

Лаборатория №4

Нанотехнологии композиционных материалов и тонкопленочных структур

Заведующий лабораторией к.т.н., доц. Рыжиков Илья Анатольевич



Задачи

- Исследования и разработки в области создания новых тонкопленочных материалов с многоуровневой структурой.
- Исследование фундаментальных основ создания наноструктурированных и наноразмерных систем, функционирующих в широком диапазоне электромагнитного излучения.
- Разработка специальных материалов и покрытий для элементов конструкции летательных аппаратов.
- Разработка функциональных материалов для сенсорных устройств.
- Комплексная характеристика тонкопленочных материалов.
- Разработка технологий и создание технологического оборудования для нанесения полимерных покрытий в вакууме.

Контакты

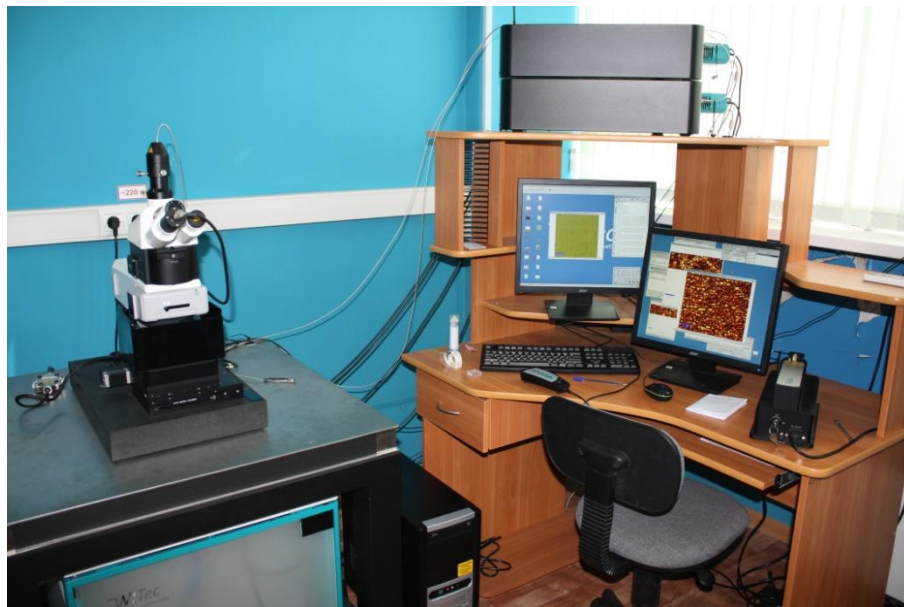
Тел. +7 (495) 485-93-44

E-mail: nanocom@yandex.ru



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Спектрометр комбинационного рассеяния WITec 500 Alpha на базе конфокального микроскопа с возможностью картирования



Спектрометр комбинационного рассеяния WITec 500 Alpha предназначен для локального химического анализа поверхностей. Устройство спектрометра по принципиально новой схеме, не содержащей зеркал, позволяет достичь коэффициента передачи излучения до 0.9, что существенно снижает время накопления спектра, время регистрации карты и увеличивает соотношение сигнал/шум. Регистрация карты спектров комбинационного рассеяния с площади 25×25 мкм составляет ~10 минут.



- Картирование спектров
- Лазеры 532 нм, 785 нм
- Дифракционные решётки 600 g/mm, 1800 g/mm
- Малое время измерений
- Увеличенное соотношение сигнал/шум
- Точность позиционирования до 50 нм
- Программное управление всеми элементами устройства

Комплекс измерения электрохимических и электрофизических параметров на базе приборов Solartron Analytical

Комплекс основан на широкополосном потенциостате/гальваностате SI 1287, сопряжённом с импедансным/амплитудно-фазовым анализатором SI 1260. Приборы позволяют регистрировать токи в диапазоне 2 А - 10^{-11} А; диапазон доступных напряжений ± 12 В (с точностью 1 мкВ). Доступны развёртки



потенциалов со сложной модуляцией; амплитудно-фазовый анализатор предназначен для наложения частотных зависимостей (в диапазоне 0,01 Гц – 1МГц) на эксперимент SI 1287. Реализуются двух-, трёх-, и четырёхконтактные схемы подключения.

В дополнение к прибору имеются жидкостные электрохимические ячейки для измерения коррозии материалов. Для измерения электрофизических характеристик твёрдых тонких плёнок используются двухконтактные измерительные ячейки, изготавливаемые в лаборатории №4 при помощи методов вакуумной ионно-плазменной обработки материалов и фотолитографии. Доступны температурные измерения электропроводности на воздухе в диапазоне 20°C - 120°C. Дополнительно имеется возможность проведения измерений при температурах -40°C - +60° в форвакууме.



Атомно-силовой микроскоп Solver Pro NT-MDT

Предназначен для исследования морфологии, локальных физико-химических свойств и механических характеристик поверхности. Шероховатость поверхности не должна превышать 3 мкм. Доступное планарное разрешение составляет 10 нм при точности определения высоты до 5 нм. Максимальный размер скана составляет 50 × 50 мкм. Микроскоп работает в контактном и полуконтактном режиме. Реализованы следующие методики измерения: электростатическая микроскопия, измерение сопротивления растеканию тока, измерение локальной поверхностной жесткости, силовая нанолитография, анодная нанолитография, магнитно-силовая микроскопия.





Спектральный эллипсометр «Спектроаналитический комплекс «САГ-1891»»

Предназначен для измерения оптических характеристик тонких пленок и многослойных структур. Спектральный диапазон составляет 350 – 1100 нм. Углы измерения 450° - 700° с шагом 50°. Диапазон измеряемых толщин 1 – 10000 нм. Диаметр светового пятна на образце 3 мм. Точность измерения толщин до 5 Å. К прибору прилагается программное обеспечение, позволяющее проводить расчеты толщин слоев и оптических параметров многослойных структур и композитов. Прибор изготовлен Институтом физики полупроводников СО РАН.



Интерференционный топограф Zygo New View 7200

Прибор предназначен для измерения характеристик топологии поверхности. Принцип работы заключается в автоматическом исследовании интерференционной

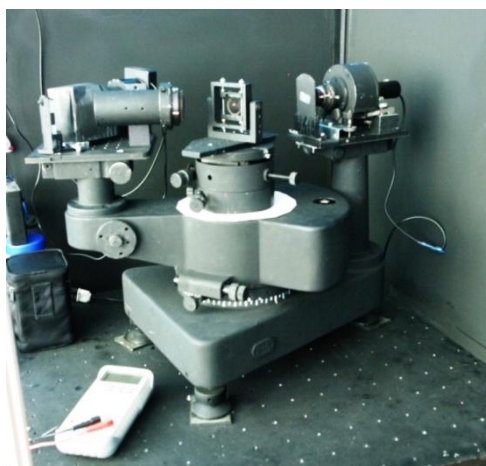


картины монохроматического лазерного излучения в каждой точке кадра, доступного для измерения. Результатом является карта высот и рассчитанные на её основе характеристики шероховатости и неоднородности поверхности для оптического изображения, полученного в геометрии на отражение при помощи объективов с 10×, 50× и 100× кратным увеличением. Разрешение по вертикали достигает 0,2 нм. Планарное разрешение составляет 600 нм.



Прибор для измерения светорассеяния

Прибор создан на основе визуального гониометра. Позволяет измерять индикатрисы рассеяния монохроматического лазерного излучения оптически прозрачных сред. Угловое разрешение составляет 30°. Возможно определение интегрального светорассеяния с использованием интегрирующей сферы. Стенд имеет модульное устройство, оснащён набором держателей образца и источников излучения. Динамический диапазон детектора излучения по интенсивности составляет 5 порядков.



Спектрофотометр СФ-56, ООО «Ломо-Спектр»

Спектральный диапазон 200 – 1100 нм. Спектральное разрешение 0,5 нм. Позволяет измерять спектры пропускания (при угле падения от 0 до 90° с



точностью установки 1°) и отражения (при угле падения 10° и 45°), а также диффузное отражение в спектральном диапазоне 300 – 800 нм.



ИК-Фурье спектрометр Thermo Nicolet IR200

Прибор модифицирован с вынесением оптической схемы за корпус устройства, что даёт широкие возможности по выстраиванию оптической схемы, в частности, возможно использование широкого круга держателей образца. В данном случае геометрические характеристики образца не ограничены кюветным отделением ИК-спектрометра.

Спектрометр позволяет измерять ИК спектры отражения и пропускания в спектральном диапазоне $7400 - 350 \text{ см}^{-1}$. Спектральное разрешение прибора составляет 2 см^{-1} . Соотношение сигнал/шум (peak-to-peak, накопление в течение 1 минуты, 4 см^{-1}) составляет 10000/1. К прибору прилагается программное обеспечение EZ-OMNIC, для обработки данных.



Установки для нанесения тонких плёнок в вакууме

Вакуумные установки, модифицированные на базе установок типа УРМ, предназначенные для нанесения тонких плёнок при помощи магнетронного распыления на вращающийся барабан. Установки имеют модульное устройство; используются магнетроны постоянного тока с размером мишени от 6 до 20 см, ВЧ-магнетроны 13,56 МГц и ионные источники для обработки поверхности.



Значительное количество различных элементов установки, включая блоки питания магнетронов и компонент, регулирующих динамику течения газа через аппарат, дают гибкость в управлении процессом нанесения тонких плёнок. Возможно нанесение металлических плёнок и диэлектрических плёнок, включая реактивное распыление. Некоторые специальные магнетронные устройства сконструированы для распыления магнитных материалов.



Участок фотолитографических процессов

Участок оборудован всем необходимым оборудованием для проведения фотолитографических процессов, включая установки для нанесения фоторезиста, экспонирования (UV/Vis), совмещения, травления, удаления остатков фоторезиста и микроскопического контроля качества структур. Используются позитивные и негативные фоторезисты. Участок сопряжён с установками для нанесения тонких плёнок и ионного травления в вакууме. Доступное литографическое разрешение - 0,5 мкм.



Инженерно-технический участок

Инженерно-технические работы по налаживанию опытно-лабораторной техники, отладка электротехнических устройств и изготовление макетов метаматериалов.

Установки для нанесения поли-пара-ксилиленовых покрытий



УВП – 2: Установка разработана для нанесения покрытия на крупногабаритные детали и образцы (размером до 500 мм.).

Технические характеристики установки: объем камеры 100 л; предельное остаточное давление 0,1 Па; время выхода на режим 30 мин.; расход мономера 1 г. на 0,65 мкм покрытия; скорость напыления 3,5 мкм за 1 час.



УВП – 3: Установка разработана для быстрого нанесения толстых покрытий на оптические детали (в том числе: полусферы и выпуклые линзы) размером до 100 мм., установка оборудована системой вращения деталей в трех плоскостях.

Технические характеристики установки: объем камеры 7,5 л; предельное остаточное давление 0,1 Па; время выхода на режим 15 мин.; расход мономера 1 г. на 2,3 мкм покрытия; скорость напыления 7 мкм за 1 час; неоднородность по толщине при напылении оптических деталей не более 10 %.

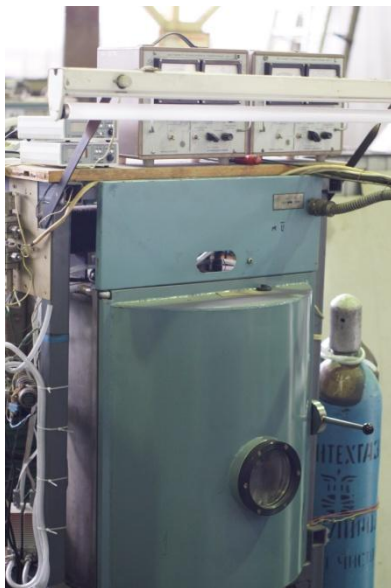


Аппретирование: Установки могут быть укомплектованы системой плазмохимического аппретирования подложек в камере. Процедура аппретирования занимает 5 минут и не влияет (ухудшает) оптические характеристики деталей и образцов. Величина адгезии покрытия к разнородным материалам при использовании аппретирования превышает 0,5 МПа.



Вакуумные установки для электронно-лучевого испарения

Установки электронно-лучевого испарения предназначены для нанесения тонких плёнок широкого круга веществ. Для испарения используются компактированные материалы – таблетки диаметром порядка 1 см, что даёт широкие возможности по испарению широкого круга веществ. Установки оснащены системами оптического контроля толщины Dinoptic (Optical monitor 590), для контроля толщины используют спутник на оптически прозрачной подложке. Система также оснащена вращающимся держателем подложки. Установки используются для нанесения однослойных и многослойных оптических покрытий.



Вакуумная установка криохимического синтеза металлополимерных тонкопленочных покрытий УВП – 2К.

Установка позволяет получать тонкопленочные композиционные металлополимерные покрытия. Покрытие представляет собой полимерную матрицу на основе поли-*n*-ксилилена с включенными в неё частицами серебра нанометрового размера.



Вакуумная установка УВН – 20С

Установка предназначена для магнетронного распыления металлических, оксидных и полимерных покрытий на крупногабаритные детали размером до 3,5 метров. Установка оснащена роботом-манипулятором, позволяющим производить нанесение на крупногабаритные детали произвольной формы.

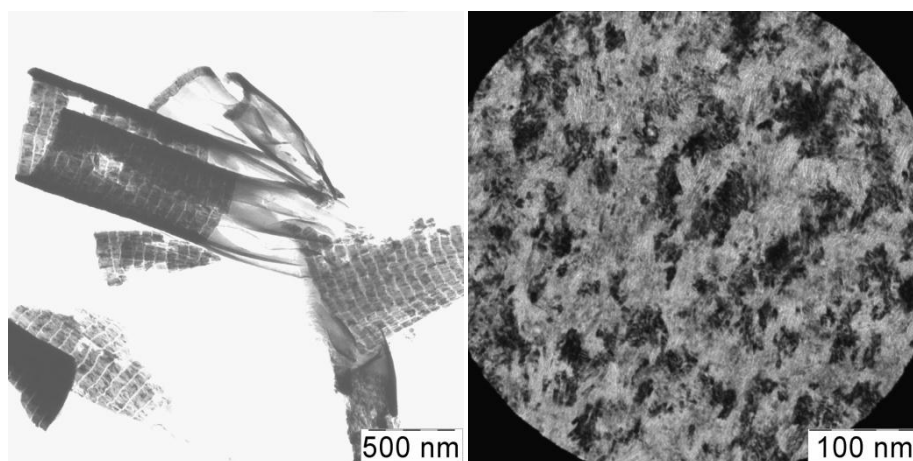


ДОСТИЖЕНИЯ

Тонкоплёночные материалы на основе магнитных плёнок для СВЧ диапазона

Созданы тонкоплёночные материалы, обладающие высоким поглощением СВЧ излучения в диапазоне от 0,5 до 10 ГГц. Данные объекты служат основой для метаматериалов и изделий специального назначения для СВЧ диапазона. Исследования, направленные на разработку тонкоплёночных материалов привели к созданию нового научного подхода к проведению вакуумных ионно-плазменных процессов. В качестве примера следует указать использование в качестве характеристики вакуумного магнетронного процесса частотной дисперсии магнитной проницаемости наносимой плёнки.

Экспериментальный цикл работ по данному направлению включает многопараметрический контроль вакуумного процесса, комплексный физико-химический анализ тонких плёнок и модификацию блоков вакуумной установки. Экспериментальная база насчитывает более 2000 образцов однослойных магнитных плёнок и многослойных магнитных плёнок с диэлектрическими прослойками с количеством слоёв до 200 штук. Среди использованных исходных веществ находятся металлы Fe, Co, Ni и твёрдые растворы на их основе.

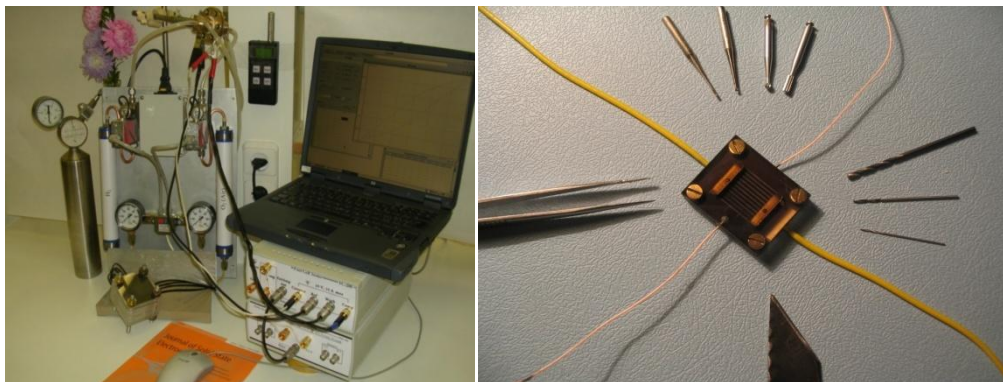


Интегрированные мембраны для водородных топливных элементов

Разработана технология изготовления каталитических слоёв с использованием магнетронного распыления для водородных топливных элементов. Основным достижением является осуществление нанесения нанокристаллической и аморфной платины на нафюн. Помещение нафюна в вакуумную камеру и откачка до среднего (10^{-4} мм рт. ст.) вакуума приводит к необратимому ухудшению ионной проводимости полимера; проведение магнетронного распыления платины при повышенном остаточном вакууме приводит к нанесению металла низкого качества. Разработан технологический процесс, приводящий к получению протонпроводящей мембраны с нанесённым каталитическим слоем с высокой эффективностью.

Совместно с Институтом проблем химической физики РАН (ИПХФ РАН) и кафедрой неорганической химии химического факультета Московского университета выполнены сборки функционирующих водородных топливных элементов высокой эффективности.





Защитные и оптические полимерные покрытия

Разработаны технологии нанесения полимерных поли-*n*-ксилиленовых покрытий на поверхности со сложной геометрией. Наносимые покрытия служат в качестве диэлектрических защитных слоёв, обладают низкой газо- и паропроницаемостью. Возможно нанесение поли-*n*-ксилилена на развитую поверхность, в том числе на тканые материалы. Полимерные покрытия, осаждаемые на установках, разработанных в лаборатории №4, использованы, в частности, для диэлектрической и физико-химической защиты в аппаратах аэрокосмической техники, при производстве микроэлектроники, для консервации музейных ценностей, в оптических схемах и оптических элементах для ТГц диапазона.

Помимо установок, предназначенных непосредственно для нанесения поли-*n*-ксилилена, разработаны источники *n*-ксилилена, предназначенные для локального нанесения полимера. Широко используются средства для увеличения адгезии полимерной плёнки к поверхности. Применяют аппретирование и ионно-плазменную обработку поверхности. Проводят введение заместителей в исходные вещества с разделением реакционной смеси для изменения свойств полимерного покрытия.

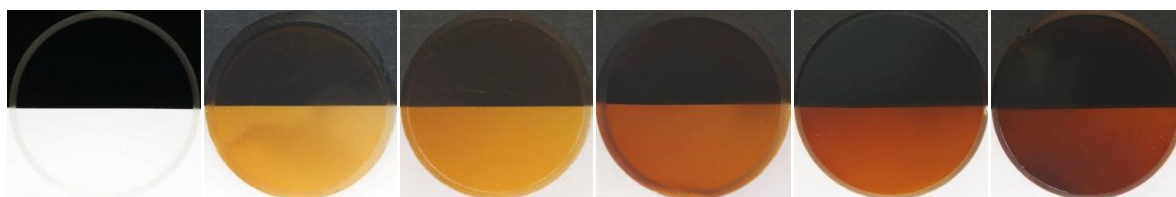
Металл-диэлектрические наноконпозиционные покрытия

Создана технологическая установка для нанесения композиционных покрытий из газовой фазы. Покрытия представляют собой композиционный материал с матрицей из поли-*n*-ксилилена и наполнителем – наночастицами металла (Ag). Синтез композита представляет собой низковакуумный процесс с полимеризацией *n*-ксилилена по радикальному механизму на охлаждаемой подложке в присутствии наночастиц серебра. Принципиально новой является разработка способа синхронизации потоков мономера и наполнителя, определяющей структуру и однородность композита. Поток мономера реализован через пиролиз *n*-ксилола; поток кластеров металла создают при помощи эффузионной ячейки с молекулярным режимом истечения газа. Помимо проблемы регулировки газовой динамики внутри аппарата решены проблемы организации температурных зон.

Характерная толщина покрытий лежит в диапазоне доли микрона – единицы микрон; состав композита определяет оптические свойства покрытия. Присутствие наночастиц Ag в зоне полимеризации влияет на структуру композита и определяет его характеристики. Полученные композиты использованы для



оптоэлектронных приложений, а также послужили основой для цикла работ теоретической физики как специфические среды, не описываемые в рамках классической электродинамики композитов.



Малогабаритные антенны для передачи энергии

Разрабатываются ближнепольные миниатюрные антенны для передачи энергии электронным устройствам медицинского назначения с автономным питанием. Антенны изготовлены на основе тонких металлических плёнок с использованием фотолитографии на гибкой полимерной подложке. Антенны предназначены для работы в килогерцовом частотном диапазоне, что определяется специфическими требованиями биологической совместимости. Принцип ближнего поля реализован для локализации электромагнитного поля вблизи антенны, а также для устранения части наводок, обусловленных внешним окружением.

В дополнение разрабатываются прототипы приёмо-передающих устройств для работы с ближнепольной антенной. В работах по теме использованы результаты теоретического расчёта, описывающего эффект фокусировки магнитного поля системой пассивных элементов.

Функциональные подложки для химических сенсоров

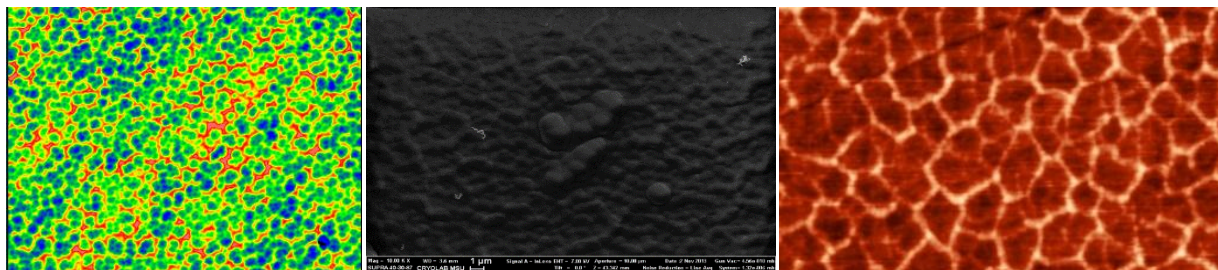
Созданы диэлектрические покрытия CeO_{2-x} со специфической морфологией поверхности, которые дополнительно увеличивают интенсивность комбинационного рассеяния в экспериментах по усилению интенсивности колебательных полос адсорбированных молекул. Работа направлена на создание новых сверхчувствительных химических сенсоров для медицинских приложений. В качестве аналитического сигнала используют характерную колебательную полосу реперного химического соединения. Сенсор работает с использованием эффекта поверхностно-усиленного наночастицами Au комбинационного рассеяния; разработанные подложки дополнительно увеличивают полезный сигнал в 10-20 раз. Увеличение интенсивности КР спектра равнозначно понижению предела обнаружения.

Поверхность покрытий сформирована в виде системы выступов, сопоставимых по размеру с длиной видимого излучения. Полезные свойства покрытий объясняются особым неоднородным распределением электрического поля по поверхности CeO_{2-x} при действии лазера. Концентрирование в определённых точках электрического поля усиливает интенсивность КР спектра молекул, находящихся вблизи данных точек.

Электродинамически активные покрытия получены при помощи электронно-лучевого испарения CeO_2 при определённых условиях. Формирование рельефа происходит за счёт эффекта самоорганизации; движущей силой является изменяющиеся условия при зародышеобразовании и распределение механических



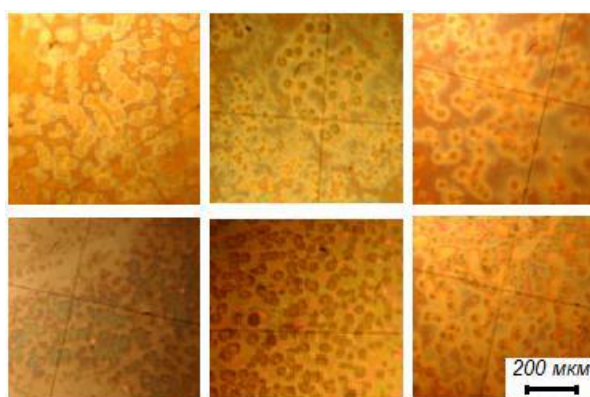
напряжений при росте зародышей CeO_{2-x} . Полученный материал служит основой для современного направления – электродинамики диэлектрических материалов. Работа ведётся в сотрудничестве с кафедрой химической энзимологии химического факультета Московского университета.



Магнетохимический эффект: динамически региоселективная локализованная коррозия магнитных плёнок

Обнаружен новый эффект локализованной химической коррозии тонких плёнок железа. Эффект проявляется при экспонировании плёнок Fe в кислых средах и заключается в формировании специфического микрорельефа на поверхности плёнки, выступы которого образованы продуктами коррозии. Области с повышенной коррозией совпадают с магнитными доменными границами материала; изменение внешних магнитных условий динамически изменяет узор, формируемый на поверхности плёнки коррозией. Плотность доменных границ коррелирует со скоростью растворения плёнок в кислом растворе. Данное явление фактически приводит к «регулированию» скорости коррозии величиной и направленностью внешнего магнитного поля.

Причина увеличения скорости коррозии по границам магнитных доменов заключается в концентрации в указанном объёме плёнки механических напряжений через магнитострикционный эффект. Измерения с использованием трёхэлектродной ячейки показывают наличие зависимости скорости коррозии от внутренних механических напряжений, связанных с жёсткостью и пластичностью подложки.



СОТРУДНИЧЕСТВО

- Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова: химический факультет, физический факультет, факультет наук о материалах (МГУ)
- Московский государственный университет тонких химических технологий имени М. В. Ломоносова (МИТХТ)
- Российский Государственный Технологический Университет имени К.Э.Циолковского (МАТИ)
- Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН (ИРЭ)
- Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»
- Курчатовский
- Научно-исследовательский физико-химический институт имени Л.Я. Карпова (НИФХИ)
- Институт физиологически активных веществ Российской академии наук (ИФАВ)
- Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана
- ООО «Научно-исследовательский институт вакуумной техники имени С.А. Векшинского»
- Компания SuperOx
- Институт биохимии им. А.Н.Баха РАН
- Объединенный институт высоких температур РАН (ОИВТ РАН)
- ФГУП «Научно-производственное объединение им. С. А. Лавочкина»
- Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»
- Научно-исследовательский институт системных исследований Российской Академии Наук (НИИСИ РАН)
- ОАО «Компания „Сухой“»
- Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (ИТМО)
- Центра светодиодных и оптоэлектронных технологий Национальной академии наук Беларуси



ПУБЛИКАЦИИ

1. *I.A. Ryzhikov, A.L. Rakhmanov, Y.V. Trofimov.* Charge transport mechanisms and photoconductivity of nanoporous granular CdS-CdSe // *Microelectronic Engineering* 69 (2003), p. 265-269.
2. *I.A. Ryzhikov, A.A. Pukhov, A.S. Il'in, N.P. Glukhova, K.N. Afanasiev, A.S. Ryzhikov.* Anomalous temperature dependence of the conductivity of nanoporous ITO films // *Microelectronic Engineering* 69 (2003), p. 270-273.
3. *Varfolomeev A.E., Sedova M.V.* Large positive magnetoresistance effect in metal-insulator nanocomposites in weak magnetic fields // *Phys. Solid State* 45 (3) 529-533, 2003.
4. *I.T. Iakubov, A.N. Lagarkov, S.A. Maklakov, A.V. Osipov, K.N. Rozanov, I.A. Ryzhikov, N.A. Simonov, S.N. Starostenko.* Experimental study of microwave permeability of thin Fe films // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 258-259 (2003), p. 195-197.
5. *Igor T. Iakubov, Andrei N. Lagarkov, Sergei A. Maklakov, Alexei V. Osipov, Konstantin N. Rozanov, Ilya A. Ryzhikov, Nikolai A. Simonov, Sergei N. Starostenko,* Experimental study of microwave permeability of thin Fe films // *Jr. of magnetism and magnetic materials*, vol.256 – 259, march 1, p. 195 - 197, 2003
6. *A. Getman, A. Sivov, N. S. Perov, I. T. Iakubov, K. N. Rozanov, I. A. Ryzhikov, and S. N. Starostenko,* Static and dynamic magnetic properties of Fe films // *J. Magn. Magn. Mater.*, vol. 272-276S, pp. E909-910, May 2004.
7. *I. T. Iakubov, A. N. Lagarkov, S. A. Maklakov, A. V. Osipov, K. N. Rozanov, I. A. Ryzhikov, S. N. Starostenko,* Microwave permeability of laminates with thin Fe-based films // *J. Magn. Magn. Mater.*, vol. 272-276, Part 3, pp. 2208-2210, May 2004.
8. *G.Fedorov, S.I. Maslovski, A.V. Dorofeenko, A.P. Vinogradov, I.A. Ryzhikov and S.A. Treyakov.* Subwavelength imaging: Resolution enhancement using wire grating // *PHYSICAL REVIEW B* 73, 1(2006)
9. *I.T. Iakubov, A.N. Lagarkov, S.A. Maklakov, A.V. Osipov, K.N. Rozanov, I.A. Ryzhikov, S.N. Starostenko,* Microwave permeability of composites filled with thin Fe films // *J. Magn. Magn. Mater.*, vol. 300, no. 1, May 2006, pp. e74–e77.
10. *A.N. Lagarkov, I.T. Iakubov, I.A. Ryzhikov, K.N. Rozanov, N.S. Perov, E.P. El'sukov, S.A. Maklakov, A.V. Osipov, M.V. Sedova, A.M. Getman, A.L. Ul'yanov,* Fe-N films: morphology, static and dynamic magnetic properties, accepted to the ETOPIIM7 issue of *Physica A*.
11. *I.T. Iakubov, A.N. Lagarkov, S.A. Maklakov, A.V. Osipov, D.A. Petrov, K.N. Rozanov, I.A. Ryzhikov,* Laminates of multi-layered Fe films for microwave applications, accepted to the JEMS-06 issue of *J. Magn. Magn. Mater.*
12. *A.V. Osipov, A.N. Lagarkov, I.T. Iakubov, K.N. Rozanov, I.A. Ryzhikov, and S.A. Maklakov,* Planar magnetic inclusions as a filler for microwave composites, *JEMS'06: 3rd Joint Europ. Magnetic Symp.*, San Sebastian, Spain, June 26–30, 2006, *Book of abstracts*, p. 28.



13. *I. T. Iakubov, A. N. Lagarkov, S. A. Maklakov, A. V. Osipov, K. N. Rozanov, I. A. Ryzhikov*, Microwave composites filled with thin ferromagnetic films, Part II. Experiment. Proc. of Symposium R: Electromagnetic Materials, 3rd Int. Conf. on Materials for Advanced Technologies (ICMAT 2005), July 3–8, 2005, Singapore, pp. 78–81.
14. *I. T. Iakubov, A. N. Lagarkov, S. A. Maklakov, A. V. Osipov, K. N. Rozanov, I. A. Ryzhikov, S. N. Starostenko*, Microwave composites filled with ferromagnetic films, Digests of the IEEE Int. Magnetics Conf., 2005: INTERMAG Asia 2005, 4–8 April 2005 Nagoya, Japan, p. 1034.
15. *I.T. Iakubov, A.N. Lagarkov, S.A. Maklakov, A.V. Osipov, K.N. Rozanov, I.A. Ryzhikov, S.N. Starostenko*, Microwave permeability of composites filled with thin Fe films, *J. Magn. Mater.*, vol. 300, no. 1, May 2006, pp. e74–e77.
16. *I. T. Iakubov, A. N. Lagarkov, S. A. Maklakov, A. V. Osipov, D. A. Petrov, K. N. Rozanov, I. A. Ryzhikov*, Laminates of multi-layered Fe films for microwave applications, *J. Magn. Mater.*, vol. 316, no. 2, Sept. 2007, pp. e813–e815.
17. *A.N. Lagarkov, I.T. Iakubov, I.A. Ryzhikov, K.N. Rozanov, N.S. Perov, E.P. Eljukov, S.A. Maklakov, A.V. Osipov, M.V. Sedova, A.M. Getman, A.L. Ul'yanov*, Fe–N films: Morphology, static and dynamic magnetic properties *Physica B: Condens. Matter.*, vol. 394, no. 2, 15 May 2007.
18. *А.Ю. Анненков, А.П. Виноградов, С.В. Герус, И.А. Рыжиков, С.А. Шишков, М. Иноуе*. Исследование магнитостатических волн в фотонных кристаллах. *Известия РАН. Серия физическая*, 2007, том 71, №11, с.1612-1613.
19. *И.А. Рыжиков, Н.И. Мухуров, А.П. Виноградов, М.В. Седова*. Металлизация микроканалов в пористом анодном оксиде алюминия для создания перспективных метаматериалов. *Журнал функциональных материалов* т.1, № 3, 2007 год.
20. *Ю.А. Добровольский, Л.С. Леонова, ИПХФ РАН, А.Н. Лагарьков, С.А. Маклаков, А.Б. Пономарев, А.А. Пухов, И.А. Рыжиков, М.В. Седова, И.Т. Якубов, ИТПЭ РАН*. Атомно-силовая микроскопия поверхности мембранных блоков и исследование транспортных параметров мембран с каталитическими слоями, полученными магнетронным распылением. *Альтернативная энергетика и экология*. № 2, 2008 г., стр. 79-85.
21. *Д.М. Стратейчук, Е.Ф. Острецов, В.И. Штанов, Л.Н. Сурвилло, Ю.В. Трофимов, И.А. Рыжиков, Р.Х. Акчурина*. Влияние рецептуры и технологии подготовки компонентов паст на микроструктуру и состав поликристаллических пленок $CdS_{1-x}Se_x$. *Ж. Неорганические материалы*. №1.2008 г.
22. *А.С. Ильин, Р.С. Лапин, И.А. Рыжиков*. Метрологические особенности сравнительного исследования свойств поглощающих покрытий для солнечных коллекторов. *Метрология*, №2, 2008 г.
23. *О.С. Попель, И.В. Прокопченко, А.В. Мордынский, И.А. Рыжиков, Р.С. Лапин, А.В. Гусев, А.С. Ильин*. Анализ эффективности солнечных коллекторов из теплостойких пластмасс. *Альтернативная энергетика и экология*. №2, 2008 г.
24. *И.А. Богинская, А.В. Гусев, К.А. Маулян, С.Н. Озерин, А.В. Пибалк, И.А. Рыжиков, М.В. Седова, С.Н. Чвалун*. Структура и электропроводность пленочных



металлополимерных нанокompозитов поли-пара-ксилилен - серебро // *Радиотехника и электроника*, 2011, Т. 56, №1, С. 1 – 7;

25. *И.А. Богинская, И.В. Быков, А.П. Виноградов, А.В. Гусев, А.В. Дорофеев, К.А. Маилян, А.В. Пибалк, И.А. Рыжиков.* Использование металлополимерного нанокompозита поли-пара-ксилилен - Ag как среды с задаваемыми оптическими характеристиками // *Оптический журнал*, 2010, Т. 77, №11, С. 86 – 88;

26. *И.А. Богинская, А.В. Гусев, К.А. Маилян, А.С. Мешков, А.В. Пибалк, И.А. Рыжиков, С.Н. Чвалун.* Полимерные пленки поли-п-ксилилена для применения в микро- и оптоэлектронике // *Нано- и микросистемная техника*, 2010, №5, С. 17 – 22;

27. *А.В. Гусев, К.А. Маилян, А.В. Пибалк, И.А. Рыжиков, Чвалун С.Н.* Перспективы применения наноструктурированных полимерных и нанокompозитных пленок на основе поли-п-ксилилена для микро-, опто- и наноэлектроники // *Радиотехника и электроника*, 2009, Т. 54, №7, С. 875 – 886;

28. *Афанасьев К.Н., Гусев А.В., Ильин А.С., Лапин Р.С., Рыжиков И.А.* Сравнительный анализ методов повышения влагостойкости селективных поглощающих покрытий солнечных коллекторов // *Упрочняющие технологии и покрытия*, 2009, №6, С. 17 – 19;

29. *Белова Е.А., Гусев А.В., Крит Б.Л., Маилян К.А., Рыжиков И.А., Сорокин В.А.* Повышение качества МДО - слоев методом полимеризации из газовой фазы // *Физика и химия обработки материалов*, 2009, №6 С. 31 – 33;

30. *Sergei A. Ozerrin, Alexei V. Gusev, Karen A. Mailyan, Andrei V. Pebalk, Ilya A. Ryzhikov, Sergey N. Chvalun.* Ag(PbS)/Poly-p-xylylene Nanocomposites by VDP-Method // *Всемирный полимерный конгресс MACRO2010, Великобритания, 11 – 16 Июля 2010, Глазго*;

31. *И.А. Богинская, А.В. Гусев, К.А. Маилян, С.Н. Озерин, А.В. Пибалк, И.А. Рыжиков, М.В. Седова, С.Н. Чвалун.* Структура и электропроводность пленочных металлополимерных нанокompозитов поли-пара-ксилилен - серебро // *Радиотехника и электроника*, 2011, Т. 56, №1, С. 1 – 7;

32. *Antti O. Karilainen, Pekka Ikonen, Constantin R. Simovski, Sergei A. Tretyakov, Andrey N. Lagarkov, Sergei A. Maklakov, Konstantin N. Rozanov, and Sergei N. Starostenko,* Experimental Studies of Antenna Miniaturization Using Magneto-Dielectric and Dielectric Materials. // *IET Microwaves, Antennas and Propagation*. 2011.

33. *Лагарьков А.Н., Каиуркин О.Ю., Маклаков С.А., Осипов А.В., Розанов К.Н., Рыжиков И.А., Старостенко С.Н., Якубов И.Т.* Влияние магнитоупругого эффекта на СВЧ магнитные свойства тонких пленок Fe-N. // *Радиотехника и электроника*, 2011.

34. *А.В. Агапонова, Е.Е. Шалыгина, О.Н. Тараканов, И.В. Быков, С.А. Маклаков, А.А. Пухов, И.А. Рыжиков, М.В. Седова, И.Т. Якубов.* Магнито-химические эффекты при обработке в кислой среде поверхности тонких ферромагнитных пленок // *Известия РАН, серия физическая*. Т.75 №2 (2011) 203-205.



35. *Е.Е. Шалыгина, А.В. Агапонова, О.Н. Тараканов, И.А. Рыжиков, А.Н. Шалыгин.* Влияние химической обработки на магнитные свойства ферромагнитных тонкопленочных систем // Письма в ЖТФ, 37, №9 (2011) 37-44
36. *I.A. Ryzhikov.* ICSTI Nanotechnology/ Material Sciences Workshop. 10-11 November 2011.
37. *Акчурин Р.Х., Богинская И.А., Мармалюк А.А., Ладугин М.А., Сурнина М.А.* Разработка основ капельного метода формирования массивов квантовых точек в системе InAs/GaAs применительно к условиям МОС-гидридной эпитаксии // Материалы электронной техники №3, 2011.
38. *S.S. Maklakov, S.A. Maklakov, I.A. Ryzhikov, V.A. Amelichev, K.V. Pokholok, A.N. Lagarkov.* Mössbauer study of disordering in thin sputtered FeCo-SiO₂ and FeCo films. // J. Alloys Compd. 2012. V. 536. P. 33-37
39. *Maklakov S.S., Maklakov S.A., Ryzhikov I.A., Rozanov K.N., Osipov A.V.* Thin Co films with tunable ferromagnetic resonance frequency. // J. Magn. Magn. Mater. 2012. V. 324. P. 2108-2112
40. *Маклаков С. С., Маклаков С.А., Рыжиков И.А., Розанов К.Н., Осипов А.В., Набоко А.С., Амеличев В.А., Куликов С.В.* Структура и СВЧ магнитная проницаемость тонких пленок кобальта. // Российские нанотехнологии. 2012. Т. 5-6. С. 65-69
41. *Агапонова А.В., Быков И.В., Маклаков С.А., Маклаков С.С., Пухов А.А., Рыжиков И.А., Седова М.В., Шалыгина Е.Е., Якубов И.Т.* Визуализация доменной структуры ферромагнитных плёнок с использованием магнетохимического эффекта. // Физика Твёрдого Тела. 2011. Т. 53. Вып. 5. С. 951-955
42. *Antti O. Karilainen, Pekka Ikonen, Constantin R. Simovski, Sergei A. Tretyakov, Andrey N. Lagarkov, Sergei A. Maklakov, Konstantin N. Rozanov, and Sergei N. Starostenko,* Experimental Studies of Antenna Miniaturization Using Magneto-Dielectric and Dielectric Materials. // IET Microwaves, Antennas and Propagation. 2011.
43. *T.V. Dubinina, D.V. Dyumaeva, S.A. Trashin, M.V. Sedova, A.S. Dudnik, N.E. Borisova, L.G. Tomilova, N.S. Zefirov.* Novel planar and sandwich-type complexes of substituted tetrathieno[2,3-b]porphirazine: Synthesis and investigation of properties // Elsevier. Dyes and Pigments 96(2013), p.699-704
44. *T.V. Dubinina, D.V. Dyumaeva, S.A. Trashin, M.V. Sedova, A.B. Karpov, V.I. Krasovskii and L.G. Tomilova.* Synthesis and study of physicochemical properties of new substituted tetrathieno[2,3-b]porphirazine. Macroheterocycles 2012 5(2), p. 149-156.
45. *S.S. Maklakov, S.A. Maklakov, I.A. Ryzhikov, V.A. Amelichev, K.V. Pokholok, A.N. Lagarkov.* Mössbauer study of disordering in thin sputtered FeCo-SiO₂ and FeCo films. // J. Alloys Compd. 2012. V. 536. P. 33-37
46. *Maklakov S.S., Maklakov S.A., Ryzhikov I.A., Rozanov K.N., Osipov A.V.* Thin Co films with tunable ferromagnetic resonance frequency. // J. Magn. Magn. Mater. 2012. V. 324. P. 2108-2112



47. *D.R. Streltsov, K.A. Mailyan, A.V. Gusev, I.A. Ryzhikov, N.A. Erina, Chanmin Su, A.V. Pebalk, S.A. Ozerin, S.N. Chvalun.* Electrical properties, structure, and surface morphology of poly(*p*-xylylene)-silver nanocomposites synthesized by low-temperature vapor deposition polymerization // *Applied Physics A. Material Science and Processing.* DOI 10.1007/s00339-012-7220-z. 2012.
48. *Маклаков С. С., Маклаков С.А., Рыжиков И.А., Розанов К.Н., Осипов А.В., Набоко А.С., Амеличев В.А., Куликов С.В.* Структура и СВЧ магнитная проницаемость тонких пленок кобальта. // *Российские нанотехнологии.* 2012. Т. 5-6. С. 65-69
49. *I.N. Kurochkin, A.K. Sarychev, I.A. Ruzhikov, I.A. Budashov, S.S. Maklakov, S.O. Boyarintsev, A.N. Lagarkov.* Surface-Enhanced Raman Scattering-Based Biosensors. (Chapter No. 4 in book *Portable Biosensing of Food Toxicants and Environmental Pollutants*, eds. D.P. Nikolelis, T.Varzakas, A. Erdem, G.-P. Nikoleli). 2013. CRC Press P. 97-122
50. *Набоко А.С., Маклаков С.С., Куликов С.В., Седова М.В., Рыжиков И.А.* Формирование микрорельефа при коррозии ферромагнитных тонких пленок железа. // *Вестник МГТУ «Станкин».* № 3 Т. 26. 2013. С. 108-112.
51. *Набоко А.С., Маклаков С.С., Маклаков С.А., Рыжиков И.А., Акчурин Р.Х., Седова М.В.* Эффект влияния ориентации и напряженности внешнего магнитного поля на процесс коррозии ферромагнитных тонких пленок железа. // *Вестник МИТХТ.* 2013. Т. 8. № 4. С. 92-95.
52. *Набоко А.С., Маклаков С.С.* Влияние малых магнитных полей на скорость электрохимической коррозии. / Тез. V молодежн. научно-техн. конфер. «Научное химические технологии – 2013».
53. *S.S. Maklakov, S.A. Maklakov, A.S. Naboko, I.A. Ryzhikov.* Electrochemical Corrosion of Thin Ferromagnetic Fe-N Films in Neutral Solution. / *Book of abstr. of Intl. Symp. Exhib. (AVS 60), 2013. P. 269, TF-ThP11*
54. *S.S. Maklakov, S.A. Maklakov, I.A. Ryzhikov, V.A. Amelichev, K.V. Pokholok, K.N. Rozanov, A.V. Osipov, A.N. Lagarkov.* Mössbauer Study of Disordering in Thin Sputtered FeCo–SiO₂ and FeCo Films. / *Book of abstr. of Intl. Symp. Exhib. (AVS 60), 2013. P. 161, TF+MI-WeM4*
55. *Маклаков С.С., Маклаков С.А., Рыжиков И.А., Розанов К.Н., Осипов А.В., Похолок К.В., Амеличев В.А., Лагарьков А.Н.* Структура и магнитные свойства ферромагнитных плёнок Fe₇₀Co₃₀ и (Fe₇₀Co₃₀)_{1-x}(SiO₂)_x, полученных методом магнетронного распыления. / Тез. докл. 2 Всеросс. научной конфер. МИССФМ-2013. С. 315-316
56. *Маклаков С.С., Набоко А.С., Дубинина А.В.* Электрохимическая коррозия тонких ферромагнитных плёнок Fe-N в нейтральном растворе. / Тез. докл. IV конфер. молодых учёных РМАПО. С. 48
57. *Маклаков С.С., Набоко А.С.* Электрохимическая коррозия тонких ферромагнитных плёнок в нейтральном растворе. / Тез. докл. XX Междунар. Конфер. «Ломоносов-2013», секция физическая химия I. 2013. С. 52



58. *И.А. Богинская, К.Н. Афанасьев, А.С. Ильин, А.В. Гусев, К.А. Маилян, И.А. Рыжиков.* Расчет оптических констант, коэффициентов преломления и экстинкции, металлополимерного композита полипараксилилен-серебро. *Оптический журнал. выпуск 01, том 80, январь, 2013 стр. 82 -87*

59. *Богинская И.А., Гусев А.В., Маилян К.А., Рыжиков И.А., Пибалк А.В., Симонов-Емельянов И.Д.* Криохимический синтез из газовой фазы металлополимерного нанокompозита полипараксилилен - серебро. // *Химическая технология. 2013. - № 5. - С. 289-296*

60. *Baikov B.V., Bykov I.V., Boginskaya I.A., Gysev A.V., Dorofeenko A.V., Mailyan K.A., Ryzhikov I.A., Sedova M.V.* Optical properties and energetic structure of polyparaxylylene - Ag nanocomposite. / *Materials of BIOCATALYSIS-2013 International conference, Russia, Moscow*



ЖИЗНЬ ЛАБОРАТОРИИ



