b>14.40-15.20</b>	<p>Д.А. Фокин</p> <p><b>“Достоинства и недостатки различных реализаций одно- и многопроходных методик для исследования распределения электрических свойств материалов”</b></p>
<b>15.20-15.30</b>	<b>Coffee break</b>
<b>15.30-16.10</b>	<p>А.А. Жуков</p> <p><b>“Когда кулоновская блокада уже давно закончилась, а стандартный диффузный транспорт ещё и не думал начинаться”</b></p>
<b>16.10-16.50</b>	<b>“Круглый стол. Общие вопросы применения СТМ и АСМ.”</b>
<b>16.50-17.00</b>	<b>Заккрытие конференции и подведение итогов</b>

## СПИСОК ДОКЛАДЧИКОВ

Аладышкин Алексей Юрьевич	aladyshkin@ipmras.ru
Андрюшечкин Борис Владимирович	andrush@kapella.gpi.ru
Анкудинов Александр Витальевич	alex_ank@mail.ru
Астанина Полина Николаевна	p_astanina@mail.ru
Быков Виктор Александрович	vbykov@ntmdt-si.com
Горбенко Ольга Марковна	gorolga64@gmail.com
Дворецкая Елизавета Витальевна	dvoretskaya95@yandex.ru
Дрёмов Вячеслав Всеволодович	dremovs54@gmail.com
Жуков Алексей Алексеевич	azhukov@issp.ac.ru
Зайцев-Зотов Сергей Владимирович	serzz@cplire.ru
Комаров Никита Сергеевич	nikita.voramok@gmail.com
Лебедев Денис Владимирович	denis.v.lebedev@gmail.com
Лукашенко Станислав Юрьевич	stas.lukashenko@mail.ru
Миргазизова Екатерина Фануровна	emirgazizova@inbox.ru
Музыченко Дмитрий Анатольевич	mda@spmlab.ru
Нагайникова Анастасия Алексеевна	Anasnasiiia@inbox.ru
Орешкин Андрей Иванович	orashkin@spmlab.ru
Павлова Татьяна Витальевна	pavlova@kapella.gpi.ru
Скороходов Евгений Владимирович	evgeny@ipmras.ru
Темирязов Алексей Григорьевич	temiryazev@gmail.com
Фокин Денис Александрович	fokin@lacopa.group
Фомин Лев Александрович	remagnetization@gmail.com
Чайка Александр Николаевич	chaika@issp.ac.ru
Чекмазов Сергей Васильевич	chekmazov@issp.ac.ru

## **Атомно-силовая микроскопия и спектроскопия одиночных молекул и молекулярных ансамблей – возможности приборов NT-MDT Спектрум Инструментс**

В.А. Быков, Ан.В. Быков, В.В. Котов, В.В. Поляков, С.И. Леесмент

*NT-MDT Спектрум Инструментс, г. Москва, г. Зеленоград, проезд 4922, д.4 стр.3*

В данном докладе рассматриваются возможности приборов компании для исследования единичных молекул и молекулярных структур методами атомно-силовой микроскопии и спектроскопии. Рассматриваются условия и особенности конструкции приборов, зондов, окружения, обеспечивающие возможность достижения предельных характеристик приборов.

## **Atomic force microscopy and spectroscopy of single molecules and molecular ensembles – the capabilities of NT-MDT Spectrum Instruments**

V.A. Bykov, An.V. Bykov, V.V. Kotov, V.V. Polyakov, S.I. Leesment

*NT-MDT Spectrum Instruments, Moscow, Zelenograd, Proezd 4922, 4/3*

This report discusses the capabilities of the company's instruments for the study of single molecules and molecular structures using atomic force microscopy and spectroscopy. The conditions and features of the design of devices, probes, and the environment, which provide the possibility of achieving the limiting characteristics of devices, are considered.

---

## **МРСМ исследования ферромагнитного резонанса в обменно-связанных магнитных вихрях**

Е.В. Скороходов<sup>1</sup>, Д.А. Татарский<sup>1,2</sup>, В.Л. Миронов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*ИФМ РАН, 603950, д. Афонино, Нижегородская обл., ул. Академическая, д.7*

<sup>2</sup>*ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 603022, г. Н. Новгород, пр. Гагарина, 23*

Низкочастотный ферромагнитный резонанс в системе двойных перекрывающихся ферромагнитных дисков представляет интерес в связи с их возможным использованием в спин-трансферных вихревых наноосцилляторах. Наличие сильной обменной связи между перекрывающимися дисками позволяет достичь синхронизации гиротропных мод в каждом из них.

В такой системе существуют несколько устойчивых магнитных состояний. Если оболочки вихрей в каждом из дисков закручены в разные стороны, между ними формируется ромбический домен. Если же оболочки вихрей закручены одинаково, то между ними формируется особенность, антивихрь. Резонансные характеристики и зависимости частот при приложении внешнего однородного магнитного поля существенно различны в такой системе. В докладе представлены результаты таких исследований низкочастотных резонансных колебаний в системе обменно-связанных магнитных вихрей методами магнитно-резонансной силовой микроскопии (МРСМ) и микромагнитного моделирования.

Работа выполняется при поддержке Российского научного фонда (проект № 21-12-00271).

## **MRFM studies of ferromagnetic resonance in exchange-coupled magnetic vortices**

E.V. Skorokhodov<sup>1</sup>, D.A. Tatarskiy<sup>1,2</sup>, V.L. Mironov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*IPM RAS, 603950, Nizhny Novgorod, Afonino, Akademicheskaya st., 7*

<sup>2</sup>*Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Gagarina ave., 23*

Low-frequency ferromagnetic resonance in a system of double overlapping ferromagnetic disks is of interest in connection with their possible use in spin-transfer vortex nanooscillators. The presence of a strong exchange coupling between overlapping disks makes it possible to achieve synchronization of gyrotropic modes in each of them.

There are several stable magnetic states in the system. If the vortex shells in each of the disks are twisted in different directions, a rhombic domain is formed between them. If the shells of the vortices are twisted in the same way, then an antivortex singularity is formed between them. Resonance characteristics and frequency dependences upon application of an external uniform magnetic field are significantly different in these states. The report presents the results of such studies of low-frequency resonant oscillations in a system of exchange-coupled magnetic vortices using magnetic resonance force microscopy (MRFM) and micromagnetic modeling.

The work is supported by the Russian Science Foundation (project No. 21-12-00271).



## **Композитные Ni-Mg гидросиликатные наносвитки: строение, механические, магнитные свойства**

А.В. Анкудинов<sup>1</sup>, Н.А. Бельская<sup>1</sup>, Д.А. Козлов<sup>2</sup>, А.А. Красилин<sup>1</sup>, Т.С. Кункель<sup>3</sup>,  
М.М. Халисов<sup>4</sup>, Е.К. Храпова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*ФТИ им. А.Ф. Иоффе, 194021 Санкт Петербург, ул. Политехническая, 26*

<sup>2</sup>*МГУ им. М.В. Ломоносова, 119991 Москва, Ленинские горы, 1*

<sup>3</sup>*МФТИ, 141701 Долгопрудный, Институтский пер., 9*

<sup>4</sup>*ИФ им. И.П. Павлова, 199034 Санкт-Петербург, наб. Макарова, 6*

Гидросиликаты со структурой хризотила, пекораита, галлуазита сворачиваются в длинные нанотрубки и наносвитки с внешним и внутренним диаметром в пределах 20–200 нм и 4–30 нм соответственно. Такая форма компенсирует упругие напряжения, вызванные рассогласованием кристаллических решеток противоположных сторон гидросиликатного слоя: металлокислородной (октаэдрической) и кремнекислородной (тетраэдрической). Возможность варьировать состав, особенности структуры и морфологии делают наносвитки гидросиликатов перспективными адсорбентами и капсулами, катализаторами и армирующими компонентами композиционных материалов. В частности, для потенциальных применений в качестве адсорбентов с магнитным управлением и катализаторов нужно включать в состав наносвитков ферромагнитные химические элементы. В этой связи приобретают важность исследования устройства, механических и магнитных свойств отдельных наносвитков. В докладе обсуждаются результаты, недавно полученные нами в таких исследованиях, с акцентом на методах атомно-силовой микроскопии.

## **Composite Ni-Mg hydrosilicate nanoscrolls: structure, mechanical, magnetic properties**

A.V. Ankudinov<sup>1</sup>, N.A. Belskaya<sup>1</sup>, D.A. Kozlov<sup>2</sup>, A.A. Krasilin<sup>1</sup>, T.S. Kunkel<sup>3</sup>,  
M.M. Khalisov<sup>4</sup>, E.K. Khrapova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Ioffe Institute, 194021 Saint-Petersburg, Politekhnicheskaya, 26*

<sup>2</sup>*Lomonosov MSU, 119991 Moscow, Leninskiye Hills, 1*

<sup>3</sup>*MIPT, 141701, Dolgoprudny, Institutskiy Per., 9*

<sup>4</sup>*Pavlov Institute of Physiology, 199034, Saint-Petersburg, Makarova emb, 6*

Hydrosilicates with the structure of chrysotile, pecoraite, and halloysite roll up into long nanotubes and nanoscrolls with outer and inner diameters ranging from 20–200 nm and 4–30 nm, respectively. This shape compensates for the elastic stresses caused by the mismatch of the crystal lattices of the opposite sides of the hydrosilicate layer: metal-oxygen (octahedral) and silicon-oxygen (tetrahedral). The ability to vary the composition, structure, and morphology makes hydrosilicate nanoscrolls promising adsorbents and capsules, catalysts, and reinforcing components of composite materials. In particular, for potential applications as magnetically controlled adsorbents and catalysts, ferromagnetic chemical elements should be included in the composition of nanoscrolls. In this regard, it becomes important to study the structure, mechanical and magnetic properties of individual nanoscrolls. The report discusses the results recently obtained by us in such studies, with emphasis on the methods of atomic force microscopy.

## **Магнитно-силовая микроскопия процессов перемагничивания**

А.Г. Темирязов

*ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, 141190, Фрязино, пл. Введенского, д. 1*

Исследование процессов перемагничивания методами магнитно-силовой микроскопии подразумевает получение большой серии (до нескольких сотен) сканов. Рассмотрены инструменты, необходимые для автоматизации данного процесса. Представлены экспериментальные результаты по исследованию процессов перемагничивания различных структур как во внешнем магнитном поле, так и под влиянием магнитного поля зонда.

## **Magnetic force microscopy of magnetization reversal**

A.G. Temiryazev

*Kotelnikov FIRE RAS, Russia, 141190, Fryazino, Vvedenskii sq. 1*

The study of magnetization reversal by magnetic force microscopy involves obtaining a large series (up to several hundred) of scans. The tools necessary to automate this process are considered. Experimental results are presented on the study of magnetization reversal processes of various structures both in an external magnetic field and under the action of the magnetic field of the probe.

---

## Особенности методик АСМ-литографии на графене

В.В. Дремов<sup>1,2</sup>, А.К. Гребенко<sup>1,2</sup>, Д.А. Казарян<sup>1</sup>, П.А. Малышкин<sup>3</sup>, Д.С. Яковлев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*МФТИ, Центр фотоники и двумерных материалов, 141701, Долгопрудный*

<sup>2</sup>*РКЦ, 143025 Сколково, Москва.*

<sup>3</sup>*Artech Carbon OU, 10111 Таллин, Эстония*

Литография с помощью АСМ для изготовления экспериментальных наноструктур широко используется в современных исследованиях. Спектр методов достаточно широк и почти всегда для каждого нового материала необходимо подбирать или изобретать свой метод. Мы предлагаем метод изготовления транспортных наноструктур на основе капсулированного с помощью h-BN моно и многослойного (до 10 nm) графена. Этот метод базируется на возможностях, заложенных в стандартном приборе NEXТ II компании NT-MDT. Структурирование графена возможно с разрешением не хуже чем 50 nm, при этом качество границ лучшее из всех известных, изготовленных методами литографий.

## Precise and gentle AFM-based graphene lithography techniques

V.V. Dremov<sup>1,2</sup>, A.K. Grebenko<sup>1,2</sup>, D.A. Kazaryan<sup>1</sup>, P.A. Malyshkin<sup>3</sup>, D.S. Yakovlev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*MIPT, Center of photonic and 2D materials, 141701, Dolgoprudnyi*

<sup>2</sup>*RQC, 143025 Skolkovo, Moscow.*

<sup>3</sup>*Artech Carbon OU, 10111 Tallinn, Estonia*

AFM lithography is widely used for production of modern nanostructures. The set of techniques is rich but often when dealing with new material researchers have to invent new one. Here we present the method to develop the graphene nanostructure encapsulated in h-BN for transport measurements. This technique has a resolution not worse than 50 nm with the boundary of the best known quality.

---

## Металлические магнитные микро- и наноструктуры для спинтроники и ТГц фотоники

Л.А. Фомин<sup>1</sup>, И.В. Маликов<sup>1</sup>, В.А. Березин<sup>1</sup>, В.Г. Криштоп<sup>1</sup>, Е.А. Вилков<sup>2</sup>, С.Г. Чигарев<sup>2</sup>, Д.Л. Загорский<sup>3</sup>, И.М. Долуденко<sup>3</sup>, С.С. Жуков<sup>4</sup>, Е.С. Жукова<sup>4</sup>

<sup>1</sup>ИПТМ РАН, 142432, Московская обл., г. Черноголовка, ул. Академика Осипьяна, д.6.

<sup>2</sup>ФирЭ РАН, 141190, Московская обл., г. Фрязино .пл. Введенского, д. 1,

<sup>3</sup>ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН 119333, Москва, Ленинский пр., д. 59.

<sup>4</sup>МФТИ, 141700, Московская обл., г. Долгопрудный, Институтский переулок, д.9.

Изготовлены микро- и наноструктуры из ферромагнитных металлов в виде гетерогенных нанопроволок, а также nanoостровков, покрытых пленкой металлического антиферромагнетика. Исследованы спектры их пропускания, отражения, а также поглощения и излучения под действием пропускаемого через них тока в ТГц диапазоне частот. Особенности спектров можно объяснить накоплением неравновесного спина за счет диффузии электронов и его релаксацией, стимулируемой внешним ТГц-излучением, что может быть использовано для создания источников и детекторов ТГц излучения, работающих при комнатной температуре.

## Metallic magnetic micro- and nanostructures for spintronics and THz photonics

L.A. Fomin<sup>1</sup>, I.V. Malikov<sup>1</sup>, V.A. Berezin<sup>1</sup>, V.G. Krishtop<sup>1</sup>, E.A. Vilkov<sup>2</sup>, S.G. Chigarev<sup>2</sup>, D.L. Zagorsky<sup>3</sup>, I. M. Doludenko<sup>3</sup>, S.S. Zhukov<sup>4</sup>, E.S. Zhukova<sup>4</sup>

<sup>1</sup>IMT RAS, 142432, Moscow region, Chernogolovka, st. Academician Osipyan, 6.

<sup>2</sup>FIRE RAS, 141190, Moscow region, Fryazino, pl. Vvedensky, - 1,

<sup>3</sup>FSRC "Crystallography and Photonics" RAS 119333, Moscow, Leninsky pr., 59.

<sup>4</sup>MIPT, 141700, Moscow region, Dolgoprudny, Institutskiy lane, 9.

Micro- and nanostructures are fabricated from ferromagnetic metals in the form of heterogeneous nanowires, as well as nanoislands coated with a film of a metallic antiferromagnet. The spectra of their transmission, reflection, as well as absorption and emission under the action of a current passed through them in the THz frequency range have been studied. The features of the spectra can be explained by the accumulation of nonequilibrium spin due to electron diffusion and its relaxation stimulated by external THz radiation, which can be used to create sources and detectors of THz radiation operating at room temperature.

## Визуализация скрытых частей дислокационных линий в плёнках Pb(111) методом сканирующей туннельной спектроскопии

А.Ю.Аладышкин<sup>1,2</sup> и С.И.Божко<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Институт физики микроструктур РАН, ул. Академическая, д. 7, Нижний Новгород, 603950

<sup>2</sup> Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского, пр. Гагарина, д. 23, Нижний Новгород, 603022

<sup>3</sup> Институт физики твёрдого тела им. Ю. А. Осипяна РАН, ул. Академика Осипяна, 2, Черногловка, 142432

Методами низкотемпературной сканирующей туннельной микроскопии и спектроскопии экспериментально исследованы локальные электронные свойства плёнок Pb(111) с дислокациями различных типов. Измерения выполнены в режиме заданного туннельного тока с активной обратной связью. Сопоставление характерных особенностей на топографических изображениях и картах вариаций туннельного тока и дифференциальной туннельной проводимости при фиксированной энергии позволяет установить положение проекций скрытых частей подповерхностных дислокационных линий. Показано, что две винтовых дислокации с векторами Бюргера разного знака могут соединяться посредством скрытой дислокационной петли. В некоторых случаях подповерхностные дислокационные линии, индуцированные винтовыми дислокациями, распространяются по направлению к периметру островков, не взаимодействуя с другими дислокационными линиями или скрытыми дефектами подложки.

Работа выполнена при поддержке государственных заданий ИФМ РАН (изготовление образцов и измерения) и ИФТТ РАН (интерпретация).

## Observation of hidden parts of dislocation loops in thin Pb films by means of scanning tunneling spectroscopy

A.Yu. Aladyshkin<sup>1,2</sup> and S.I. Bozhko<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institute for Physics of Microstructures RAS, Nizhny Novgorod 603950, Russia;

<sup>2</sup>Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod 603022, Russia

<sup>3</sup>Osipyan Institute of Solid State Physics RAS, Chernogolovka 142432, Russia

Local electronic properties of quasi-two-dimensional Pb(111) islands with dislocations of various types were experimentally studied by means of low-temperature scanning tunneling microscopy and spectroscopy in the regime of constant current. A comparison of the topography map, the maps of tunneling current variation, and the differential tunneling conductance at a given energy acquired simultaneously allows one to visualize the hidden parts of the dislocation loops under the sample surface. We demonstrate that two closely positioned screw dislocations with the opposite Burgers vectors can either (i) connect to each other by the subsurface dislocation loop or (ii) generate independent hidden edge dislocation lines, which run toward the perimeter of the Pb island.

## Модификация электронной структуры слоев графена на $\beta$ -SiC(001) молекулами феназинового красителя Нейтральный красный

А.Н. Чайка

*Институт физики твердого тела им. Ю.А. Осипьяна РАН, г. Черноголовка, ул. Академика Осипьяна, д. 2, 142432, Россия*

Модификация атомной и электронной структуры слоев графена на  $\beta$ -SiC(001) молекулами феназинового красителя Нейтральный Красный исследована с помощью сканирующей туннельной микроскопии, рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, околопороговой тонкой структуры рентгеновского спектра поглощения (NEXAFS), фотоэмиссионной электронной микроскопии и теоретических расчетов в рамках теории функционала плотности. Данные фотоэлектронной и сканирующей туннельной спектроскопии и теоретические расчеты демонстрируют формирование композитной феназин-графеновой структуры с большой запрещенной зоной. Молекулы красителя в этой структуре могут располагаться как параллельно, так и перпендикулярно слоям графена [1,2]. Согласно данным сканирующей туннельной спектроскопии и теоретическим расчетам, электронная структура в различных участках поверхности зависит от локальной атомной структуры и ориентации молекул красителя относительно поверхности [2].

Работа выполнена в рамках госзадания ИФТТ РАН при поддержке проекта РФФИ 20-02-00489.

[1] N.N. Sergeeva, A.N. Chaika et al., *Nanotechnology*, 2018, 29, 275705.

[2] D.V. Potorochin, A.N. Chaika et al., *Appl. Surf. Sci.* 585 (2022) 152542

## Modification of the electronic structure of few-layer graphene grown on $\beta$ -SiC(001) by Neutral Red dye

A.N. Chaika

*Institute of Solid State Physics of the Russian Academy of Sciences, 2 Academician Ossipyan Street, Moscow District, 142432, Russia*

Modification of the atomic and electronic structure of few-layer graphene on  $\beta$ -SiC(001) using phenazine dye Neutral Red has been studied using scanning tunneling microscopy, X-ray photoelectron spectroscopy, near-edge X-ray absorption fine structure, photoemission electron microscopy, and density functional theory calculations. The photoelectron and scanning tunneling spectroscopy experimental data and theoretical calculations demonstrate the formation of a composite phenazine/graphene structure with a large energy gap. The molecules in this structure can be oriented both parallel and perpendicular to the graphene surface [1,2]. According to scanning tunneling spectroscopy experiments and theoretical calculations, the density of electron states in different surface areas depends on the local atomic structure [2].

This work was carried out within the state task of the ISSP RAS and supported by the Russian Foundation for Basic Research (Grant no. 20-02-00489)

[1] N.N. Sergeeva, A.N. Chaika et al., *Nanotechnology*, 2018, 29, 275705.

[2] D.V. Potorochin, A.N. Chaika et al., *Appl. Surf. Sci.* 585 (2022) 152542

## Подвижные островки топологического изолятора $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ , выращенные с помощью лазерного напыления в режиме эпитаксии ван дер Ваальса

Н. И. Федотов<sup>1</sup>, А. А. Майзлах<sup>1</sup>, В. В. Павловский<sup>1</sup>, Г. В. Рыбальченко<sup>2</sup>,

С. В. Зайцев-Зотов<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН, ул. Моховая, д. 11, стр. 7, Москва, 125009

<sup>2</sup>Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН, Ленинский пр-т, д. 54, Москва, 119991

<sup>3</sup>Высшая школа экономики, ул. Мясницкая, д. 20, Москва, 101000

Импульсное лазерное напыление (PLD) является простым методом выращивания многокомпонентных пленок, но обычно не рассматривается как инструмент ван-дер-ваальсовой эпитаксии из-за большой энергии ионов, образующихся при воздействии лазерного пучка на мишень и повреждающих подложку и напыляемую плёнку. При этом иногда с целью более точного переноса стехиометрии мишени на подложку напыление проводится в атмосфере инертного газа. Пленки  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ , выращиваемые с помощью PLD в атмосфере инертного газа (аргона) на подложке высокоориентированного пиролитического графита (HOPG) сохраняют ориентацию подложки, что свидетельствует о реализации эпитаксии ван дер Ваальса, в то время как при напылении в вакууме возникают поликристаллические пленки с различной ориентацией зёрен [1]. Возможность реализации ван дер Ваальсовой эпитаксии при PLD связывается с замедлением высокоэнергетических ионов инертным газом. В настоящей работе мы демонстрируем, что островки  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  с размерами в десятки нанометров, выращенные при напылении в инертном газе на поверхности HOPG, могут перемещаться по подложке и вращаться под воздействием иглы туннельного микроскопа. Реализация данного метода роста островков на поверхности слоистых материалов с постоянной решетки, близкой к постоянной решетки  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ , открывает возможность изучения эффектов, вызванных пространственной модуляцией решетки островков  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ .

Исследования состава проводились с использованием оборудования ЦКП ФИАН им. П.Н. Лебедева. Численные расчеты проводились с использованием ресурсов МСЦ РАН. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант 21-72-20114).

[1] N.I. Fedotov, A.A. Maizlakh, V.V. Pavlovskiy, G.V. Rybalchenko, S.V. Zaitsev-Zotov, arXiv:2203.06734, submitted to Surfaces and Interfaces.

## Mobile islands of the $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ topological insulator grown by pulsed laser deposition in the van der Waals epitaxy mode

N.I. Fedotov<sup>1</sup>, A.A. Maizlakh<sup>1</sup>, V.V. Pavlovskiy<sup>1</sup>, G.V. Rybalchenko<sup>2</sup>, S.V. Zaitsev-Zotov<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics of RAS, Mokhovaya str., 11/7, Moscow, 125009

<sup>2</sup>Physical Institute P. N. Lebedev Russian Academy of Sciences, Leninsky pr-t, 54, Moscow, 119991

<sup>3</sup>Higher School of Economics, Myasnitskaya, 20, Moscow, 101000

Pulsed laser deposition (PLD) is a simple method for growing multicomponent films, but is not usually considered as a tool for van der Waals epitaxy owing to the high energy of ions produced due to interaction of the laser beam with the target. These ions damage the substrate and the deposited film. In this case, sometimes, in order to transfer the target stoichiometry to the substrate more accurately, deposition is carried out in an inert gas atmosphere. Films of  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  formed during PLD in an inert gas (argon) atmosphere on highly oriented pyrolytic

graphite (HOPG) retain the orientation of the substrate, which indicates the implementation of van der Waals epitaxy, whereas polycrystalline films formed during vacuum deposition have different grain orientations [1]. The possibility of implementing van der Waals epitaxy by PLD is associated with the slowdown of high-energy ions by the inert gas. In this work, we demonstrate that  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  islands tens of nanometers in size, grown by PLD in an inert gas on a HOPG surface, can move and rotate on a substrate under the influence of a tunneling microscope tip. Implementation of this method of growing islands on the surface of layered materials with a lattice constant close to that of  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  opens up the possibility of studying the effects of spatial modulation of the lattice of  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  islands.

Composition studies were carried out using the equipment of the Shared Facility Center at P.N. Lebedev Physical Institute of RAS. The computations were performed using computational resources at the Joint Supercomputer Center of RAS. This work was supported by the Russian Science Foundation (grant no. 21-72-20114).

[1] N. I. Fedotov, A. A. Maizlakh, V. V. Pavlovskiy, G. V. Rybalchenko, S. V. Zaitsev-Zotov, arXiv:2203.06734, submitted to Surfaces and Interfaces.

---



## Структурные фазовые переходы в монослое хлора на гранях Ag(100) и Ag(110)

Н.С. Комаров, В.М. Шевлюга, Б.В. Андриюшечкин

*ИОФ РАН, 119991, Москва, ул. Вавилова, д.38*

Методами сканирующей туннельной микроскопии (СТМ), дифракции медленных электронов (ДМЭ) в комбинации с расчетами в рамках теории функционала плотности (ТФП) была исследована атомная структура хемосорбированного хлора на гранях серебра (100) и (110) на различных этапах адсорбции.

На основании ТФП расчетов установлено, что для грани (100), предпочтительным местом адсорбции является положение в ямке между четырьмя атомами серебра. Методами СТМ и ДМЭ установлено, что единственной упорядоченной структурой хлора на поверхности Ag(100) является структура  $c(2 \times 2)$ , соответствующая степени покрытия 0.5 монослоя (МС).

Адсорбция хлора на поверхность Ag(110) приводит к формированию упорядоченной структуры  $p(2 \times 1)$ , состоящую из цепочек  $-Cl-Ag-Cl-Ag-$ , параллельных направлению  $\langle 100 \rangle$  подложки. При увеличении степени покрытия происходит спаривание цепочек и формирование структуры  $p(3 \times 1)$ . Дальнейшая экспозиция хлором приводит к формированию квазигексагональной решетки хлора, а также к фасетированию поверхности.

## Structural phase transitions in a chlorine monolayer on Ag(100) and Ag(110)

N.S. Komarov, V.M. Shevlyuga, B.V. Andryushechkin

*Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences, Vavilov str. 38, 119991 Moscow, Russia*

The atomic structure of chemisorbed chlorine on silver (100) and (110) faces at various stages of adsorption was studied by scanning tunneling microscopy (STM) and low-energy electron diffraction (LEED) combined with density functional theory (DFT) calculations.

Based on DFT calculations, it was found that for the (100) face, the preferred adsorption site is the four-fold hollow position. Using the STM and LEED, it was found that the only ordered structure of chlorine on the Ag(100) surface is the  $c(2 \times 2)$  structure, which corresponds to a coverage of 0.5 monolayer (ML).

Adsorption of chlorine onto the Ag(110) surface leads to the formation of an ordered  $p(2 \times 1)$  structure consisting of  $-Cl-Ag-Cl-Ag-$  chains parallel to the  $\langle 100 \rangle$  direction of the substrate. With an increase in the degree of coverage, the pairing of chains and the formation of the  $p(3 \times 1)$  structure occur. Further exposure to chlorine leads to the formation of a quasi-hexagonal chlorine lattice, as well as surface faceting.

## Покрытые графеном Ni-иглы для СТМ-литографии кремния

Е.Ф. Миргазизова<sup>1,2</sup>, Т.В. Павлова<sup>1</sup>, К.Н. Ельцов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ИОФ РАН, 119991, Москва, ул. Вавилова, д.38

<sup>2</sup>Факультет физики, НИУ ВШЭ, Москва, ул. Мясницкая, д.20

Для воспроизводимого технологического воздействия на поверхность твердого тела зондом СТМ необходимо иметь достаточно инертную и прочную поверхность острия зонда. Как показывает опыт, острие W- или Pt/Ro-иглы в режиме туннельного контакта может менять свое состояние при подаче импульсного напряжения 2÷5 В, что приводит к плохо воспроизводимым результатам в процессе СТМ-литографии кремния. Предлагается использовать СТМ-иглы, покрытые монослоем графена. В качестве кандидата выбраны иглы из чистого никеля (99.98 %), на поверхности которого термопрограммируемый рост (ТПР) графена нами уже реализован. Критерием наличия графена на поверхности Ni-иглы является специфическая (линейная) зависимость дифференциальной туннельной проводимости (СТС), и специфическая форма линии углерода  $C_{KLL}$  в электронном оже-спектре. Условия синтеза графена при ТПР: доза пропилена 500-1000 Ленгмюр при комнатной температуре с последующим отжигом при 500 °С. В докладе обсуждаются полученные результаты. Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (грант 21-12-00299).

## Graphene covered Ni tips for STM lithography on silicon

E.F. Mirgazizova<sup>1,2</sup>, T.V. Pavlova<sup>1</sup>, K.N. Eltsov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>GPI RAS, 119991, Moscow, ulitsa Vavilova, 38

<sup>2</sup>Faculty of Physics, HSE, Moscow, ulitsa Myasnitskaya, 20

For a reproducible technological impact on the surface of a solid with an STM probe, it is necessary to have a sufficiently inert and robust surface of the probe apex. As experience shows, the apex of a W or Pt/Ro tip in the tunnel contact mode can change its state when a pulsed voltage of 2÷5 V is applied, which leads to poorly reproducible results in the process of silicon STM lithography. We propose to use STM tip covered with a monolayer of graphene. As a candidate, we chose tips made of pure nickel (99.98 %), on the surface of which we implemented temperature programmed growth (TPG) of graphene. As criterion for the presence of graphene on the surface of the Ni tip, a specific (linear) dependence of the differential tunnel conductivity in STS and the specific shape of the CKLL carbon line in AES are chosen. Conditions for the synthesis of graphene during TPG are: a dose of propylene 500-1000 L at room temperature followed by annealing at 500 °C. The report discusses the results obtained.

This study was supported by the Russian Science Foundation (Grant 21-12-00299).

## **Атомная структура монослойных пленок NiI<sub>2</sub> и AgI, синтезированных на гранях Ni(110) и Ag(111) в условиях сверхвысокого вакуума**

А.В. Исаков<sup>1</sup>, С.Д. Захаров<sup>1</sup>, Н.С. Комаров<sup>2</sup>, Б.В. Андриюшечкин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>НИУ ВШЭ, 101000, Москва, ул. Мясницкая, д. 20

<sup>2</sup>ИОФ РАН, 119991, Москва, ул. Вавилова, д.38

В последнее десятилетие повышенный интерес исследователей связан с поиском двумерных материалов, обладающих уникальными свойствами для применений в области (опто)электроники и спинтроники. Основой для синтеза двумерных материалов стал класс слоистых материалов, известных как ван-дер-ваальсовы кристаллы ввиду слабой связи между слоями, что обеспечивает возможность отделения тонких слоев. В работе с использованием контролируемой сверхвысоковакуумной адсорбции молекулярного йода на поверхность монокристаллов никеля и серебра, а также ван-дер-Ваальсовой (ВДВ) эпитаксии синтезировались двумерные материалы, имеющие структуру типа «сэндвича» ML-NiI<sub>2</sub> (I—Ni—I) и DLHC-AgI (I—Ag—Ag—I). На примере систем NiI<sub>2</sub>/I/Ni, NiI<sub>2</sub>/I/Ag, AgI/I/Ag, AgI/I/Ni продемонстрирована возможность синтеза 2D ВДВ материалов на основе йодидов на различных подложках (Ag, Ni) с использованием буферного слоя – хемосорбированного монослоя галогена. Основным методом изучения атомной структуры являлась сканирующая туннельная микроскопия.

## **Atomic structure of NiI<sub>2</sub> and AgI monolayer films synthesized on Ni(110) and Ag(111) under ultrahigh vacuum conditions**

A.V. Isakov<sup>1</sup>, S.D. Zakharov<sup>1</sup>, N.S. Komarov<sup>2</sup>, B.V. Andryushechkin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>HSE University, Myasnitskaya str. 20, 101000 Moscow, Russia

<sup>2</sup>Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences, Vavilov str. 38, 119991 Moscow, Russia

In the last decade, the increased interest of researchers is associated with the search for two-dimensional materials with unique properties for applications in the field of (opto)electronics and spintronics. The basis for the synthesis of two-dimensional materials has become a class of layered materials known as van der Waals materials, due to the weak bond between the layers, which allows them to peel off. Using controlled ultrahigh vacuum adsorption of molecular iodine on the surface of nickel and silver single crystals, as well as van der Waals (VDW) epitaxy, we synthesized two-dimensional materials having a sandwich-like structure ML-NiI<sub>2</sub> (I-Ni-I) and DLHC- AgI (I-Ag-Ag-I). Using the NiI<sub>2</sub>/I/Ni, NiI<sub>2</sub>/I/Ag, AgI/I/Ag, and AgI/I/Ni systems as an example, we demonstrated the possibility of synthesizing VDW materials based on iodides on various substrates (Ag, Ni) using a buffer layer—a chemisorbed monolayer halogen was demonstrated. The main method for studying the atomic structure was scanning tunneling microscopy.

## **Зарядовые состояния оборванной связи кремния и переходы между ними на поверхности Si(100)-2×1-Br**

Т.В. Павлова, В.М. Шевлюга

*Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, 119991, Москва, ул. Вавилова, 38*

Продemonстрировано создание оборванных связей кремния на бромированной поверхности Si(100) в СТМ. Зарядовые состояния оборванной связи кремния контролируемо изменялись за счет эффекта искривления зон напряжением между иглой и образцом. Согласно расчетам, при уменьшении положительного напряжения на образце зарядовое состояние оборванной связи должно изменяться с положительного на нейтральное и далее на отрицательное. Однако в эксперименте наблюдается переход из положительно заряженного состояния в отрицательное, без перехода в нейтральное. В настоящей работе предложено объяснение наблюдаемого эффекта. Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (грант 21-12-00299).

## **Charged states of a silicon dangling bond and transitions between these states on the Si(100)-2×1-Br surface**

T.V. Pavlova, V.M. Shevlyuga

*Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow*

Silicon dangling bonds were created on a brominated Si(100) surface in STM. We have changed the charge states of the silicon dangling bond in a controlled manner by means of the effect of band bending caused by the voltage between the tip and the sample. According to calculations, as the positive voltage at the sample decreases, the charge state of the dangling bond should change from positive to negative through the neutral state. However, in the experiment, a transition from a positively charged state to a negative one is observed without a transition to a neutral state. In the present work, an explanation of the observed effect is proposed. This study was supported by the Russian Science Foundation (Grant 21-12-00299).

## Фазовые переходы на поверхностях меди, вызванные адсорбцией молекул фторфуллеренов

А.И. Орешкин<sup>1</sup>, Д.А. Музыченко<sup>1</sup>, С.И. Орешкин<sup>2</sup>, М.Н. Петухов<sup>3</sup>, Р. Krüger<sup>4</sup>

<sup>1</sup> *Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, д.1, стр.2*

<sup>2</sup> *ГАИШ им. П.К. Штенберга МГУ им. М.В. Ломоносова, 119234, Москва, Университетский проспект, д.13*

<sup>3</sup> *ICB, UMR 6303 CNRS-Université de Bourgogne Franche-Comté, Dijon, France*

<sup>4</sup> *Chiba University, Graduate School of Engineering and Molecular Chirality Research Center, Chiba, Japan*

Формирование структур галогенида меди на поверхностях Cu(001) и Cu(111) было изучено с применением методов сканирующей туннельной микроскопии и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. В качестве источника фтора использовались молекулы фторфуллерена C<sub>60</sub>F<sub>18</sub>. При субмонослойном покрытии C<sub>60</sub>F<sub>18</sub> на поверхности меди, спустя несколько часов после напыления, наблюдается двумерный рост новых структур, индуцированных отсоединившимися от молекулы фторфуллерена атомами фтора. В экспериментах показано, что фторид меди, нестабильный в объёме, может быть стабилизирован в виде двумерной решётки на поверхности меди. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия указывает на хемосорбированное состояние атомов фтора и отсутствие степени окисления Cu<sup>+2</sup> поверхностных атомов меди.

## Phase transitions on copper surface induced by adsorption of fluorinated fullerene molecules

A.I. Oreshkin<sup>1</sup>, D.A. Muzychenko<sup>1</sup>, S.I. Oreshkin<sup>2</sup>, M.N. Petukhov<sup>3</sup>, P. Krüger<sup>4</sup>

<sup>11</sup> *Physical department of M.V. Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia*

<sup>2</sup> *Sternberg Astronomical Institute, Moscow State University, Universitetsky pr., 13, Moscow 119234, Russia*

<sup>3</sup> *ICB, UMR 6303 CNRS-Université de Bourgogne Franche-Comté, Dijon, France*

<sup>4</sup> *Chiba University, Graduate School of Engineering and Molecular Chirality Research Center, Chiba, Japan*

The formation of copper halide structures on copper (001) and (111) surfaces was studied using scanning tunneling microscopy and X-ray photoelectron spectroscopy. Fluorinated fullerene molecules C<sub>60</sub>F<sub>18</sub> were used as a source of fluorine atoms. With a submonolayer coating of fluorinated fullerene on the copper surface, several hours after deposition, one can observe a two-dimensional growth of new structures induced by fluorine atoms detached from the fluorinated fullerene molecule. Experiments have shown that copper fluoride, which is unstable in bulk, can be stabilized in the form of a two-dimensional lattice on Cu surface. X-ray photoelectron spectroscopy indicates the chemisorbed state of fluorine atoms and the absence of the Cu<sup>+2</sup> oxidation state of surface copper atoms.

## Однослойный и двухслойный германен на поверхности Al(111)

Д.А. Музыченко<sup>1</sup>, С.И. Орешкин<sup>2</sup>, В.И. Панов<sup>1</sup>, А.И. Орешкин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Физический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия.

<sup>2</sup>Государственный астрономический институт имени П.К. Штернберга, Москва, Россия.

Синтез постграфеновых 2D-материалов на базе элементов IV группы интенсивно изучается в настоящее время с целью использования основных уникальных электронных свойств графена в комбинации с увеличенным спин-орбитальным взаимодействием и возможностью управлением шириной запрещенной зоны. Германен является аналогом графена и представляет собой монослой атомов Ge в виде двумерной слабо изогнутой структуры типа «пчелиных сот». Следует отметить, что германен может быть создан только искусственным путем, так как в природе не существует кристаллов германия, подобных графиту, использованному для получения графена. Однако, полученные на сегодняшний день экспериментальные результаты по синтезу герменена на металлических поверхностях весьма противоречивы и не позволяют сделать однозначный вывод о том, что формируемые на поверхности германиевые структуры представляют собой именно монослой германия со структурой «пчелиных сот», а не являются упорядоченным сплавом. В работе методом сканирующей туннельной микроскопии сверхвысокого разрешения исследовалась возможность синтеза германена на поверхности Al(111). Результаты экспериментов сравнивались с результатами численного моделирования в рамках теории функционала плотности. Полученные экспериментальные и теоретические результаты свидетельствуют об одновременном зарождении и росте трех различных фаз германий содержащих монослоев с сотообразной атомной структурой  $(2 \times 2)/\text{Al}(111)(3 \times 3)$  и  $(\sqrt{3} \times \sqrt{3})R30^\circ/\text{Al}(111)(\sqrt{7} \times \sqrt{7})R \pm 19^\circ$ . Однако, вопрос об истинной стехиометрии 2D монослоев, индуцированных атомами Ge на поверхности Al(111), продолжает оставаться актуальным.

### Single-layer and bilayer germanene on Al(111) surface

D.A. Muzychenko<sup>1</sup>, S.I. Oreshkin<sup>2</sup>, V.I. Panov<sup>1</sup>, A.I. Oreshkin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia.

<sup>2</sup>Astronomical Institute, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia.

The synthesis of postgraphene 2D materials based on elements of IV group has been studied intensively with the aim of taking advantage of the emerging graphene striking properties as well as of benefiting from an increased spin-orbit coupling and improved possibilities for band gap engineering. Germanene is an analogue of graphene and is a monolayer of Ge atoms in the form of 2D buckled honeycomb structure. It should be noted that germanene can only be synthesized artificially, since there are no germanium crystals similar to graphite used to produce graphene. However, the question of formation and the atomic structures of germanene on metal substrates have been debated during the past few years. In this work, the possibility of synthesizing of germanene on the Al(111) surface has been studied by ultrahigh resolution STM. The experimental results were compared with the results of numerical simulation within the framework of the density functional theory. Our experimental and theoretical findings suggest simultaneous nucleation and growth of three distinct phases of strongly buckled  $(2 \times 2)/\text{Al}(111)(3 \times 3)$  and  $(\sqrt{3} \times \sqrt{3})R30^\circ/\text{Al}(111)(\sqrt{7} \times \sqrt{7})R \pm 19^\circ$  germanene-induced 2D structures with honeycomb atomic arrangements. However, the question of the true stoichiometry of Ge induced 2D structures on the Al(111) surface remains topical.

## Оценка параметров линейной регрессии

А.Ю. Аладышкин<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт физики микроструктур РАН, ул. Академическая, д. 7, Нижний Новгород, 603950

<sup>2</sup>Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского, пр. Гагарина, д. 23, Нижний Новгород, 603022

В докладе будут разобраны некоторые методические вопросы, касающиеся статистической обработки экспериментальных данных. Для модели наименьших квадратов в линейном случае  $y=k\cdot x+b$  будут получены формулы для оценки средних значений коэффициентов  $k$  и  $b$ . Далее будут получены оценки среднеквадратичных отклонений  $\sigma_k$  и  $\sigma_b$ . Будут представлены практические примеры применения соотношений для коэффициентов линейной регрессии для оценок микроскопических параметров тонких плёнок (например, толщины смачивающего слоя, локальной работы выхода и константы электрон-фононного взаимодействия) по результатам туннельных и фотоэмиссионных измерений.

## Estimation of parameters of linear-regression model

A.Yu. Aladyshkin<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Institute for Physics of Microstructures RAS, Nizhny Novgorod 603950, Russia;

<sup>2</sup>Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod 603022, Russia

This talk is devoted to some methodological aspects dealing with statistical analysis of experimental data. For the model of least squares in linear case  $y=k\cdot x+b$  we derive expressions for estimates of mean values for  $k$  and  $b$ . Then we get the estimates for standard deviations  $\sigma_k$  and  $\sigma_b$ . Application of these formulas for estimation of microscopic parameters of thin films will be discussed.

---

## **Синтез композитных Au/Si наноструктур методом СТМ литографии и их исследование в условиях сверхвысокого вакуума**

Д.В. Лебедев<sup>1,2,3</sup>, В.А. Школдин<sup>1</sup>, Л.Н. Дворецкая<sup>1</sup>, К.Н. Новикова<sup>1</sup>, Н.А. Соломонов<sup>1</sup>,  
А.В. Архипов<sup>4</sup>, А.О. Голубок<sup>1,2</sup>, И.С. Мухин<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>*Академический университет им. Ж.И. Алфёрова, 194021, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Хлопина, д. 8*

<sup>2</sup>*Институт аналитического приборостроения РАН, 190103, Россия, Санкт-Петербург, Рижский пр., д. 26*

<sup>3</sup>*Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Россия, г. Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7/9*

<sup>4</sup>*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29*

Перспективным путем развития вычислительной техники является интеграция фотонных и электронных элементов в оптоэлектронные микросхемы нового поколения. Для этого необходимо решить задачу создания наномасштабных электроуправляемых источников оптического излучения. В данной работе исследуется метод формирования таких источников, в основе которых лежит эффект излучения фотонов при неупругом туннелировании электронов через наноконтакт. Для этого используется СТМ-литография, позволяющая локально модифицировать слои плёнок золота/кремний с помощью локального импульсного нагрева.

## **Synthesis of composite Au/Si nanostructures by STM lithography and their study under ultrahigh vacuum conditions**

D.V. Lebedev<sup>1,2,3</sup>, V.A. Shkoldin<sup>1</sup>, L.N. Dvoretzkaya<sup>1</sup>, K.N. Novikova<sup>1</sup>, N.A. Solomonov<sup>1</sup>,  
A.V. Arkhipov<sup>4</sup>, A.O. Golubok<sup>1,2</sup>, I.S. Mukhin<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>*Academic University named after Zh.I. Alferova, 194021, Russia, St. Petersburg, st. Khlopina, 8*

<sup>2</sup>*Institute of Analytical Instrumentation, Russian Academy of Sciences, 26, Rzhskiy pr., St. Petersburg, 190103, Russia*

<sup>3</sup>*Saint Petersburg State University, Universitetskaya embankment, 7/9, St. Petersburg, 199034, Russia*

<sup>4</sup>*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 195251 Russia, St. Petersburg, st. Politekhnikeskaya, 29*

A promising way for the development of computer technology is the integration of photonic and electronic elements into optoelectronic microcircuits of a new generation. To do this, it is necessary to solve the problem of creating nanoscale electrically controlled sources of optical radiation. In this paper, we study a method for the formation of such sources based on the effect of photon emission during inelastic tunneling of electrons through a nanocontact. For this, STM lithography is used, which makes it possible to locally modify layers of gold/silicon films using local pulsed heating.



## **О пространственном разрешении пьезорезонансного зондового датчика с вольфрамовой иглой**

О.М. Горбенко, М.В. Жуков, С.Ю. Лукашенко, С.В. Пичахчи, И.Д. Сапожников, М.Л. Фельштын, А.О. Голубок

*ИАП РАН, 198095, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, 31-33, лит. А*

В сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ) используют зондовые датчики силового взаимодействия различных типов. Наиболее широко распространены кремниевые кантилеверы с оптической регистрацией их отклонения под действием силового взаимодействия с исследуемой поверхностью. Также известны “self-sensing” зондовые датчики на основе кремниевого кантилевера или пьезотрубки, использующие пьезорезистивный или пьезорезонансный принципы измерения их прогиба, соответственно. В данной работе исследовался “self-sensing” пьезорезонансный зондовый датчик. Датчик представляет собой пьезотрубку, на свободном конце которой закреплена W игла длиной несколько миллиметров. Обычно считается, что пространственное разрешение зондовых датчиков СЗМ обусловлено радиусом сферы при вершине наноиглы. Однако, в колебательных режимах работы СЗМ “пятно” контакта зонда с образцом может размываться, ухудшая пространственное. В данной работе методом конечных элементов с использованием программного пакета COMSOL рассчитывались амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) системы пьезотрубка - W игла и размер эффективного пятна контакта зонда с образцом в условиях реального эксперимента. Проведено сравнение результатов расчета с экспериментальной АЧХ.

## **On the spatial resolution of a piezoresonance probe sensor with a tungsten needle**

O.M. Gorbenko, M.V. Zhukov, S.Yu. Lukashenko, S.V. Pichahchi, I.D. Sapozhnikov, M.L. Felshtyn, A.O. Golubok

*IAI RAS, 198095, Saint-Petersburg, Ivana Chernyh str., 31-33, litera A*

In scanning probe microscopy (SPM) the various types of force interaction probe sensors are used. Silicon cantilevers with optical registration of their deflection under the influence of force interaction with the surface under study are the most widespread. Also “self-sensing” probe sensors based on a silicon cantilever or piezo tubes using piezoresistive or piezoresonance principle for measuring their deflection, respectively, are known. In this work a “self-sensing” piezoresonance probe sensor was investigated. The sensor is a piezo tube, at the free end of which a W needle with a length of several millimeters is fixed. It is generally assumed that the spatial resolution of SPM probe sensors is due to the radius of the sphere at the apex of the needle tip. However, in the oscillatory modes of SPM operation the “spot” of the probe's contact with the sample can be blurred, impairing the spatial resolution. In this paper the amplitude-frequency characteristic of the piezo-tube - W needle system and the size of the effective contact spot of the probe with the sample were calculated by finite element method using COMSOL software package. The calculation results are compared with the experimental frequency response curve.

## **Особенности поведения кривой подвода сканирующего микроскопа ионной проводимости**

С.Ю. Лукашенко, О.М. Горбенко, М.В. Жуков, С.В. Пичахчи, И.Д. Сапожников, М.Л. Фельштын, А.О. Голубок

*ИАП РАН, 198095, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, 31-33, лит. А*

Работа сканирующего микроскопа ионной проводимости основана на предположении, что ионный ток  $I(z)$ , протекающий через наноапертуру зонда в виде стеклянной нанопипетки имеет максимальное значение  $I=I_{\text{sat}}$  вдали от исследуемого образца, погруженного в раствор электролита и уменьшается при сближении зонда с поверхностью. Величину рабочего тока СМПП обычно выбирают вблизи тока насыщения  $I \sim 0,9I_{\text{sat}}$ . Однако, в некоторых случаях имеет место необычное поведение зависимости  $I(z)$  на кривой подвода с увеличением ионного тока при приближении нанопипетки к поверхности образца. Появление пика на кривой подвода  $I(z)$  при сближении нанопипетки с поверхностью образца мы называем «пик-эффектом». Очевидно, что пик-эффект может приводить к сбою в работе следящей системы СМПП и шумам на СМПП-изображениях. В работе экспериментально исследуется появление пика на кривой подвода. Рассматривая нанопипетку вблизи поверхности образца как микрофлюидную систему в виде T – образного канала, в работе рассчитывается зависимость  $I(z)$  с использованием метода конечных элементов и программного пакета КОМСОЛ.

## **Features behavior of the approach curve of a scanning ionic conductivity microscope.**

S.Yu. Lukashenko, O.M. Gorbenko, M.V. Zhukov, S.V. Pichahchi, I.D. Sapozhnikov, M.L. Felshtyn, A.O. Golubok

*IAI RAS, 198095, Saint-Petersburg, Ivana Chernyh str., 31-33, litera A*

The operation of a scanning ionic conductivity microscope (SICM) is based on the assumption that the ion current  $I(z)$  flowing in an electrolyte solution through the narrow aperture of a probe in the form of a glass nanopipette has a maximum value  $I=I_{\text{sat}}$  far from the sample and decreases as the probe approaches the surface. The value of the SICM work current is usually chosen near the saturation current  $I \sim 0.9I_{\text{sat}}$ . However, in some cases there is an unusual behavior of the  $I(z)$  approach curve near the surface when the ion current increases as the nanopipette approaches the sample surface. The appearance of a peak on the  $I(z)$  curve when the nanopipette approaches the sample surface is what we call the "peak effect". It is obvious that the peak effect can lead to the failure of the SICM feedback system and increasing noise at the SICM images. In this work the appearance of the peak on the approach curve have been studied experimentally. Considering the nanopipette near the sample surface as a microfluidic system in the form of a T - shaped channel the  $I(z)$  dependence using the finite element method and the COMSOL software package have been calculated.

## **Анализ структуры липидной мембраны с магнитными наночастицами $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ с помощью ближнепольной оптической микроскопии**

П.Н. Астанина<sup>1,2</sup>, О.В. Коплак<sup>2,3</sup>, А.А. Аносов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*МГУ им. М.В. Ломоносова, 119991, Москва*

<sup>2</sup>*ИПХФ РАН, 142432, Черноголовка*

<sup>3</sup>*ПГМУ им. И.М. Сеченова, 119991, Москва*

Магнитные наночастицы используют в терапевтических целях в медицине: в терапии рака, в качестве контрастного вещества в МРТ, для доставки лекарств, локальной гипертермии и т.д. Не до конца изученным является вопрос взаимодействия наночастиц с биологическим объектом – липидной мембраной, посредством которой происходит обмен между клеткой и ее внешней средой. Ближнепольная оптическая микроскопия (s-SNOM) была использована для визуализации поверхности нанообъектов и исследования механизма взаимодействия липидной мембраны с магнитными наночастицами. Благодаря тому, что микроскоп одновременно регистрирует четыре сигнала: топоологию поверхности АСМ, фазовый контраст, отражение света и поглощение света это позволило идентифицировать части азолектиновой липидной мембраны, которые модифицированы наночастицами  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ , диаметром 14 нм. Проникновение наночастиц в мембрану вызывает изменение ее структуры. Методом s-SNOM были идентифицированы реконструированные атомные группы в поверхностных слоях мембраны. После добавления наночастиц увеличивается количество связей Fe – OH и Fe = C–H. Гидрофобные наночастицы стимулируют реконструкцию поверхности липидного слоя и открытие пор, обеспечивая увеличение ионной проводимости.

## **Analysis of the structure of a lipid membrane with magnetic $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ nanoparticles using near-field optical microscopy**

P.N. Astanina<sup>1,2</sup>, O.V. Koplak<sup>2,3</sup>, A.A. Anosov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Moscow State University, 119991, Moscow*

<sup>2</sup>*Institute of Problems of Chemical Physics of RAS, 142432, Chernogolovka*

<sup>3</sup>*Moscow State Medical University, 119991, Moscow*

Magnetic nanoparticles are used for therapeutic purposes in medicine: in cancer therapy, as a contrast agent in MRI, for drug delivery, local hyperthermia, etc. The interaction of nanoparticles with a biological object – the lipid membrane, through which the exchange between the cell and its external environment takes place, is not fully understood. Scanning near-field optical microscopy (s-SNOM) was used to visualize the surface of nanoobjects and investigate the mechanism of interaction of the lipid membrane with magnetic nanoparticles. Due to the fact that the microscope simultaneously registers four signals: the topology of the AFM surface, phase contrast, light reflection and light absorption, it is possible to identify parts of the azolectin lipid membrane that are modified by  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  nanoparticles with a diameter of 14 nm. The penetration of nanoparticles into the membrane causes a change in its structure. The reconstructed atomic groups in the surface layers of the membrane were identified by the s-SNOM method. After the addition of nanoparticles, the number of Fe–OH and Fe = C–H bonds increases. Hydrophobic nanoparticles stimulate the reconstruction of the surface of the lipid layer and the opening of pores, providing an increase in ionic conductivity.

## Определение магнитного момента одиночной наносферы никеля методом магнито-силовой микроскопии

Е.В. Дворецкая, О.В. Коплак

*ИПХФ РАН, 142432, Черноголовка*

Магнитные наноструктуры (нанопровода, наносферы, наносети) привлекают большое внимание специалистов благодаря возможности их широкого применения в биофизике, медицине, устройствах магнитной логики и магнитной памяти. Основными параметрами таких нанообъектов является их размер, температурная стабильность и скорость перемагничивания, учитывающая намагниченность насыщения  $M_s$ , магнитную анизотропию  $K$  и объем  $V$ . В работе исследованы локальные магнитные свойства наносфер Ni, которые входят в состав ферромагнитной наносети, полученной методом лазерной абляции в среде сверхтекучего гелия. Определен магнитный момент одиночной никелевой наносферы с помощью метода магнито-силовой микроскопии. Учитывая, что локальное поле рассеяния одиночной однородной намагниченной наносферы равно полю рассеяния точечного диполя, расположенного в его центре, был рассчитан фазовый сдвиг  $\Delta\varphi$  кантилевера и проведена его калибровка на аттестованной наночастице  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  с известной намагниченностью. Это дало возможность рассчитать коэффициент пропорциональности  $c(h)$  и определить локальный магнитный момент одиночной наносферы никеля диаметром  $d = 75$  nm, который был равен  $\mu = 4.5 \cdot 10^{-19}$  А·м. Получено хорошее согласование с теоретически рассчитанным значением  $\mu = M_s \pi d^3 / 6 = 4.2 \cdot 10^{-19}$  А·м<sup>2</sup> для однодоменной наносферы никеля.

Работа выполнена в рамках тематической карты Института проблем химической физики АААА-А19-119092390079-8.

## Determination of the magnetic moment of a single nickel nanosphere by magnetic force microscopy

E.V. Dvoretzkaya, O.V. Koplak

*Institute of Problems of Chemical Physics of RAS, 142432, Chernogolovka*

Magnetic nanostructures (nanowires, nanospheres, nanonetworks) attract great attention of specialists due to the possibility of their wide application in biophysics, medicine, magnetic logic devices and magnetic memory. The main parameters of such nanoobjects are their size, temperature stability, and magnetization reversal rate, which takes into account the saturation magnetization  $M_s$ , magnetic anisotropy  $K$ , and volume  $V$ . In this work, we study the local magnetic properties of Ni nanospheres that are part of a ferromagnetic nanonetwork obtained by laser ablation in a superfluid helium medium. The magnetic moment of a single nickel nanosphere was determined using the method of magnetic force microscopy. Considering that the local stray field of a single homogeneous magnetized nanosphere is equal to the stray field of a point dipole located at its center, the phase shift  $\Delta\varphi$  of the cantilever was calculated and calibrated on a certified  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  nanoparticle with a known magnetization. This made it possible to calculate the coefficient of proportionality  $c(h)$  and determine the local magnetic moment of a single nickel nanosphere with a diameter of  $d = 75$  nm, which was equal to  $\mu = 4.5 \cdot 10^{-19}$  А·м. A good agreement with the theoretically calculated value  $\mu = M_s \pi d^3 / 6 = 4.2 \cdot 10^{-19}$  А·м<sup>2</sup> for a single-domain nickel nanosphere was obtained.

The work was carried out within the framework of the thematic map of the Institute for Problems of Chemical Physics АААА-А19-119092390079-8.

## **Морфометрия биологических клеток с магнитными наночастицами**

А.А. Нагайникова<sup>1</sup>, О.В. Коплак<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*МГУ им. М.В. Ломоносова, 119991, Москва*

<sup>2</sup>*ИПХФ РАН, 142432, Черноголовка*

Магнитные наночастицы потенциально имеют широкое применение в биомедицине (адресная доставка лекарств, магнитная гипертермия, инновационные методы диагностики и терапии в клинической практике). Благодаря своим размерам они способны взаимодействовать с организмом на клеточном уровне. При этом встаёт важный вопрос о влиянии наночастиц на живые клетки. Исследование морфологии клеточной поверхности с наночастицами и динамику ее изменения во времени от живой до мертвой в работе было проведено методом АСМ сканирования в жидкости. Были подобраны клетки Hela с разной концентрацией наночастиц. Также были проведены эксперименты с клетками Hela с наночастицами разных размеров. Режим сканирования выбран максимально щадящим, во избежание травмирования клеток. Получена закономерность образования дефектов в мембране клетки в следствие проникновения магнитных наночастиц  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  разного диаметра.

## **Morphometry of biological cells with magnetic nanoparticles**

A.A. Nagaynikova<sup>1</sup>, O.V. Koplak<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*M.V. Lomonosov Moscow State University, 119991, Moscow*

<sup>2</sup>*Institute of Problems of Chemical Physics, 142432, Chernogolovka*

Magnetic nanoparticles are widely used in biomedicine (targeted drug delivery, magnetic hyperthermia, innovative methods of diagnostics and therapy in clinical practice). Due to their size, they interact with the body at the cellular level. This raises an important question about the effect of nanoparticles on living cells. The study of the morphology of the cell surface with nanoparticles and the dynamics of its changes over time from alive to dead in the work was carried out by the AFM method in liquid. Hela cells with different concentrations of nanoparticles analyzed. Experiments were also carried out with Hela cells with nanoparticles of different sizes. Cells are not injured in the soft scanning mode. The formation of defects in the cell membrane during the penetration of  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  magnetic nanoparticles of different diameters was found.

## Солитоны в трёхмерных пайерлсовских диэлектриках

С.В. Чекмазов<sup>1</sup>, А.С. Ксёنز<sup>1</sup>, А.А. Смирнов<sup>1</sup>, Р.Н. Можчиль<sup>1</sup>, А.М. Ионов<sup>1,2</sup>, С.Г. Протасова<sup>1</sup>, А.А. Капустин<sup>1</sup>, В.С. Столяров<sup>3,4,5</sup>, С.И. Божко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт физики твёрдого тела Российской академии наук, 142432 Россия, г. Черноголовка, Московская обл., ул. Академика Осипьяна, д. 2

<sup>2</sup>Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 101000 Россия, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20

<sup>3</sup>Московский физико-технический институт, 141701 Россия, Долгопрудный, Московская обл., Институтский пер., д. 9

<sup>4</sup>Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», 119049 Россия, г. Москва, Ленинский пр-кт, д. 4, стр. 1

<sup>5</sup>Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова», 127030 Россия, Москва, ул. Суцневская, д. 22

В данном докладе будут представлены результаты исследований нового типа квазидвумерных дефектов в кристаллических пайерлсовских диэлектриках, структура которых имеет слоистый характер вдоль одного из кристаллографических направлений. Такие дефекты были впервые теоретически описаны ещё в 1979 г. Су, Шриффером и Хигером для случая простой линейной сопряжённой структуры полиацетилена,  $(\text{CH})_x$ , и названы топологическими солитонами. В рамках данной работы объектами исследований выступали монокристаллические Sb и Bi. Как известно, именно фазовый переход Пайерлса для этих материалов является основополагающей причиной формирования электронного спектра с энергетической щелью и деформирования кристаллической решётки, выраженного в чередовании длинных и коротких химических связей вдоль [111] направления. В результате имеется sdвоенность атомных плоскостей (111) в так называемые «бислои» в случае Sb и Bi. Атомные плоскости, отделённые друг от друга длинной связью соединены между собой ван-дер-ваальсовыми силами, в то время как внутри бислоя атомные плоскости связаны укороченными ковалентными химическими связями. Используя методы СТМ и СТС, ПЭМ, а также численные расчёты, проведённые в рамках приближения функционала плотности, удалось продемонстрировать существование в приповерхностной области (111) квазидвумерного дефекта, визуализированный как нарушение чередования межплоскостных расстояний вдоль [111], подобно тому, что описывается в модели Су-Шриффера-Хигера для солитона. Размер сформированной дефектной приповерхностной области составил 8 – 10 межплоскостных расстояний вдоль [111] направления, что с определённой точностью совпадало с размером топологического солитона в одномерной углеродной цепочке  $(\text{CH})_x$ . Но нельзя не отметить существенные изменения в электронной структуре, проявившееся, например, в разности плотности электронных состояний для материалов с наличием и отсутствием солитона, что было показано как в численном квантово-механическом расчёте, так и в СТС и УФЭС измерениях. Образование данного приповерхностного дефектного слоя обсуждается с точки зрения локального нарушения условий фазового перехода Пайерлса.

## Solitons in 3D Peierls dielectrics

S.V. Chekmazov<sup>1</sup>, A.S. Ksenz<sup>1</sup>, A.A. Smirnov<sup>1</sup>, R.N. Mozhchil<sup>1</sup>, A.M. Ionov<sup>1,2</sup>, S.G. Protasova<sup>1</sup>, A.A. Kapustin<sup>1</sup>, V.S. Stolyarov<sup>3,4,5</sup>, and S.I. Bozhko<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Solid State Physics, Russian Academy of Sciences, 142432 Russia, Chernogolovka, Moscow District, Academician Osipyan str., 2*

<sup>2</sup>*National Research University Higher School of Economics, 101000 Russia, Moscow, Myasnitskaya str., 20*

<sup>3</sup>*Moscow Institute of Physics and Technology, 141701 Russia, Dolgoprudny, Moscow District, Institutskiy per., 9*

<sup>4</sup>*National University of Science and Technology MISiS, 119049 Russia, Moscow, Leninskiy prosp., 4*

<sup>5</sup>*The Federal State Unitary Enterprise Dukhov Automatics Research Institute (VNIIA), 127030 Russia, Moscow, Sushchevskaya str., 22*

This report will present the results of the studies of a new type of quasi-two-dimensional defects in crystalline Peierls dielectrics with a layered structure. Such defects were first described theoretically in 1979 by W.P. Su, J.R. Schrieffer, and A.J. Heeger (SSH) for the case of a simple linear conjugated structure of polyacetylene,  $(\text{CH})_x$ , and were called topological solitons. Within this work, single-crystalline Sb and Bi were the objects of research. As is well-known, for these materials, it is the Peierls transition that is the main reason for the formation of an electronic spectrum with a band gap and the deformation of a crystal lattice expressed in the alternation of long and short chemical bonds along the [111] direction. As a result, (111) atomic planes double into the so-called “bilayers” in the case of Sb and Bi. Atomic planes separated by the long bond are coupled by the van der Waals forces. Inside a bilayer, however, atomic planes are coupled by the shortened covalent chemical bonds. The existence of a quasi-two-dimensional defect in (111) near-surface region was demonstrated using STM, STS, TEM, and *ab initio* simulations performed within density functional approximation. It was visualized as the disturbance of the alternation of interlayer distances along the [111] direction. This was done in the way similar to that described in the SSH model for a soliton. The size of the formed defect near-surface region was 8 – 10 interlayer distances along the [111] direction, which is agreement with the size of a topological soliton in a one-dimensional  $(\text{CH})_x$  chain. One of the most important points is increase of DOS caused by soliton. This has been demonstrated in both numerical quantum-mechanical calculation and STS and UPS measurements. The formation of this near-surface defect layer is discussed in terms of the local brake of the Peierls transition conditions.

## **Достоинства и недостатки различных реализаций одно- и многопроходных методик для исследования распределения электрических свойств материалов**

Д.А.Фокин

*ООО «Лакона», 117342, Москва, ул.Бутлерова, 17*

В настоящее время существует достаточно большое количество АСМ-режимов исследования распределения электрических свойств материалов. При этом одни и те же режимы могут быть по-разному построены в различных экспериментах. В «комплект» методик входят такие методы, как электро-силовая микроскопия, метод зонда кельвина, сканирующая емкостная микроскопия и т.д. Эти методы позволяют проводить исследования с пространственным разрешением в несколько нанометров, и каждый из них обладает рядом достоинств и недостатков. Доклад содержит обзор указанных методов и подкреплен рядом экспериментальных изображений для иллюстрации, что важно в связи с высоким спросом на такие исследования не только в научных исследованиях, но и на производстве.

## **Advantages and drawbacks of different approaches to single- and multi-pass techniques for studying materials electrical properties distribution**

D.A. Fokin

*LLC "Lacopa", 117342, Moscow, Butlerova street, 17*

There are currently plenty of different AFM modes for electric properties distribution study. More then this same modes could be organized differently in a different set-ups. The "set" of those techniques includes such modes as Electric Force Microscopy, Kelvine Probe Microscopy, Scanning Capacitance Microscopy, etc. These modes allow one to perform the studies with a few nanometers spatial resolution, but each of them has its advantages and drawbacks. By this report I will make an overview of these methods together with presenting experimental results, which is important due to the high demand for such studies not only in scientific research, but also in production.

---



## **Когда кулоновская блокада уже давно закончилась, а стандартный диффузный транспорт еще и не думал начинаться**

А.А. Жуков

*ИФТТ РАН, 142432, Черноголовка, Московская обл., ул. Академика Осипьяна, д.2*

Методикой измерения магнитотранспорта в присутствии проводящей иглы атомно-силового микроскопа исследован переход от режима кулоновской блокады к режиму стандартного диффузного транспорта в полупроводниковых нанопроволоках. Показана критически важная роль резонансных рассеивателей в формировании фрактального режима транспорта в данных структурах.

Работа выполнена в рамках госзадания ИФТТ РАН.

## **When the Coulomb blockade has been over long time ago but standard diffusion transport does not even think to appear**

A.A. Zhukov

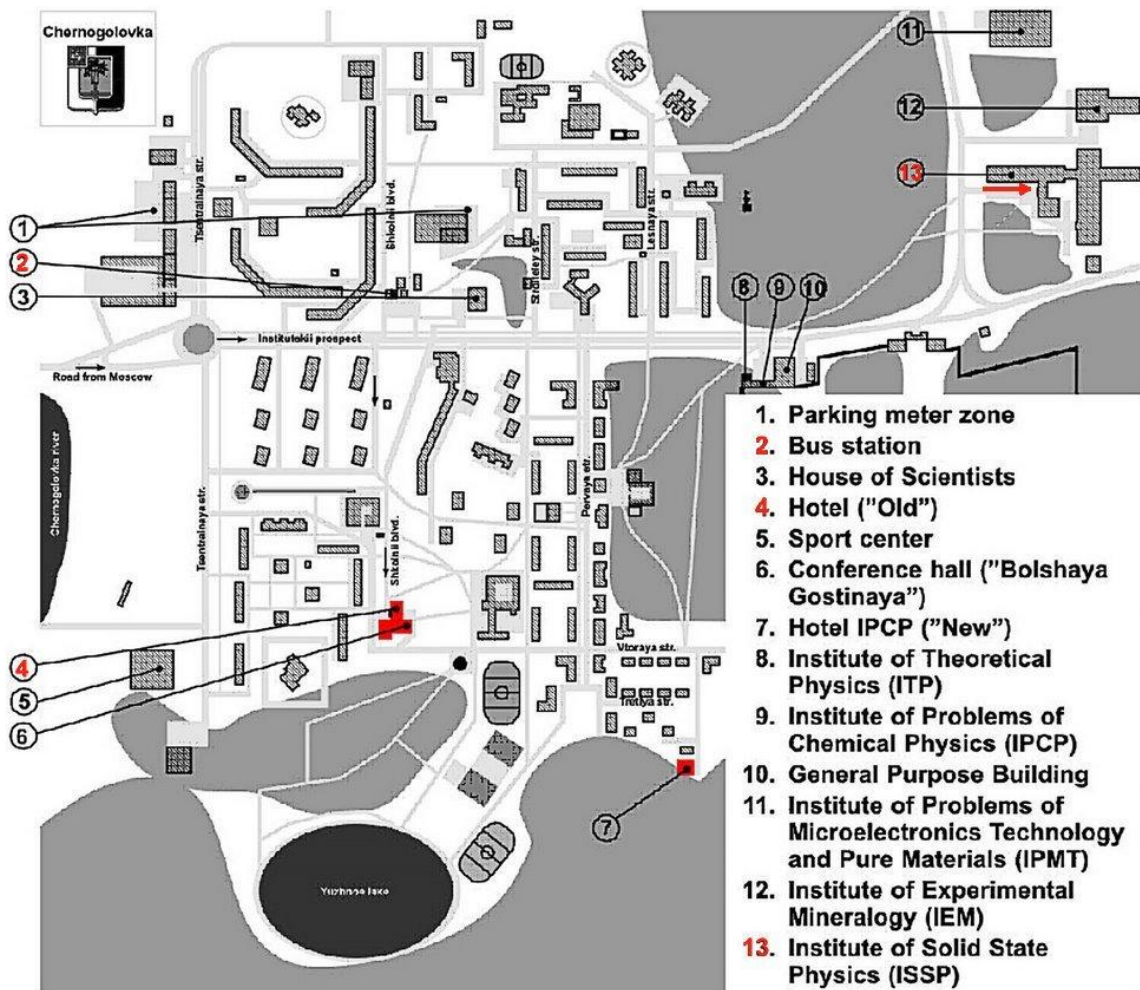
*ISSP RAS, 142432, Chernogolovka, Moscow region., Acad. Ossypian str, 2*

Using scanning gate microscopy technique, the transition from the Coulomb blockade regime to standard diffusion transport regime in semiconducting nanowires is investigated. The crucial role of resonant scatters in formation of the fractal transport regime is shown.

This work is supported by state task of ISSP RAS.

---

## **ДЛЯ ЗАМЕТОК**



Красной стрелкой на карте отмечен вход в ИФТТ.

Путь пешком от гостиницы (4) до ИФТТ (13) составляет примерно 30 минут.

