

Перст

Информационный бюллетень
перспективные технологии
наноструктуры сверхпроводники фуллерены

Том 32, выпуск 7/8

июль/август 2025 г.



*Участники Международной Балтийской Конференции
по магнетизму IBCM-2025*

Черноголовка

НАНОМАТЕРИАЛЫ/ГРАФЕН***Иерархическая структура TiO_2 /графен для литий-ионных аккумуляторов синтезирована... на бактериях***

Диоксид титана является перспективным анодным материалом литий-ионных аккумуляторов, поскольку имеет высокую теоретическую емкость. Однако его практическое применение затруднено из-за низкой электронной проводимости и замедленной диффузии ионов лития. Исправить эти недостатки можно, создавая наноструктуры для улучшения транспорта ионов и добавляя углеродные наноматериалы, в первую очередь графен, для повышения электропроводности. Существующие методы синтеза таких гибридных структур энергоемкие и требуют использования токсичных реагентов. Изучение природных систем, а точнее, бактерий, вдохновило китайских ученых из Wuhan Univ. of Technology на разработку интересного способа создания эффективного анодного материала TiO_2 /графен с иерархической структурой [1]. Авторы использовали бактерии кишечной палочки *E. coli*, оксид графена и источник титана. После термической обработки получили сохранившие форму бактерий стержни из 20-50 нм наночастиц анатаза TiO_2 . Наностержни обернуты графеном, поверхность которого покрыта 5-10 нм наночастицами анатаза. Анод из этого гибридного материала показал высокую емкость 160 мА ч/г после 180 циклов.

Схема синтеза и SEM изображения полученного композита показаны на рис. 1. К дисперсии бактерий добавляли раствор оксида графена и раствор координационной соли, содержащей Ti (IV). Равномерное перемешивание происходило благодаря электростатическому отталкиванию двух отрицательно заряженных систем – мембран бактерий и оксида графена. В результате последовательной инкубации при 37 и 80°C происходило осаждение частиц прекурсора оксида титана на поверхность бактерий. Эти частицы разрушали стенки мембран и проникали внутрь клеток (рис. 1c,d). Стержневая форма сохранилась. Пластинки оксида графена обернули бактерии (рис. 2a,b). Взаимодействия прекурсора оксида титана с оксидом графена не было. После термической обработки в атмосфере аргона при 800°C формировалась иерархическая структура TiO_2 -графен. Минерализованная бактерия превращалась в TiO_2 стержень, состоящий из наночастиц анатаза размером 20-50 нм (рис. 1g), а оксид графена – в графен (рис. 2d). Из-за разложения органической части бактерии диаметр стержней уменьшался (рис. 1e-f).

И далее ...**ФОТОНИКА**

- 4 Источник фотонов на чипе: плазмоны контролируют свет

СПИНТРОНИКА

- 5 Стрейнтроника магнитных доменов: что общего у электрического и механического напряжений

ВЕСТИ С КОНФЕРЕНЦИЙ

- 6 Итоги Двенадцатой Всероссийской конференции “Топливные элементы и энергоустановки на их основе”
- 7 Международная Балтийская Конференция по магнетизму IBCM-2025

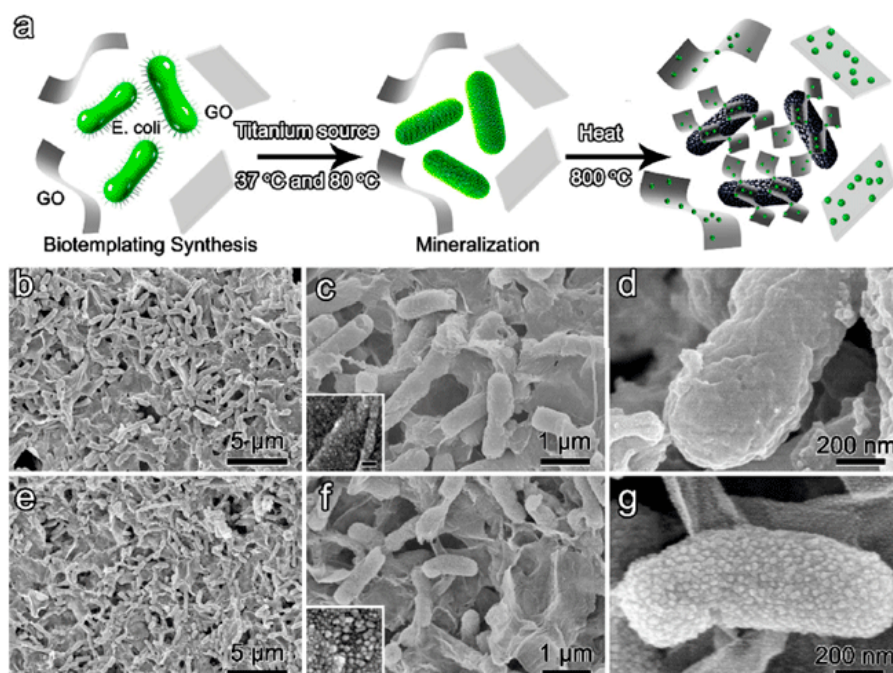


Рис. 1. (а) Схема синтеза наноструктурного материала на бактериях *E. Coli*. GO –оксид графена.

(b-d) – SEM изображения TiO_2/GO после последовательной инкубации при 37 и 80°C. (e-g) – SEM изображения материала после термической обработки при 800°C в аргоне.

Шкала на врезках 50 нм.

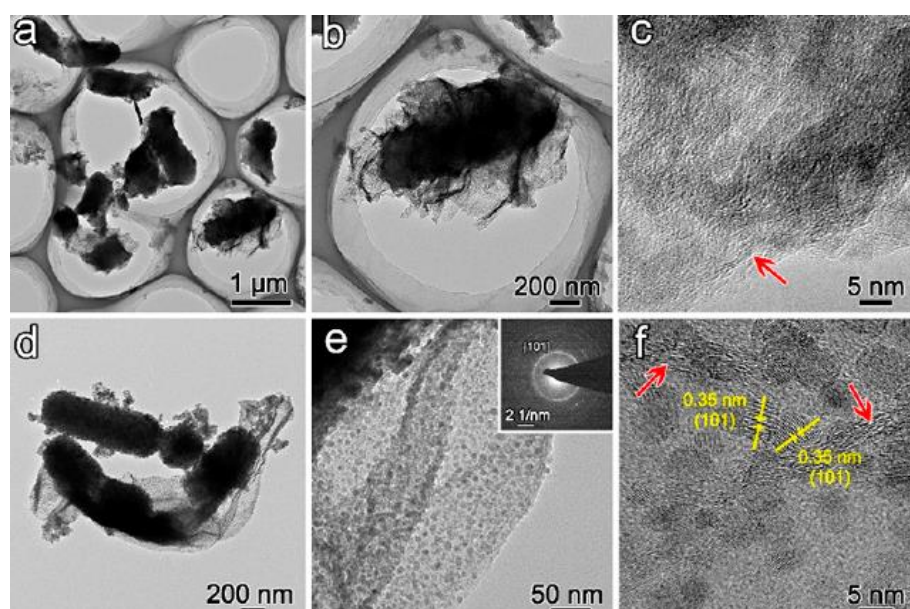


Рис. 2. (а-с) ТЕМ изображения TiO_2/GO после инкубации при 37 и 80°C.

На рис. 2с красной стрелкой показан край оксида графена. (d-f) –ТЕМ изображения материала после термической обработки при 800°C в аргоне.

Интересно, что поверхность графена, окружающего TiO_2 стержень, оказалась покрыта множеством мелких наночастиц анатаза размером 5-10 нм (рис. 1f врезка, рис. 2e,f). Вероятно это произошло благодаря химическому осаждению паров прекурсора при 800°C. Межплоскостное расстояние $d(101) = 0.35$ нм (рис. 2f) соответствует кристаллической структуре анатаза. При этом обработка в аргоне при 700°C не привела к осаждению наночастиц на графене, а при 900-1000°C на графене и вокруг сформировались более крупные частицы TiO_2 (как анатаза, так и рутила).

Хотя анод из полученного композита продемонстрировал отличные электрохимические характеристики, для масштабного применения таких иерархических структур предстоит решить определенные задачи.

Необходимо выбрать бактерии, способные к поверхностной минерализации, подобрать оптимальные условия для образования на них нужных соединений титана (рН, температура, концентрация прекурсора титана). Далее необходимо обеспечить равномерное связывание с графеном. Для улучшения электрохимических свойств и создания требуемой иерархической структуры важно подобрать температуру и длительность термообработки. Это также нуж-

но для удаления продуктов разложения бактерий и повышения прочности анодов литий-ионных аккумуляторов. Несмотря на все сложности, новые методы, которые ученым подсказала природа, позволят расширить применение наноструктурных материалов для эффективного решения задач энергетики.

О. Алексеева

1. Z.Yu et al., *Biomimetics* **10**, 144 (2025).

ФОТОНИКА

Источник фотонов на чипе: плазмоны контролируют свет

Для создания квантовых вычислительных сетей важно иметь источники фотонов, способные излучать фотоны в заданном состоянии, с контролируемым направлением и поляризацией. Такие источники часто представляют собой оптический стол с множеством поляризаторов, фильтров, зеркал. Ученых-экспериментаторов не пугает такой “лес” оборудования, но что, если речь идет о промышленном и бытовом применении? Тут уже вступает в действие необходимость миниатюризации, а в идеале – совместимость с хорошо отработанной кремниевой технологией. Ученые из Univ. of Southern Denmark (Дания), предложили концепцию создания квантовых источников света на микрочипе, описанную в статье [1].

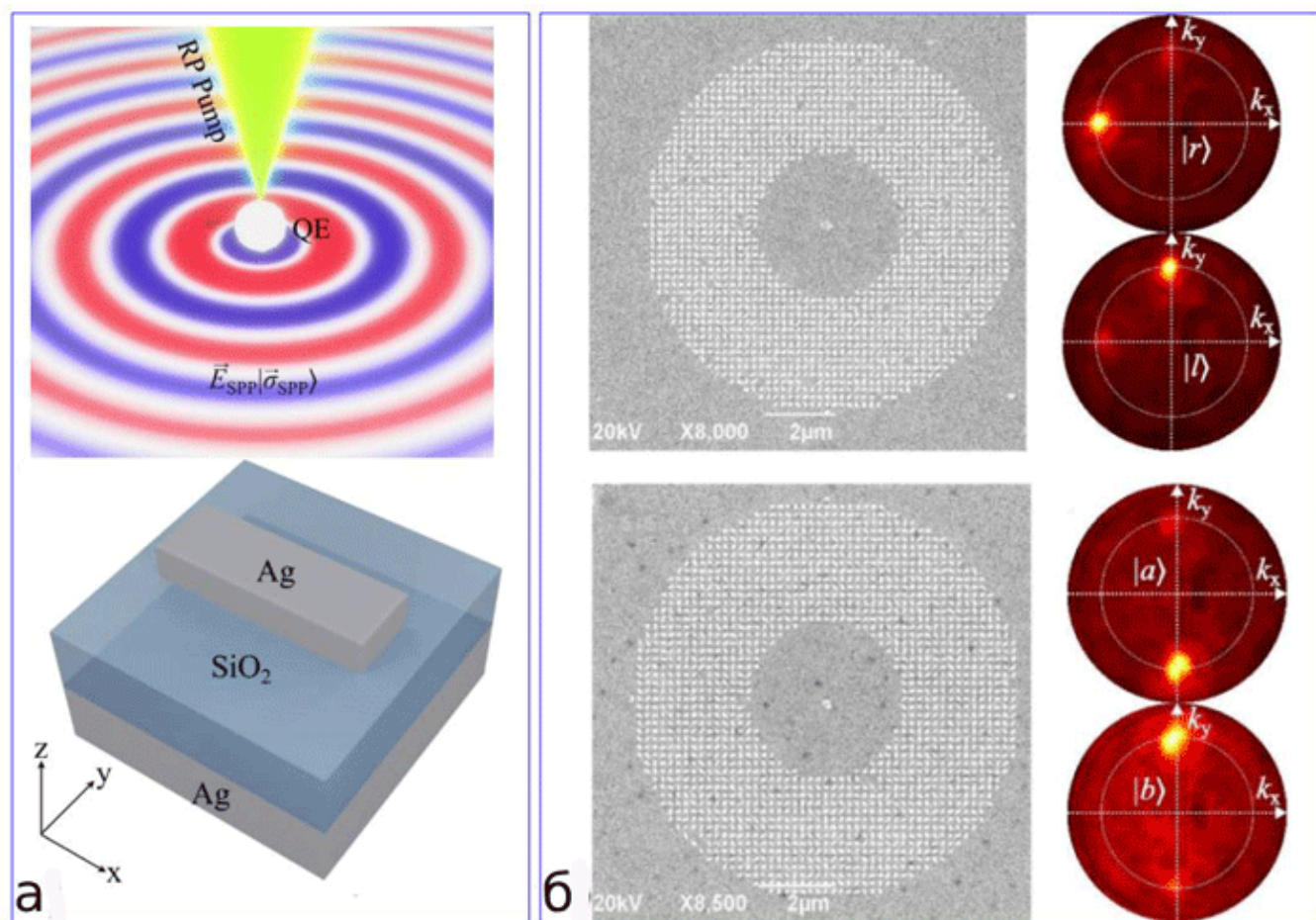


Рис.1. а – Схематическое изображение чипа и метода возбуждения света. б – Микрофотографии изготовленных чипов и их излучение (k_x и k_y – волновые векторы в плоскости структуры, характеризующие угол, под которым излучается свет; l и r – правая и левая круговые поляризации; a и b – линейные поляризации, ориентированные под 45 градусов к осям x и y).

В пластине оксида кремния, покрытой серебром, авторы создали структуру из метаатомов (в данном случае это NV-центры), упорядоченно расположенных в виде дорожек. При освещении пластины лазером происходило возбуждение поверхностных плазмон-поляритонов, которые взаимодействовали с решеткой метаатомов и переизлучали фотоны (рис. 1а). Переизлученные фотоны обладали характеристиками, жестко связанными с параметрами решетки. Авторы разработали алгоритм, позволяющий подбирать расположение метаатомов под нужные характеристики излучения и таким образом управлять как компонентами волнового вектора k_x и k_y излучения, так и параметрами Стокса, характеризующими поляризацию.

Чипы могут быть как одноканальными, излучающими свет строго одной поляризации, так и двухканальными, излучающими независимо две поляризации. На рис. 1б приведены микроскопические изображения структур, позволяющих излучать свет правой и левой круговой поляризации (верхний рисунок) и взаимно перпендикулярных линейных поляризаций, ориентированных под 45 градусов относительно осей x, y (нижний рисунок). Источник фотонов является хорошо сколламированным и стабильным. Кроме того, на одном чипе можно создать много разных источников, что удешевляет технологию.

3. Пятакова

1. S.Sande et al., *Phys. Rev. Lett.* **135**, 086902 (2025).

СПИНТРОНИКА

Стрейнтроника магнитных доменов: что общего у электрического и механического напряжений

Для обозначения разности электрических потенциалов и для давлений, возникающих в твердом теле при механической деформации, в нашем языке используют одно и то же слово “напряжение”. Разумеется, эти два термина относятся к явлениям совершенно различной природы, однако если в теле возникает градиентное распределение электрического потенциала или механической деформации, то в симметричном аспекте эти два явления становятся, действительно, аналогичными: и то и другое приводит к возникновению полярного направления в кристалле со схожими физическими последствиями.

Хорошей иллюстрацией этой идеи служит недавняя работа исследователей из МГУ и РТУ МИРЭА [1]: в ней показана возможность комбинированного электромеханического управления неколлинеарными спиновыми структурами на примере цилиндрических магнитных доменов.

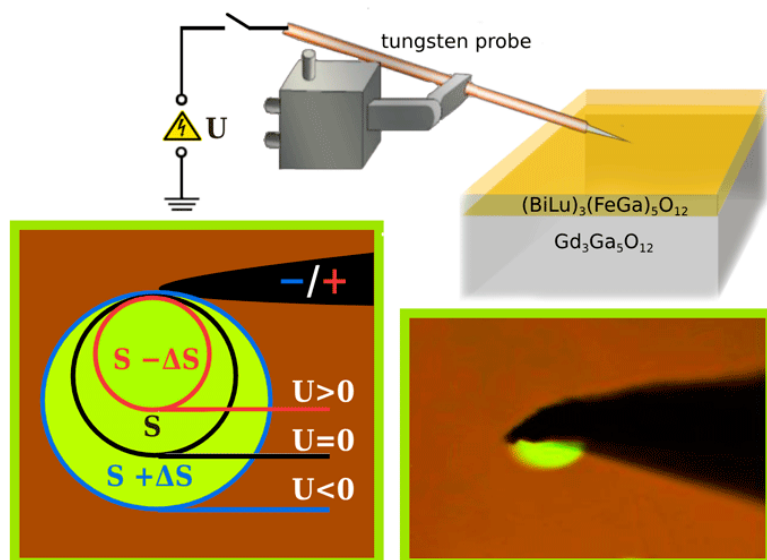


Рис. 1. Совместное действие механического и электрического напряжений [1]. Схематически идея эксперимента показана сверху: жесткая вольфрамовая игла давит на поверхность пленки феррита-граната. В месте механического контакта иглы и поверхности образца возникает градиент механического напряжения, действие которого на микромагнитную структуру аналогично влиянию электрического поля – под иглой возникает магнитный домен (магнитооптическое изображение в правом нижнем углу). При этом отрицательное электрическое напряжение иглы относительно подложки увеличивает размер домена, а положительное напряжение, напротив, частично компенсирует эффект механического воздействия (левый нижний рисунок, схематически показывает иглу и размер домена при электрических напряжениях различного знака).

Цилиндрические магнитные домены — классический объект микромагнетизма, чье поведение в магнитном поле было досконально исследовано во второй половине прошлого века. Однако только в последнее десятилетие было показано, что их зарождение и коллапс можно осуществлять с помощью электрически заряженного зонда [2], что является одним из проявлений неоднородного магнитоэлектрического эффекта, связывающего электрические явления с неколлинеарными спиновыми структурами. Последний эффект имеет преимущества перед магнитным управлением, поскольку позволяет контролировать количество зародившихся до-

менов и их положение, при этом взамен массивных катушек используется электростатическое управление, аналогичное принципу действия полевого транзистора, что создает возможности миниатюризации устройств.

Подход, предлагаемый в новой статье [1] позволяет с помощью механического давления иглы на образец зарожать магнитный домен, а прикладывая дополнительно электрическое напряжение к зонду, осуществлять “тонкую подстройку” размера домена (рис. 1): положительный потенциал иглы относительно подложки частично компенсирует механическое воздействие, приводя к уменьшению размера образовавшегося домена, в то время как отрицательное электрическое напряжение, напротив, усиливает действие давления, увеличивая домен. Такая возможность комбинированного механо-электрического воздействия на микромагнитную структуру интересна в связи с развитием особой разновидности спиновой электроники – стрейнтроники, использующей механические напряжения для магнитного переключения логических элементов и ячеек компьютерной памяти.

А. Пятаков

1. А.А.Карпачева и др., *Письма в ЖЭТФ* **122**, 103 (2025).
2. D.P.Kulikova et al., *Phys. Status Solidi RRL* **12**, 1800066 (2018).

ВЕСТИ С КОНФЕРЕНЦИЙ

Итоги Двенадцатой Всероссийской конференции “Топливные элементы и энергоустановки на их основе”

Всероссийская конференция “Топливные элементы и энергоустановки на их основе” проходила в Черноголовке с 23-го по 26-е июня 2025 года на базе Института физики твердого тела имени Ю.А. Осипьяна РАН (ИФТТ РАН). В этом году Конференция проводилась в 12-й раз и традиционно была организована при сотрудничестве ИФТТ РАН и Московского физико-технического института (МФТИ, Физтех), в рамках реализации мероприятий программы стратегического академического лидерства “Приоритет-2030” по продвижению результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Оргкомитет Конференции традиционно возглавили г.н.с., руководитель направления ИФТТ РАН, д.ф.-м.н. С.И. Бредихин и директор Института квантовых

технологий МФТИ, чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н. В.В. Иванов.

Каждый год Конференция объединяет представителей научного сообщества, отраслевых министерств и ведомств, индустрии и государственных корпораций, преподавателей и студентов ведущих профильных вузов в области физики твердого тела, электрохимии, физической химии и материаловедения. В этом году активное участие в работе Конференции приняли представители таких промышленных и инжиниринговых компаний, как ГК “Росатом”, АО “ТВЭЛ”, АО “ОДК”, АФК “Система”, АО НПП “Спец-Радио” и многих других, что создает новые возможности для сотрудничества и взаимодействия.

Научную программу мероприятия открыл доклад директора проектного офиса по водородной энергетике ООО “Русатом КИП” И.А. Маниной. В докладе Ирина Аркадьевна сообщила о развитии водородной энергетики в Госкорпорации “Росатом”. О программах государственной поддержки российской водородной промышленности в своем выступлении рассказал представитель профильного департамента Минпромторга РФ Ф.С. Каменев. Представитель Российского энергетического агентства Минэнерго России О.В. Жданев проинформировал о приоритетах развития водородной энергетики в Российской Федерации.



Выступление д.ф.-м.н. С.И. Бредихина.

Всего на Конференции было заслушано 21 приглашенный, 34 устных и 27 стендовых докладов. За время работы научных сессий участники представляли результаты исследований в области физики ионных проводников и материалов со смешанной ионно-электронной проводимостью, материалов для композиционных электродов, интерконнекторов и защитных по-

крытий. За время работы Конференции поднимались вопросы разработки и создания ТОТЭ и электролизеров, возобновляемых источников энергии и катализаторов, “зеленой” и водородной энергетики, экологии и низкоуглеродной экономики. Кроме того, рассматривались методы импедансной спектроскопии, проектирование мембранно-электродных блоков, технологии производства топливных элементов и тонкопленочные технологии.

Отличительной чертой Конференции “Топливные элементы и энергоустановки на их основе” является большое количество докладов, в которых представлены разработки, проходящие натурные испытания в условиях эксплуатации или близким к реальным. Директор Института квантовых технологий МФТИ чл.-корр. РАН В.В. Иванов, сопредседатель Организационного комитета Конференции, представил опытный образец принтера сухой аэрозольной печати, который позволяет создавать дешевые каталитические элементы и устройства диагностики. М.А. Абоимов, советник по развитию бизнеса АО “ТВЭЛ”, рассказал о созданном накопителе энергии на водородном цикле, который может быть использован в качестве бесперебойного источника питания в энергоизолированных регионах. С.В. Беленов, генеральный директор ООО “Прометей-РД”, сообщил о коммерческом производстве платиноуглеродных электрокатализаторов для электролизеров и низкотемпературных топливных элементов с полимерной мембраной. С.Д. Бадмаев рассказал о разработке сотрудниками Института катализа СО РАН реформера воздушной конверсии метанола для обеспечения работы ТОТЭ мощностью до 300 Вт.



Дружеская творческая атмосфера мероприятия располагала к неформальному обсуждению важных вопросов и новых идей, расширению

кругозора в области своих научных интересов, формированию новых творческих коллективов. Прошедшая Конференция в очередной раз продемонстрировала заинтересованность предприятий реального сектора экономики в наукоёмких разработках отечественных научных организаций и университетов в области водородной энергетики и топливных элементов. Учитывая актуальность тематики и быстрый прогресс исследований в области разработок топливных элементов и энергоустановок на их основе, было принято решение провести в 2026 году Тринадцатую Всероссийскую конференцию “Топливные элементы и энергоустановки на их основе”.

О. Камынина

Международная Балтийская Конференция по магнетизму IBCM-2025

С 17 по 21 августа 2025 года прошла “VI Международная Балтийская Конференция по Магнетизму: фокус на магнитооптике, умных материалах и биомедицине” (IBCM-2025). Это мероприятие, традиционно (начиная с 2012 года) проводящееся каждые два года в Светлогорске, стало площадкой для дискуссий по результатам исследований между молодыми и состоявшимися учеными мирового уровня; между физиками, биологами и химиками; между экспериментаторами и теоретиками.



Рис. 1. Организаторы конференции Павел Воронцов и В.В. Родионова, а также молодежь из Оргкомитета

В 2025 году конференция впервые проводилась не на берегу Балтийского моря, а в самом Калининграде, где для участников конференции гостеприимно распахнул двери Балтийский федеральный университет им. И. Канта. Конференция собрала 176 участников – представителей более 60-ти организаций из 5 стран и 30 городов. Насыщенная научная программа конференции включила 5 пленарных и 22 пригла-

шенных докладов, 3 учебных лекции, 56 устных и 73 стендовых докладов.

Научную часть заседания открыл основатель группы наукоемких и высокотехнологических компаний АМТ&С профессор А.М. Тишин с пленарным докладом “Современные приложения магнитных материалов: тенденции и вызовы”, в котором он рассказал о перспективных биомедицинских разработках, транспорте, ро-

бототехнике и телекоммуникационных технологиях, затронув и животрепещущую редкоземельную тему. Профессор А.Б. Грановский выступил с лекцией по композиционным материалам “ферромагнитный металл-диэлектрик”. Завершило открытие конференции сообщение профессора Н.С. Перова, посвященное памяти бывшего заведующего кафедрой магнетизма физфака МГУ профессора А.В. Ведяева.

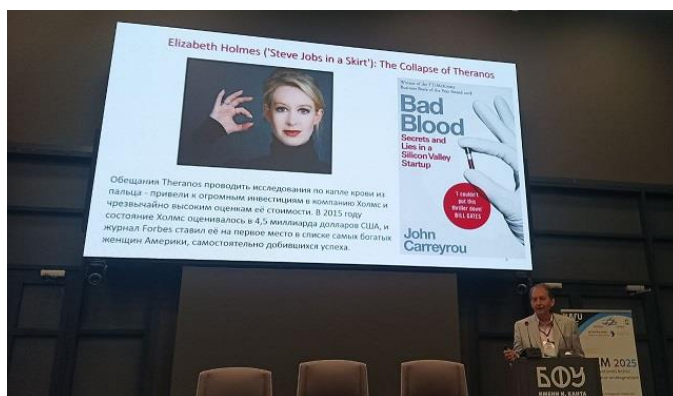
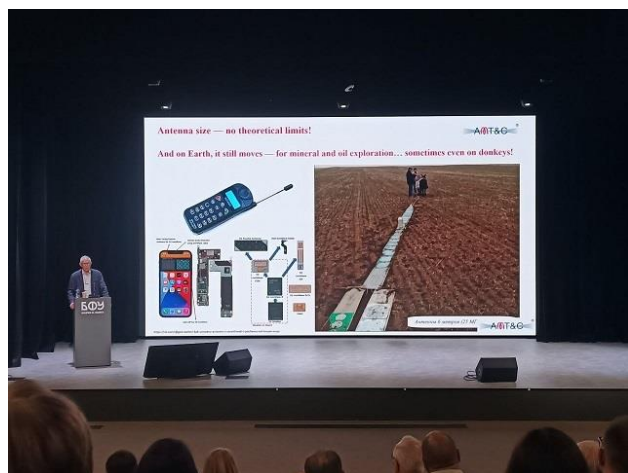


Рис. 2 Пленарные и приглашенные доклады: А.М. Тишин и П.И. Никитин.

Традиционно на конференции большое внимание было уделено магнитооптике, ей были посвящены пленарные и приглашенные доклады таких известных специалистов в данной области как А.В. Барышева, В.И. Белотелова, В.В. Павлова, П.М. Ветошко, Т.В. Долгова, а также лекция о магнитоплазменных гетероструктурах Л.В. Паниной. Интересно, что с этим направлением практически смыкались еще два доклада академика А.С. Сигова и К.А. Звездина, посвященные спинтронике, которая вышла в гига- и терагерцовый диапазон. Тематика функциональных материалов и биомедицина, также фигурирующая в подзаглавии конференции, была представлена в пленарных и приглашенных докладах Р.А. Сурменева, Н.А. Усова, Н.С. Перова, Д.Л. Загорского, П.И. Никитина, а также в третьей учебной лекции от Ю.Л. Райхера. Новым веянием стали графеноподобные материалы, в том числе и магнитные, которым была посвящена специальная секция “2D materials for high-tech and environmental applications”, которую открывал приглашенный доклад В.В. Сысоева из Саратовского технического университета про “электронный нос”.



Рис. 3 Впечатления автора заметки от поездки в замок Тапиау в Гвардейске и сыроварню Шаакендорф.

Культурная программа включала экскурсию на Куршскую косу, поездки в форт Денхофф и в недавно открывшийся замок Тапиау (с дегустацией сыров на сыроварне Шаакендорф), а также, конечно, обзорную экскурсию по Калининграду.

А. Пятаков

Информационный бюллетень ПерсТ
издается информационной группой ИФТТ РАН

Главный редактор: И. Чугуева, e-mail: ichugueva@yandex.ru

Научные редакторы К. Кугель, Ю. Метлин

В подготовке выпуска принимали участие: О. Алексеева, О. Камынина, А. Пятаков, З. Пятакова

Выпускающий редактор: И. Фурлетова