

V Всероссийская конференция

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

Черноголовка, 14 – 15 октября 2025 г.

Редакторы: к.ф.-м.н. Жуков А.А. и к.ф.-м.н. Чайка А.Н.

5th Conference

**“Applications of scanning probe microscopy out of ambient
conditions”**

Chernogolovka, October 14 – 15, 2025

ОРГАНИЗАТОР

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

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

А.А. Левченко, чл.-корр. РАН, ИФТТ РАН, Черноголовка
В.Л. Миронов, д.ф.-м.н., ИФМ РАН, Н. Новгород
А.А. Жуков, к.ф.-м.н., ИФТТ РАН, Черноголовка
А.Н. Чайка, к.ф.-м.н., ИФТТ РАН, Черноголовка

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

А.А. Левченко, чл.-корр. РАН, ИФТТ РАН, Черноголовка
А.А. Жуков, к.ф.-м.н., ИФТТ РАН, Черноголовка
А.Н. Чайка, к.ф.-м.н., ИФТТ РАН, Черноголовка
С.Т. Зеленцова, 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

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

Вторник, 14 октября 2025 г.

10.00-10.10	Открытие конференции
10.10-10.50	В.А. Быков, Т.Г. Матюшин «Сканирующая зондовая микроскопия сегодня – от микро- и наноэлектроники до молекулярной биологии и медицины»
10.50-11.30	Д.В. Лебедев, Н.А. Соломонов, И.С. Мухин. «Исследование оптических свойств поверхности с субволновым пространственным разрешением методом регистрации СТМ индуцированной люминесценции»
11.30-11.50	Coffee break
11.50-12.30	Т.В. Павлова, В.М. Шевлюга «Молекулы PVg_3 и H_2O на поверхности $Si(100)$ »
12.30-13.10	Б.В. Андрюшечкин, Т.В. Павлова, Н.С. Комаров, В.М. Шевлюга «Кoadсорбция хлора и кислорода на поверхности серебра: СТМ и ТФП исследование»
13.10-14.30	Lunch
14.30-15.10	В.А. Сергунова, М.Е. Докукин «Атомно-силовая микроскопия для оценки клеточных физиомаркеров для детектирования патологий и заболеваний»
15.10-15.50	А.Н. Чайка, А.Ю. Аладышкин, В.Н. Семенов, А.М. Ионов, С.И. Божко «Об атомной структуре тройных ступеней на поверхностях $Si(hhm)$ »
15.50-16.10	Coffee break
16.10-16.50	А.Ю. Аладышкин, А.Н. Чайка «Анализ периодичности системы мультиатомных ступеней на вицинальных поверхностях»
16.50-17.30	Б.А. Поляк, В.С. Храпай «Разработка и применение криогенного шумового туннельного микроскопа»

Среда, 15 октября 2025 г.

10.00-10.40	Д.А. Фокин «Когда хочется большего: колокализация АСМ и световых методов исследования поверхности»
10.40-11.20	Д.В. Казанцев , Е.А. Казанцева, В.С. Ивченко, В.А. Ивлева, Д.А. Матиенко, А.Ю. Кунцевич «Сканирующая безапертурная микроскопия ближнего оптического поля»
11.20-11.40	Coffee break
11.40-12.20	С.Ю. Лукашенко , С.В. Пичахчи, И.Д. Сапожников, М.Л. Фельштын, О.М. Горбенко, А.О. Голубок «Исследование механизмов возникновения пика на зависимости тока от расстояния в сканирующей микроскопии ионной проводимости»
12.20-13.00	С.В. Чекмазов , А.С. Ксёنز, А.А. Мазилкин, О.В. Кононенко, А.П. Сиротина, Е.А. Першина, А.М. Ионов, А.А. Капустин, А.Ю. Аладышкин и С.И. Божко «Спин-поляризованный туннельный ток, индуцированный электрическим полем зонда СТМ»
13.00-14.30	Lunch
14.30-15.10	А.С. Фролов «Сканирующая туннельная микроскопия/спектроскопия в задачах изучения электронных свойств поверхности топологических изоляторов»
15.10-15.50	В.С. Столяров , А.Ю. Аладышкин, Р.А. Ованнисян, С.Ю. Гребенчук, С.А. Ларионов, А.Г. Шишкин, О.В. Скрыбина, В.В. Дрёмов, А.В. Самохвалов, А.С. Мельников, Д.Ю. Родичев «Сканирующая вихревая микроскопия: новый метод изучения локального потенциала пиннинга в сверхпроводящих пленках»
15.50-16.10	Coffee break
16.10-16.50	А.А. Жуков «О влиянии морфологии контактов на статистику универсальных флуктуаций кондактанса в квазиодномерных полупроводниковых нанопроволоках»
16.50-17.30	В.О. Кривчук , В.В. Дрёмов «Разработка и применение АСМ-зондов на основе кварцевых камертонов для задач сканирующей зондовой микроскопии»
17.30-17.40	Заккрытие конференции и подведение итогов

СПИСОК ДОКЛАДЧИКОВ

Аладышкин Алексей Юрьевич	aladyshkin@ipmras.ru
Андрюшечкин Борис Владимирович	andrush@kapella.gpi.ru
Быков Виктор Александрович	vbykov@me.com
Жуков Алексей Алексеевич	azhukov@issp.ac.ru
Казанцев Дмитрий Всеволодович	kaza@itep.ru
Кривчук Василий Олегович	krivchuk.vo@phystech.edu
Лебедев Денис Владимирович	denis.v.lebedev@gmail.com
Лукашенко Станислав Юрьевич	stas.lukashenko@mail.ru
Павлова Татьяна Витальевна	pavlova@kapella.gpi.ru
Поляк Борис Александрович	Boriskatru@gmail.com
Сергунова Виктория Александровна	vika_23s82@mail.ru
Столяров Василий Сергеевич	stolyarov.vs@phystech.edu
Фокин Денис Александрович	fokin@lacopa.group
Фролов Александр Сергеевич	frolov.as@mipt.ru
Чайка Александр Николаевич	chaika@issp.ac.ru
Чекмазов Сергей Васильевич	chekmazov@issp.ac.ru

Сканирующая зондовая микроскопия сегодня – от микро- и нанoeлектроники до молекулярной биологии и медицины

В.А. Быков, Т.Г. Матюшин

ООО «КСИЛЛЕКТ», ООО «ТЕХНОСЕК ХОЛДИНГ», г. Москва, Россия

К настоящему времени развитие СЗМ позволяет активно и результативно проводить исследования во многих отраслях науки и промышленности – от фундаментальных и прикладных исследований материалов и процессов до практической медицины.

Приборы позволяют регистрировать большой набор характеристик поверхностных наноструктур, включая геометрические параметры, жесткость, электрические и магнитные свойства, позволяют модифицировать поверхностные структуры.

В комбинации с видимой и ИК спектроскопией, спектроскопией комбинационного рассеяния возможно исследовать оптические свойства поверхностей с пространственным разрешением до 10 нм, а с использованием перестраиваемых лазеров в ИК диапазоне возможно получать информацию о распределении функциональных групп по поверхности.

К настоящему времени нашей группой компаний созданы атомно-силовые микроскопы для исследования пластин диаметром до 200 мм с разрешением вплоть до атомарного, что особенно интересно для прикладных и фундаментальных исследований в области нанoeлектроники. На рисунке приведена фотография прибора N-LECTA, установленного в настоящее время в Зеленоградском нанотехнологическом центре и ЭКЗАН (Черноголовка).



Рис.1. ACM N-LECTA LR200.

С использованием ACM N-LECTA LR200 возможно комплексное исследование образцов размером до 200×200 мм² с возможностью получения атомарного разрешения в условиях обычной лаборатории. Прибор снабжен внутренней системой термостабилизации. Рабочая температура прибора устанавливается на 5 – 7 градусов выше комнатной температуры. Прибор оснащен мощной системой активной виброзащиты, обеспечивающей возможность достижения атомарного разрешения в условиях лаборатории.

Scanning probe microscopy today – from micro- and nanoelectronics to molecular biology and medicine

V.A. Bykov, T.G. Matyushin

OOO "XILLECT", OOO "TEKHNOSEK HOLDING", Moscow, Russia

At present, the development of SPM allows for active and effective research in many areas of science and industry – from fundamental and applied research of materials and processes to practical medicine.

The devices allow for recording a large set of characteristics of surface nanostructures, including geometric parameters, rigidity, electrical and magnetic properties, and allow for modification of surface structures.

In combinations with visible and IR spectroscopy, Raman spectroscopy can study the optical properties of surfaces with a spatial resolution of up to 10 nm, and using tunable lasers in the IR range, it is possible to obtain information on the distribution of functional groups on the surface. By now, our group of companies has created atomic force microscopes for studying plates up to 200 mm in diameter with a resolution down to atomic, which is especially interesting for applied and fundamental research in the field of nanoelectronics. Fig. 1 (see below) shows a photograph of the N-LECTA device, currently installed in the Zelenograd Nanotechnology Center and EKZAN (Chernogolovka).



Fig. 1. AFM N-LECTA LR200.

Using the N-LECTA LR200 AFM, it is possible to comprehensively study samples up to 200×200 mm² in size with the ability to obtain atomic resolution in a conventional laboratory. The device is equipped with an internal thermal stabilization system. The operating temperature of the device is set at 5 – 7 degrees above room temperature. The device is equipped with a powerful active vibration protection system, ensuring the ability to achieve atomic resolution in laboratory conditions.

Исследование оптических свойств поверхности с субволновым пространственным разрешением методом регистрации СТМ индуцированной люминесценции

Д.В. Лебедев^{1,2}, Н.А. Соломонов¹, И.С. Мухин^{1,3}

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

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

³*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29*

В представленной работе методом СТМ-индуцированной люминесценции (СТМ-Л) был исследован широкий спектр наноструктур, потенциально применимых для создания наноразмерных электроуправляемых источников излучения. Были получены данные о распределении собственных оптических мод для различных типов наноантенн. В ходе выполнения работ были исследованы 3 типа плазмонных и диэлектрических наноантенн: золотые нанодиски, полученные с помощью комбинации методов оптической и электронной литографии; кремниевые наночастицы, полученные методом СТМ нанолитографии; нанобампы, полученные методом фемтосекундной лазерной печати. Экспериментально показано, что все четыре типа структур имеют повышенную плотность оптических состояний, что позволяет использовать данные объекты в качестве наноразмерных источников оптического излучения на основе эффекта генерации фотонов при неупругом туннелировании электронов. Кроме того, в работе рассмотрено применение СТМ для исследования оптических свойств плохопроводящих поверхностей. Показана, возможность исследования оптических свойств поверхности таких систем с субволновым пространственным разрешением. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 25-19-00666).

Study of optical properties of the surface with subwavelength spatial resolution by the method of recording STM induced luminescence

D.V. Lebedev^{1,2}, N.A. Solomonov¹, I.S. Mukhin^{1,3}

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

²*Institute of Analytical Instrumentation, Russian Academy of Sciences, 26, Rizhskiy pr., St. Petersburg, 190103, Russia*

³*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 195251 Russia, St. Petersburg, st. Politekhnikeskaya, 29*

In this study, scanning tunneling microscopy-induced luminescence (STM-LE) was used to investigate a range of nanostructures for developing nanoscale electrically driven light sources. The local density of optical states (LDOS) was mapped for various antenna types, including: gold nanodisks (fabricated via optical/electron beam lithography), silicon nanoparticles (formed by STM nanolithography), nanobumps (printed via femtosecond laser processing). All structures exhibited enhanced LDOS, enabling their use as nanoscale optical emitters based on inelastic electron tunneling. The work also demonstrates STM-LE's capability to characterize poorly conductive surfaces with subwavelength spatial resolution. The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation (project no. 25-19-00666).

Молекулы PBr_3 и H_2O на поверхности $\text{Si}(100)$

Т.В. Павлова, В.М. Шевлюга

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

Изучена коадсорбция молекул PBr_3 и H_2O на поверхности $\text{Si}(100)$ с использованием сканирующей туннельной микроскопии (СТМ) и расчетов на основе теории функционала плотности (DFT). Нагрев образца до 400°C в камере СТМ позволил проследить за теми же самыми поверхностными структурами до и после нагрева. Установлено, что при комнатной температуре адсорбция PBr_3 и H_2O происходит независимо друг от друга. При нагреве образца атомы брома образуют комплексы на поверхности, присоединяясь к фосфору и фрагментам молекулы воды. Так, после нагрева атом фосфора внедряется в верхний слой поверхности и формируется гетеродимер с атомом брома, P-Si-Br . Фрагменты молекулы воды после нагрева формируют комплексы с двумя атомами брома, находящимися на соседних димерах Si .

PBr_3 and H_2O molecules on the $\text{Si}(100)$ surface

T.V. Pavlova, V.M. Shevlyuga

Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences, 119991, Moscow, Vavilova str., 38

Coadsorption of PBr_3 and H_2O molecules on the $\text{Si}(100)$ surface was investigated using STM and DFT calculations. Heating the sample to 400°C in the STM chamber allowed tracking the same surface structures before and after heating. It was found that at room temperature, PBr_3 and H_2O adsorption occurs independently. When the sample is heated, bromine atoms form surface complexes that include phosphorus and water molecule fragments. Thus, after heating, the phosphorus atom is embedded in the upper surface layer, forming a heterodimer terminated with a bromine atom, P-Si-Br . The fragments of the water molecule after heating form complexes with two bromine atoms located on neighboring Si dimers.

Кoadсорбция хлора и кислорода на поверхности серебра: СТМ и ТФП исследование

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

ИОФ РАН, 119991, Москва

В работе с использованием сканирующей туннельной микроскопии (СТМ) и расчетов в рамках теории функционала плотности (ТФП) исследована коадсорбция хлора и кислорода на монокристаллические грани серебра (111), (100) и (110). Кoadсорбционные системы создавались двумя способами: окислением хлорированной поверхности серебра или хлорированием окисленного образца. Основные результаты были получены для грани серебра (111). В зависимости от стехиометрии методом СТМ был обнаружен ряд ранее неизвестных хорошо упорядоченных коадсорбированных структур, содержащих как атомы кислорода, так и атомы хлора. ТФП расчеты показали, что в основе всех структур лежит реконструкции поверхности Ag(111). В рамках реконструкции часть атомов серебра удаляется из верхнего слоя, и на поверхности формируются треугольники из атомов серебра, занимающие либо ГЦК, либо ГПУ-позиции. Атомы хлора и кислорода конкурируют между собой, стремясь занять положения между четырьмя атомами подложки, аналогичные их позициям в реконструкциях $p(4\times4)$ -O и (3×3) -Cl при раздельной адсорбции. Характерной особенностью всех коадсорбированных структур является наличие ярких объектов, которые мы связываем с квазимолекулами ClO_3 и ClO . С помощью теории функционала плотности мы рассчитали энергии связи O 1s для всех атомов кислорода в структурах. Энергия связи атомов кислорода в положениях между четырьмя атомами серебра составляет 528 эВ, тогда как энергии связи атомов кислорода в квазимолекулах ClO_3 и ClO составляют 531 эВ и 530 эВ, соответственно, что указывает на их электрофильную природу. Данный факт представляет интерес для установления механизма реакции эпексидирования этилена на серебряном катализаторе, в которой хлор является промотором. Работа выполнена при поддержке гранта РФФ №24-63-00037.

Coadsorption of chlorine and oxygen on silver surface: STM and DFT study

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

GPI RAS, 119991 Moscow

In this work, the coadsorption of chlorine and oxygen on single-crystal silver faces (111), (100), and (110) was investigated using scanning tunneling microscopy (STM) and density functional theory (DFT) calculations. Coadsorption systems were created in two ways: by oxidation of the chlorinated silver surface or by chlorination of the oxidized sample. The main results were obtained for Ag(111). Depending on the stoichiometry, a number of previously unknown well-ordered coadsorbed structures containing both oxygen and chlorine atoms were detected by STM. DFT calculations showed that all structures are based on the reconstruction of the Ag(111) surface. Within the reconstruction, some silver atoms are removed from the upper layer, and triangles of silver atoms are formed on the surface, occupying either fcc or hcp positions. Chlorine and oxygen atoms compete with each other, trying to occupy positions between four substrate atoms similar to their positions in $p(4\times4)$ -O and (3×3) -Cl reconstructions upon separate adsorption. A characteristic feature of all coadsorbed structures is the presence of bright objects, which we associate with ClO_3 and ClO quasimolecules. Using density functional theory, we calculated the O 1s binding energies for all oxygen atoms in the structures. The binding energy of oxygen atoms in positions between four silver atoms is 528 eV, while the binding energies of oxygen atoms in ClO_3 and ClO quasimolecules are 531 eV and 530 eV, respectively, indicating their electrophilic nature. This fact is of interest for establishing the mechanism of ethylene epoxidation reaction on a silver catalyst, in which chlorine is a promoter. This work was supported by the Russian Science Foundation (project №24-63-00037).

Атомно-силовая микроскопия для оценки клеточных физиомаркеров для детектирования патологий и заболеваний

В.А. Сергунова, М.Е. Докукин

ФНКЦ РР, 107031, Москва, ул. Петровка д. 25 стр. 2

В настоящей работе представлены результаты комплексного исследования изменений клеток крови (эритроцитов, нейтрофилов, макрофагов) при воздействии физических (гипоксия, ацидоз, ксенон), биологических (септическая сыворотка, активаторы нейтрофилов) и генетических (нокдаун IRF5) факторов. Особое внимание уделено процессам NETоза нейтрофилов и поляризации макрофагов.

Применение атомно-силовой микроскопии позволяет количественно измерить морфологические и наномеханические параметры клеток крови вплоть до нанометрового разрешения. В работе обсуждаются изменения морфологии клеточной поверхности, жесткости клеток (модуля Юнга), а также структурная перестройка цитоскелета.

Полученные результаты демонстрируют высокую диагностическую способность атомно-силовой микроскопии для выявления различных клеточных физиомаркеров, отражающих ранние изменения при воспалении, гипоксии и иммуноактивации.

Atomic force microscopy for the evaluation of cellular physiological markers in disease and pathology detection

V.A. Sergunova, M.E. Dokukin

Federal Research and Clinical Center of Intensive Care Medicine and Rehabilitology, V.A. Negovsky Research Institute of General Reanimatology, 107031 Moscow, 25 Petrovka Street, Building 2

This study presents the results of a comprehensive investigation of blood cell changes (erythrocytes, neutrophils, and macrophages) under the influence of physical (hypoxia, acidosis, xenon), biological (septic serum, neutrophil activators), and genetic (IRF5 knockdown) factors. Special attention is given to neutrophil NETosis and macrophage polarization processes.

The use of atomic force microscopy allows for quantitative measurement of blood cell morphological and nanomechanical parameters with nanoscale resolution. This study discusses alterations in cell surface morphology, cell stiffness (Young's modulus), and cytoskeletal structural remodeling.

The obtained results demonstrate the high diagnostic potential of atomic force microscopy for identifying various cellular physiомarkers that reflect early changes associated with inflammation, hypoxia, and immune activation.

Об атомной структуре тройных ступеней на поверхностях Si(hhm)

А.Н. Чайка¹, А.Ю. Аладышкин^{2,3,4}, В.Н. Семенов¹, А.М. Ионов¹, С.И. Божко¹

¹ Институт физики твердого тела имени Ю. А. Осипьяна РАН, ул. Академика Осипьяна, д. 2, Черноголовка, 142432

² Институт физики микроструктур РАН, ул. Академическая, д. 7, Нижний Новгород, 603950

³ Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского, пр. Гагарина, д. 23, Нижний Новгород, 603022

⁴ Центр перспективных методов мезофизики и нанотехнологий, Московский физико-технический институт, Институтский пер., д. 9, Долгопрудный Московской обл., 141700

Ступенчатые поверхности кремния Si(hhm) являются перспективными подложками для создания низкоразмерных структур с уникальными свойствами. Особый интерес привлекает система тройных ступеней, формирующаяся на пластинах кремния Si(557). Атомная структура периодической системы тройных ступеней изучалась ранее методами сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ), теории функционала плотности, дифракции медленных электронов и рентгеновских лучей. Тем не менее, атомную структуру и точное значение периода нельзя считать достоверно установленными. Дифракционные данные не дают прямой информации об атомной структуре, а СЗМ-исследования разных групп противоречат друг другу. В данной работе с помощью сканирующей туннельной микроскопии было проведено исследование атомной структуры упорядоченных массивов ступеней, сформированных на пластинах Si(5 5 7). Анализ экспериментальных данных свидетельствует о формировании системы тройных ступеней с локальной ориентацией поверхности (8 8 11). Периодичность в такой структуре поддерживается с точностью до одного атомного ряда с помощью разных конфигураций ступеней и террас. Ширина террас соответствует характерным размерам ячеек 5×5, 7×7 и 9×9, а тройные ступени состоят из последовательных моноатомной и двойной ступеней, разделенных узкой террасой шириной в несколько межатомных расстояний. Работа выполнена при поддержке государственного задания ИФТТ РАН и ИФМ РАН.

On the atomic structure of triple steps on Si(hhm) surfaces

A.N. Chaika¹, A.Yu. Aladyshkin^{2,3,4}, V.N. Semenov¹, A.M. Ionov¹, S.I. Bozhko¹

¹ Osipyan Institute of Solid State Physics RAS, Chernogolovka 142432, Russia

² Institute for Physics of Microstructures RAS, Nizhny Novgorod 603950, Russia;

³ Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod 603022, Russia

⁴ Center for Advanced Mesoscience and Nanotechnology, Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny 141700, Russia

Vicinal Si(hhm) surfaces are promising substrates for fabricating low-dimensional structures with unique properties. Regular step arrays on Si(557) wafers have attracted particular attention. The atomic structure of the periodic triple step system has been studied with scanning probe microscopy (SPM), density functional theory, X-ray (XRD) and low energy electron diffraction (LEED). Nevertheless, the atomic structure and periodicity of the triple steps is still under debate because LEED and XRD data do not provide direct information about the atomic structure while SPM studies of different groups contradict to one another. In this work, the atomic structure of the triple step staircase formed on Si(557) wafers has been studied using scanning tunneling microscopy. Detailed analysis of the experimental data supports the formation of Si(8 8 11) triple step array. The periodicity of this atomically precise staircase can be supported on micrometer-sized surface areas with different terrace and step structures. The widths of the terraces correspond to the dimensions of the 5×5, 7×7 and 9×9 cells while triple steps generally consist on monatomic step, narrow terrace and double step.

Анализ периодичности системы мультиатомных ступеней на вицинальных поверхностях

А.Ю. Аладышкин,^{1,2,3} А.Н. Чайка⁴

¹ Институт физики микроструктур РАН, ул. Академическая, д. 7, Нижний Новгород, 603950

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

³ Центр перспективных методов мезофизики и нанотехнологий, Московский физико-технический институт, Институтский пер., д. 9, Долгопрудный Московской обл., 141700

⁴ Институт физики твердого тела имени Ю. А. Осипьяна РАН, ул. Академика Осипьяна, д. 2, Черноголовка, 142432

В работе исследованы особенности атомных структур, возникающих на вицинальной поверхности кремния $\text{Si}(h\ h\ m)$, ориентированной под углом 9.5° по отношению к террасам $(1\ 1\ 1)$. К числу высокоиндексных поверхностей, которые могут сформироваться при данных условиях, можно отнести поверхности $\text{Si}(8\ 8\ 11)$, $\text{Si}(5\ 5\ 7)$ и $\text{Si}(7\ 7\ 10)$. Для рассматриваемых вицинальных поверхностей на террасах $(1\ 1\ 1)$ наблюдаются участки реконструкции 7×7 . Мы показали, что в зависимости от периода структуры один или два фурье-пики на зависимости $|z(k_x, k_y)|$, построенной для $k_y=0$, оказываются подавленными. Это позволяет однозначно определить период структуры и установить значения индексов Миллера. Фурье-анализ разностных топографических изображений, полученных методом сканирующей туннельной микроскопии, однозначно указывают на подавление девятого фурье-пики (при $k_x=9.45\ \text{нм}^{-1}$ и $k_y=0$), что указывает на формирование поверхности $\text{Si}(8\ 8\ 11)$. Работа выполнена при поддержке государственного задания ИФМ РАН и государственного задания ИФТТ РАН.

Analysis of periodicity in array of multiatomic steps on vicinal surfaces

A.Yu. Aladyshkin,^{1,2,3} A.N. Chaika⁴

¹ Institute for Physics of Microstructures RAS, Nizhny Novgorod 603950, Russia;

² Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod 603022, Russia

³ Center for Advanced Mesoscience and Nanotechnology, Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny 141700, Russia

⁴ Osipyan Institute of Solid State Physics RAS, Chernogolovka 142432, Russia

We have investigated the peculiarities of atomic structures that arise on a vicinal surface $\text{Si}(h\ h\ m)$ oriented at an angle of 9.5° relative to the terraces $(1\ 1\ 1)$. Among the high-index surfaces that can form under these conditions are the surfaces $\text{Si}(8\ 8\ 11)$, $\text{Si}(5\ 5\ 7)$, and $\text{Si}(7\ 7\ 10)$. We observed narrow regions with 7×7 reconstruction on the flat $(1\ 1\ 1)$ terraces. We demonstrated that depending on the period of the triple-step structure, one or two Fourier peaks in the dependence $|z(k_x, k_y)|$ calculated for $k_y = 0$ become suppressed. This allows us to uniquely determine both the period and the Miller indices. The Fourier analysis of differential topographic images obtained by scanning tunneling microscopy unambiguously indicates suppression of the ninth Fourier peak (for $k_x=9.45\ \text{nm}^{-1}$ and $k_y=0$), which points to the formation of the $\text{Si}(8\ 8\ 11)$ surface.

Разработка и применение криогенного шумового туннельного микроскопа

Б.А. Поляк^{1,2}, В.С. Храпай²

¹ *Московский физико-технический институт, Институтский пер., д. 9, Долгопрудный Московской обл., 141700*

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

Представленная работа посвящена разработке и применению уникальной установки криогенного шумового туннельного микроскопа, совмещающей функционал методов сканирующей туннельной и ёмкостной микроскопии и спектроскопии, а также шумовой спектроскопии туннельного тока. Созданный прибор спроектирован с нуля, включая механическую, электронную и алгоритмическую составляющие. Среди ключевых компонентов системы: быстрый конвертер ток-напряжение, усовершенствованные алгоритмы обратной связи, быстродействующее ПО и шумовой низкотемпературный предусилитель. Методом ёмкостного сканирования поверхности, реализованным благодаря разделению ВЧ и НЧ токовых компонентов, возможно изучать участки до $2 \times 2 \text{ мм}^2$ с разрешением вплоть до 2 мкм и выше, что позволяет исследовать не только целиком проводящие образцы, но и находить различные сложные структуры на диэлектрической подложке для дальнейших исследований при помощи методов СТМ, СТС и локальных шумовых измерений. Работоспособность установки проверена на образцах пиролитического графита, калибровочной золотой плёнки с паттерном из выступающих маркеров и структуре на основе NbN и золота на подложке Si_3N_4 . При температуре 4.2K воспроизводимо получены результаты ёмкостного и поверхностного сканирования, вольт-амперных характеристик и спектральной плотности дробового шума, соответствующие теоретическим предсказаниям.

Development and application of a cryogenic noise tunnel microscope

B.A. Polyak^{1,2}, V.S. Khrapai²

¹ *Moscow Institute of Physics and Technology, Dolgoprudny 141700, Russia*

² *Osipyan Institute of Solid State Physics RAS, Chernogolovka 142432, Russia*

The presented work is dedicated to the development and application of a unique cryogenic noise tunnel microscope setup, combining the functionality of scanning tunneling and capacitance microscopy and spectroscopy, as well as noise spectroscopy of tunneling current. The created device was designed from scratch, including mechanical, electronic, and algorithmic components. Key system components include a fast current-to-voltage converter, improved feedback algorithms, high-speed software, and a low-temperature noise preamplifier. Using the method of capacitive surface scanning, implemented through the separation of high- and low-frequency current components, it is possible to study areas up to $2 \times 2 \text{ mm}^2$ with a resolution of up to 2 μm and higher. This allows the investigation not only of fully conductive samples but also of various complex structures on a dielectric substrate for further research using STM, STS, and local noise measurements methods. The performance of the setup has been tested on samples of pyrolytic graphite, a calibration gold film with a pattern of protruding markers, and a structure based on NbN and gold on a Si_3N_4 substrate. At a temperature of 4.2K, reproducible results have been obtained for capacitance and topography scanning, current-voltage characteristics, and spectral noise density, corresponding to theoretical predictions.

Когда хочется большего: колокализация АСМ и световых методов исследования поверхности

Д. А. Фокин

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д.5, стр1., 105005

Доклад посвящен особенностям методов атомно-силовой микроскопии и возможностям совместного использования АСМ и световых микроскопов. Будучи мощными исследовательскими методиками, атомно-силовую и световую микроскопию сравнительно недавно стали использовать в составе единого исследования. Рассматриваются проблемы и преимущества такой интеграции, а также схемы реализации на практике.

Asking for more: AFM and light microscopy methods colocalization

D.A. Fokin

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 2-Baumanskaya, 5, b.1, 105005

The report is about of atomic force microscopy methods features and the possibilities of joint use of AFM and optical microscopes. Being powerful research techniques, both atomic force and optical microscopy have only recently begun to be used together as an instrument in the same scientific research. The issues and advantages of such integration, as well as the practical implementation schemes are discussed.

Сканирующая безапертурная микроскопия ближнего оптического поля

Д.В. Казанцев^{1,2}, Е.А. Казанцева³, В.С. Ивченко^{1,2}, В.А. Иевлева^{1,2}, Д.А. Матиенко^{1,2},
А.Ю. Кунцевич^{1,2}

¹ Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Ленинский просп., д. 53, Москва, 119991

² Факультет физики НИУ Высшая школа экономики, Мясницкая ул., д. 20, Москва, 101000

³ Российский технологический университет (МИРЭА), просп. Вернадского д. 78, Москва, 119454

В работе представлена одна из методик сканирующей зондовой микроскопии, в которой инструментом и предметом исследования является электромагнитное взаимодействие поверхности образца и сканирующей иглы, сконцентрированное в области нанометровых размеров под острием иглы. В этом «нано-конденсаторе» основную роль играют ближние оптические поля (неизлучательные моды), и методика поэтому называется ASNOM (безапертурная сканирующая микроскопия ближнего оптического поля). Пространственное разрешение метода составляет несколько нанометров в диапазоне длин волн 1-100 мкм, что во много раз превосходит дифракционный предел, непреодолимый для классических оптических микроскопов.

В докладе будут рассмотрены физические принципы, лежащие в основе работы прибора и выделения сигнала. Несмотря на то, что амплитуда световой волны, рассеиваемой зондирующей иглой размером в несколько мкм, очень мала, умелое применение оптических (интерференция) и радиофизических (демодуляция) методов измерения позволяет получить чистый, осмысленный и достоверный сигнал.

Apertureless scanning near-field optical microscopy

D.V. Kazantsev^{1,2}, E.A. Kazantseva³, V.S. Ivchenko^{1,2}, V.A. Ievleva^{1,2}, D.A. Matienko^{1,2},
A.Yu. Kuntsevich^{1,2}

¹ P.N. Lebedev Physical Institute of RAS, Moscow, Russia, 119991;

² Higher School of Economy, Moscow, Russia, 101000

³ Russian Technological University (MIREA), 78 Vernadsky Avenue, Moscow 119454

One of Scanning Probe Microscopy (SPM) branches will be considered, namely Apertureless Scanning Near-field Optical Microscopy (ASNOM), in which near field interaction between a scanning probe and a surface is a tool and a subject of investigation. This electromagnetic interaction is concentrated in the near-fields (non-radiative modes) in a nano-capacitor between a tip apex and a sample surface. Lateral resolution of a technique being presented corresponds to the tip apex dimensions (typically 2-20 nm) at any wavelength of 1-100 μm band. This allows to break the Abbe limit known for any traditional microscopy.

The physical principles of ASNOM operation will be considered. Despite the fact that the amplitude of the light wave scattered by a probing tip (of few μm in dimensions) is very weak, skillful use of optical (interference) and radiophysical (demodulation) measurement methods allows to get a clean, meaningful and reliable signal.

Исследование механизмов возникновения пика на зависимости тока от расстояния в сканирующей микроскопии ионной проводимости

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

Институт аналитического приборостроения РАН, ул. Ивана Черных, д. 31-33, Санкт-Петербург, 198095, Россия

В работе представлены экспериментальные и теоретические исследования «пик-эффекта» — необычного экстремума на кривых подвода $I(z)$ в сканирующей микроскопии ионной проводимости (СМИП). Измерения, выполненные на полистироле, композиции на основе этиленвинилацетата, пузыре с полиэтиленовой стенкой и протравленном в щелочи стекле, показали, что при отрицательном смещении на электроде в нанопипетке ионный ток сначала возрастает выше тока насыщения, а затем убывает. Для описания этого эффекта разработана модель на основе уравнений Пуассона–Нернста–Планка–Навье–Стокса, модифицированная с учетом изменения диэлектрической проницаемости, диффузии и вязкости воды в условиях наноконфайнмента водной среды. Показано, что именно эти эффекты приводят к формированию спадающей ветви на зависимости $I(z)$, недостижимой в рамках классических моделей. Совпадение расчетов с экспериментом подтверждает предложенный механизм. Полученные результаты, с одной стороны, открывают перспективы для создания метода оценки локального заряда и жесткости поверхности, использующего «пик-эффект», а с другой стороны, указывают на необходимость учета «пик-эффекта» при настройке режимов сканирования для обеспечения стабильной работы СМИП.

Investigation of peak formation mechanisms in the current–distance dependence in scanning ion conductance microscopy

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

Institute for analytical instrumentation RAS, Saint-Petersburg, 198095, Russia

We report on experimental and theoretical studies of the “peak-effect”—an unusual extremum on SICM approach curves $I(z)$. Measurements performed on polystyrene, EVA-based polymer, polyethylene bubble, and alkali-treated glass revealed that under negative pipette bias the ionic current increases above the saturation level before decaying. To explain this behaviour, we developed a Poisson–Nernst–Planck–Navier–Stokes (P-NP–NS) model modified to include nanoscale water media confinement effects such as reduced dielectric permittivity and diffusion, and increased viscosity. These factors account for the descending branch of $I(z)$, which cannot be reproduced by conventional models. The simulations show good agreement with experimental data, supporting the proposed mechanism. The obtained results, on the one hand, open up prospects for developing a method to evaluate the local surface charge and stiffness based on the “peak-effect”, and on the other hand, highlight the need to take the “peak-effect” into account when adjusting scanning regimes to ensure stable operation of SICM.

Спин-поляризованный туннельный ток, индуцированный электрическим полем зонда СТМ

С.В. Чекмазов¹, А.С. Ксёэнз¹, А.А. Мазилкин¹, О.В. Кононенко², А.П. Сиротина³,
Е.А. Першина¹, А.М. Ионов^{1,4}, А.А. Капустин¹, А.Ю. Аладышкин^{5,6,7} и С.И. Божко¹

¹ ИФТТ РАН, 142432, Черноголовка, Московская область, Россия

² ИПТМ РАН, 142432, Черноголовка, Московская область, Россия

³ ИИМ РАН, 119991, Москва, Россия

⁴ НИУ ВШЭ, 101000, Москва, Россия

⁵ ИФМ РАН, 603950, Нижний Новгород, Россия

⁶ НГУ им. Н.И. Лобачевского, 603022, Нижний Новгород, Россия

⁷ ЦМН МФТИ, 141700, Долгопрудный, Московская область, Россия

Как известно, исследования поверхности с помощью спин-поляризованной сканирующей туннельной микроскопии (СТМ) проводятся с применением магнитных зондов. Обычно такие зонды могут быть изготовлены из магнитного материала, например, MnNi сплава [1], или же возможно использование немагнитных игл, например, вольфрамовых игл, которые покрыты тонкой магнитной плёнкой [2]. В обоих случаях нельзя исключить влияние магнитного поля зонда на исследуемую магнитную структуру.

В настоящей работе впервые был изготовлен композитный СТМ зонд, функциональным кончиком которого был вискер из Bi₈₈Sb₁₂ сплава, являющегося топологическим изолятором. Сплав Bi₈₈Sb₁₂ является изолятором в объёме, в то время как проводимость кончика зонда обеспечивается только электронами топологических поверхностных состояний поверхности (111). Исследование кристаллической структуры выращенных вискеро́в проводилось при помощи высокоразрешающей просвечивающей электронной микроскопией (ПЭМ). Для детектирования спин поляризованного туннельного тока в СТМ эксперименте на поверхности Sb(111) была выращена Fe плёнка толщиной около 0.02 МС. Осаждение Fe на поверхность привело к формированию nanoостровков, и, в частности, удалось выделить из них три типа с различными высотами: 1.27Å, 2.07Å и 4.09Å. СТМ исследования, а также численное моделирование в рамках теории функционала плотности (ТФП), показали, что атомы Fe интеркалируют под поверхностный слой. Измерения с помощью сканирующей туннельной спектроскопии (СТС), проведённые над участком поверхности с данными островками, позволили обнаружить спиновую поляризацию в туннельном токе, что подтвердилось результатами численных ТФП расчётов. Данные расчёты показали, что островки с самой маленькой высотой обладают нулевым магнитным моментом, в то время как для двух других типов островков плотности состояний для электронов с разным направлением спина существенно отличаются. Полученные результаты обсуждаются в рамках спиновой поляризации поверхностных состояний Bi₈₈Sb₁₂(111) кончика композитного зонда в сильном электрическом поле.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФТТ РАН. Также выражаем благодарность Центру Коллективного Пользования Научным Оборудованием ИФТТ РАН за помощь в проведении экспериментов. Часть расчётов в приближении ТФП была проведена с использованием вычислительных ресурсов суперкомпьютерного комплекса НИУ ВШЭ [3].

1. S. Murphy, K. Radican, I.V. Shvets, A.N. Chaika, V.N. Semenov, S.S. Nazin, and S.I. Bozhko, Phys. Rev. B **76**, 245423, (2007).
2. R. Wiesendanger, Rev. Mod. Phys. **81**, 1495 (2009).
3. P.S. Kostenetskiy, R.A. Chulkevich, V.I. Kozyrev, Journal of Physics: Conference Series **1740**, 012050 (2021).

Electric field induced spin polarization of STM tunneling current

S.V. Chekmazov¹, A.S. Ksenz¹, A.A. Mazilkin¹, O.V. Kononenko², A.P. Sirotina³,
E.A. Pershina¹, A.M. Ionov¹, A.A. Kapustin¹, A.Yu. Aladyshkin^{5,6,7} and S.I. Bozhko¹

¹ ISSP RAS, 142432 Chernogolovka, Moscow District, Russia

² IMT RAS, 142432 Chernogolovka, Moscow District, Russia

³ INM RAS, 119991 Moscow, Russia

⁴ NRU HSE, 101000 Moscow, Russia

⁵ IPM RAS, 603950 Nizhny Novgorod, Russia

⁶ Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, 603022 Nizhny Novgorod, Russia

⁷ Center for Advanced Mesoscience and Nanotechnology MIPT, 141700 Dolgoprudny, Russia

Usually magnetic contrast in STM is obtained using magnetic probes. These are either probes formed from a magnetic material, such as MnNi [1], or non-magnetic probes, such as a conventional tungsten tip, coated with a thin magnetic film [2]. In both cases, the influence of the magnetic or exchange field of the probe on the magnetic structure under investigation cannot be ruled out.

In the present work, the STM probe was fabricated of a whisker of the topological insulator Bi₈₈Sb₁₂. The Bi₈₈Sb₁₂ is an insulator and the conductivity of the tip is provided by the topological surface states of the (111) surface. TEM experiments with atomic resolution justify high quality of the crystal lattice of the whisker. In order to detect the spin polarization of STM tunneling current, the STM experiments were performed on the Sb(111) surface covered by 0.02 monolayer of Fe atoms. Three types of islands with heights of 1.27Å, 2.07Å and 4.09Å were observed on the surface. Density functional theory (DFT) simulations revealed the intercalation of Fe atoms into Sb(111) surface. DFT calculations showed that the islands with height of 1.27Å are non-magnetic. For the islands with heights of 2.07Å and 4.09Å calculations demonstrated a significant difference in the density of states for electrons with different spins. The STS spectra reveal spin polarization in a tunneling current that is justified by DFT calculation. The results are discussed in terms of the spin polarization of the surface states of the Bi₈₈Sb₁₂(111) of the tip in a strong electric field.

Financial support of the state assignment of the Institute of Solid State Physics of the Russian Academy of Sciences is gratefully acknowledged. We acknowledge support of the Research Facility Center at the ISSP RAS. The DFT simulations were partially performed using computational resources of HPC facilities at NRU HSE [3].

1. S. Murphy, K. Radican, I.V. Shvets, A.N. Chaika, V.N. Semenov, S.S. Nazin, and S.I. Bozhko, Phys. Rev. B **76**, 245423, (2007).

2. R. Wiesendanger, Rev. Mod. Phys. **81**, 1495 (2009).

3. P.S. Kostenetskiy, R.A. Chulkevich, V.I. Kozyrev, Journal of Physics: Conference Series **1740**, 012050 (2021).

Сканирующая туннельная микроскопия/спектроскопия в задачах изучения электронных свойств поверхности топологических изоляторов

А.С. Фролов

Центр перспективных методов мезофизики и нанотехнологий, Московский физико-технический институт, Институтский пер., д. 9, Долгопрудный Московской обл., 141700

Системы с нетривиальной топологией зонной структуры привлекают внимание современной физики конденсированного состояния. Примерами таких систем являются топологические изоляторы (ТИ) — материалы, которые имеют запрещённую зону в объёме и металлические состояния на поверхности. Благодаря уникальной топологии объёмных зон, электронные состояния поверхности ТИ обладают рядом характерных особенностей, таких как почти линейная дисперсия и связь между спином и квазиимпульсом электрона.

Экспериментальное изучение свойств топологически защищённых электронных подсистем в основном основывается на методах сканирующей туннельной микроскопии/спектроскопии и фотоэмиссионной спектроскопии. Комбинирование этих методов позволяет получить дополнительную информацию об исследуемом объекте. В докладе будет представлен обзор существующих методов и подходов к изучению электронных свойств ТИ, а также будут обсуждены оригинальные результаты исследования сверхпроводящих и магнитных ТИ со структурным типом GeAs_2Te_4 . Основное внимание будет уделено синергии методов, обеспечивающих высокое пространственное разрешение, таких как сканирующая зондовая микроскопия, и интегральных методов, таких как фотоэмиссионная спектроскопия с угловым разрешением.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 22-72-10074-П.

Scanning tunneling microscopy/spectroscopy in studying the electronic properties of the surface of topological insulators

A. S. Frolov

Center for Advanced Methods of Mesophysics and Nanotechnology, Moscow Institute of Physics and Technology, Institutsky per., 9, Dolgoprudny, Moscow Region, 141700

Systems with non-trivial topology of the band structure attract attention of modern condensed matter physics. Examples of such systems are topological insulators (TIs) — materials that have a band gap in the volume and metallic states on the surface. Due to the unique topology of the bulk bands, the electronic states of the TI surface have a number of characteristic features, such as almost linear dispersion and a relationship between the spin and quasi-momentum of the electron.

Experimental study of the properties of topologically protected electronic subsystems is mainly based on the methods of scanning tunneling microscopy/spectroscopy and photoemission spectroscopy. Combining these methods allows obtaining additional information about the object under study. The report will present an overview of existing methods and approaches to studying the electronic properties of TIs, and will also discuss the original results of studying superconducting and magnetic TIs with the GeAs_2Te_4 structural type. The main focus will be on the synergy of methods providing high spatial resolution, such as scanning probe microscopy, and spatial-averaging methods, such as angle-resolved photoemission spectroscopy.

Сканирующая вихревая микроскопия: новый метод изучения локального потенциала пиннинга в сверхпроводящих пленках

**В. С. Столяров¹, А. Ю. Аладышкин^{1,2}, Р. А. Ованнисян¹, С. Ю. Гребенчук¹,
С. А. Ларионов¹, А. Г. Шишкин^{1,3}, О. В. Скрыбина^{1,4}, В. В. Дрёмов¹, А. В. Самохвалов²,
А. С. Мельников^{1,2}, Д. Ю. Родичев⁵**

¹ *Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), 141701, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский переулок, д. 9.*

² *Институт физики микроструктур РАН, ул. Академическая, д. 7, Нижний Новгород, 603950*

³ *Всероссийский НИИ автоматики им Н. Л. Духова, 127055, Москва, Суцевская улица, д. 22*

⁴ *Институт физики твердого тела имени Ю. А. Осипьяна РАН, ул. Академика Осипьяна, д. 2, Черноголовка, 142432*

⁵ *LPEM, UMR-8213, ESPCI Paris, PSL, CNRS, Sorbonne University, Paris, France*

* *stolyarov.vs@phystech.edu, aladyshkin@pmras.ru*

Цель настоящего доклада состоит в подробном обсуждении возможностей новой экспериментальной методики – сканирующей вихревой микроскопии (scanning quantum-vortex microscopy, SQVM) для исследования скрытых неоднородностей в гранулированных пленках ниобия. Основные измерения выполнены методом низкотемпературной магнитно-силовой микроскопии (MFM) в температурном интервале от 4 до 9 К. При низких температурах магнитостатическое взаимодействие между зондом и вихрем является слабым, поэтому все вихри остаются хорошо зафиксированными благодаря сильному взаимодействию с дефектами материала. При повышении температуры потенциал пиннинга ослабевает, и MFM зонд может захватывать и перемещать вихрь в процессе сканирования (SQVM-режим). Поскольку движущийся вихрь взаимодействует с дефектами, его можно рассматривать как эффективный нанозонд для исследования потенциала пиннинга в гранулированных пленках ниобия с пространственным разрешением, сопоставимым с длиной когерентности (30–40 нм). Все MFM/SQVM измерения и анализ данных выполнены при поддержке Российского научного фонда (проект 23-72-30004). Изготовление образцов выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект 075-15-2024-632).

Scanning quantum-vortex microscopy: A new technique for investigating the local pinning potential in superconducting films

V. S. Stolyarov¹, A. Yu. Aladyshkin^{1,2}, R. A. Hovhannisyan¹, S. Yu. Grebenchuk¹,
S. A. Larionov¹, A. G. Shishkin^{1,3}, O. V. Skryabina^{1,4}, V. V. Dremov¹, A. V. Samokhvalov³,
A. S. Mel'nikov^{1,3}, D. Yu. Rodichev⁵

¹ *Moscow Institute of Physics and Technology, 141701 Dolgoprudny*

² *Institute for Physics of Microstructures RAS, 603950 Nizhny Novgorod*

³ *Dukhov Research Institute of Automatics (VNIIA), Moscow*

⁴ *Osipyan Institute of Solid State Physics RAS, Chernogolovka 142432, Russia*

⁵ *LPEM, UMR-8213, ESPCI Paris, PSL, CNRS, Sorbonne University, Paris, France*

* *stolyarov.vs@phystech.edu, aladyshkin@pmras.ru*

The aim of this report is to provide a detailed discussion of the capabilities of a novel experimental technique—scanning quantum-vortex microscopy (SQVM)—for investigating hidden inhomogeneities in granular niobium films. Primary measurements were performed using low-temperature magnetic force microscopy (MFM) in the temperature range of 4 to 9 K. At low temperatures, the magnetostatic interaction between the probe and a vortex is weak; consequently, all vortices remain well pinned due to strong interactions with material defects. As temperature increases, the pinning potential weakens, allowing the MFM probe to capture and drag a vortex during scanning (SQVM mode). Since the moving vortex interacts with defects, it can be considered an effective nanoscale probe for mapping the pinning potential in granular niobium films with a spatial resolution comparable to the coherence length (30–40 nm).

All MFM/SQVM measurements and data analysis were supported by the Russian Science Foundation (project 23-72-30004). The samples were elaborated with the support of a grant from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project 075-15-2024-632).

О влиянии морфологии контактов на статистику универсальных флуктуаций кондактанса в квазиодномерных полупроводниковых нанопроволоках

А.А. Жуков

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

Были исследованы особенности поведения магнитотранспорта в сильно допированных нанопроволоках InAs при $T=4.2$ К с использованием методики сканирующего затвора. Продемонстрирована существенная роль морфологии интерфейса нанопроволока / металлический контакт на статистику универсальных флуктуаций проводимости. Отдельно исследованы как влияние резонансных рассеивателей в области металлических контактов, так и влияние телеграфного шума, возникающего из-за наличия кулоновских ловушек в подконтактной области. Работа выполнена в рамках госзадания ИФТТ РАН.

Impact of the contact morphology on statistics of universal conductance fluctuations in semiconducting nanowires

A.A. Zhukov

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

The peculiarities of magnetotransport in highly doped InAs nanowires at $T=4.2$ K using scanning gate microscopy technique have been investigated. The essential influence of the morphology of the interface of nanowire / metallic contact on measured statistics of universal conductance fluctuations is demonstrated. The influence of the resonant scatterers as well as telegraph noise caused by the presence of traps under metallic contacts are demonstrated and discussed. This work was carried out within the state assignment for the ISSP RAS.

Разработка и применение АСМ-зондов на основе кварцевых камертонов для задач сканирующей зондовой микроскопии

В.О.Кривчук, В.В.Дрёмов

Московский физико-технический институт, Центр фотоники и двумерных материалов

В данной работе представляется разработка и применение АСМ-зондов на основе кварцевых камертонов для задач сканирующей зондовой микроскопии. Предложенная конструкция зонда, работающая в qPlus-конфигурации, включает металлическую иглу из вольфрама или платины, изготовленную методом электрохимического травления проволоки, что позволяет достигать радиуса кривизны острия до 10-20 нм. Для обеспечения возможности локальных электрических измерений к проводящей игле подводится углеродное нановолокно. Разработанные зонды полностью совместимы с конструкцией АСМ NEXT-II (NT-MDT).

Полученные зонды позволяют получать высококачественные топографические изображения двумерных материалов, а также эффективно применяются для различных видов наноманипуляций. Показана возможность их использования для процессов локальной литографии и для так называемых "push-pull" процессов, таких как прецизионное перемещение и контролируемое вращение микроструктур с заданным форм-фактором.

Development and application of AFM probes based on quartz tuning forks for scanning probe microscopy applications

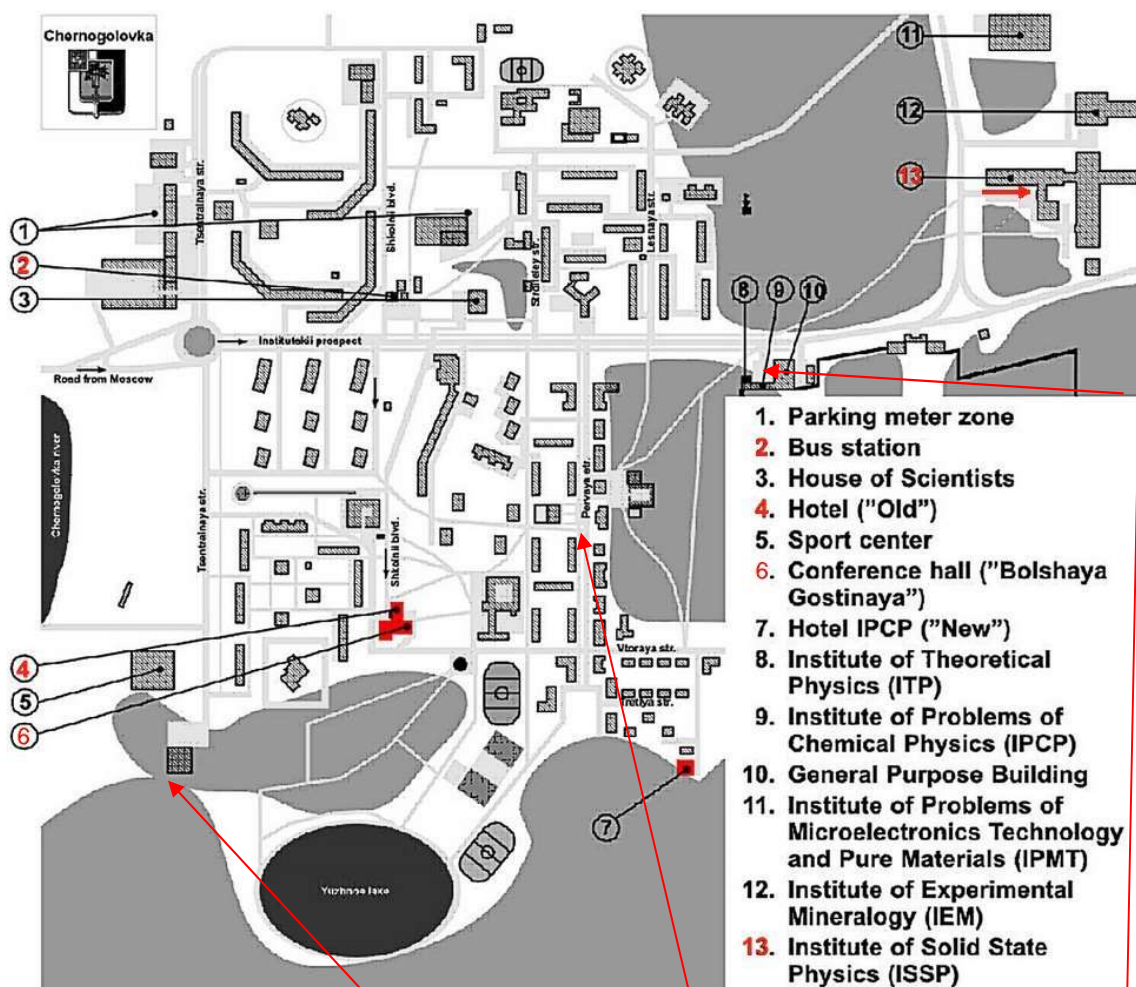
V.O. Krivchuk, V.V. Dremov

Moscow Institute of Physics and Technology, Center for Photonics and Two-Dimensional Materials

This work presents the development and application of AFM probes based on quartz tuning forks for scanning probe microscopy applications. The proposed probe design, which operates in the qPlus configuration, includes a tungsten or platinum metal needles, which are manufactured by electrochemical etching of a wire, allowing the curvature radius of the tip to reach 10-20 nm. To enable local electrical measurements, a carbon nanofiber is attached to the conductive needle. The developed probes are fully compatible with the NEXT-II (NT-MDT) AFM design.

The obtained probes allow to obtain high-quality topographic images of two-dimensional materials, and are also effectively used for various types of nanomanipulation. The possibility of their use for local lithography processes and for the so-called «push-pull» processes, such as precision movement and controlled rotation of microstructures with a specified form factor, is shown.

ДЛЯ ЗАМЕТОК



QR-коды для google-map



ИФТТ



Гостиница,
 «Большая
 гостиная
 Дома ученых»,
 «Золотая вилка»



«Комарик»



«Академ-клуб»



Кафе
 «Семенов»