

ЦЕНТР КОЛЛЕКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ «ФИЗИКА И ТЕХНОЛОГИИ НАНОСТРУКТУР»: ФУНКЦИИ И ЗАДАЧИ

СОЗАНОВ Валерий Гаврилович – д-р техн. наук, профессор, ректор, Северо-Осетинский государственный университет им. К.Л. Хетагурова. E-mail: v.sozanov@mail.ru

БЛИЕВ Александр Петрович – канд. физ.-мат. наук, профессор, первый проректор, Северо-Осетинский государственный университет им. К.Л. Хетагурова. E-mail: bliev@mail.ru

МАГКОЕВ Тамерлан Таймуразович – д-р физ.-мат. наук, профессор, Северо-Осетинский государственный университет им. К.Л. Хетагурова. E-mail: t_magkoev@mail.ru

Аннотация. В статье проанализировано место ЦКП СОГУ «Физика и технологии наноструктур» в сети центров коллективного пользования научным оборудованием Российской Федерации. Показано, что в силу постоянного пополнения приборного парка, развития научной инфраструктуры и привлечения молодежи в сферу науки ЦКП СОГУ играет заметную роль в реализации приоритетных направлений развития научно-технологического комплекса России, решении приоритетных научных задач, в подготовке кадров высшей квалификации и создании элементов инновационной образовательной среды в высшем учебном заведении.

Ключевые слова: центр коллективного пользования (ЦКП), приоритетные научные задачи, оказание услуг ЦКП, научно-технические разработки ЦКП, подготовка кадров с использованием оборудования ЦКП

Государственная стратегия развития системы центров коллективного пользования научным оборудованием в России

Достижение качественно нового уровня исследований и разработок возможно только на современной экспериментальной базе, в основе которой – исследовательские многофункциональные комплексы, позволяющие существенно расширить возможности проведения экспериментов и получения значимых результатов. Повышения эффективности использования исследовательских комплексов можно добиться за счет их высокой загрузки, что успешно осуществляется в специально создаваемых центрах коллективного пользования научным оборудованием (ЦКП). Центры коллективного пользования обеспечивают возможность проведения исследований широкому кругу ученых и научных коллективов на современном дорогостоящем оборудовании, увеличивая тем самым продуктивность последнего [1]. Кроме того, ЦКП создают возможность в сжатые сроки изменить негативную тенденцию старения пар-

ка научного оборудования, что очень важно для современного университета. Достоинством центров является также концентрация в одном месте не только оборудования и техники, но и специалистов, в совершенстве владеющих ими, способных выполнять задачи данного профиля. При этом существенное значение для ЦКП имеет разработка собственных долгосрочных программ исследований с учетом заявок заинтересованных организаций.

В настоящее время в большинстве развитых стран сформирована сеть исследовательских центров коллективного пользования научным оборудованием различного профиля и дорогостоящими установками и комплексами. Работа по формированию отечественной сети ЦКП началась в 80-е годы прошлого столетия и продолжалась с участием Российского фонда фундаментальных исследований. В дальнейшем она была организована Минпромнауки России и продолжена Министерством образования и науки России в соответствии с первоочередными мерами по реализации Основ по-

литики Российской Федерации в области развития науки и технологий на период до 2025 г. и дальнейшую перспективу в рамках федеральной целевой научно-технической программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития науки и техники» на 2014–2020 годы (ФЦНТП). Начиная с 2005 г. эта работа ведется в рамках мероприятия «Содействие развитию сети центров коллективного пользования научным оборудованием» ФЦНТП. Она осуществляется с учетом уже действующих в России ЦКП и каналов распределения научно-технического потенциала по регионам страны, что является основой для становления региональных узловых элементов будущей национальной сети ЦКП. Расширение и укрепление сети ЦКП в настоящее время обеспечивается реализацией федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы», в рамках которой предусматривается выполнение шага «Развитие сети центров коллективного пользования научным оборудованием».

При этом первостепенное значение уделяется решению следующих основных задач:

- формирование современной приборной базы путем аккумуляции в ЦКП прецизионного дорогостоящего научного оборудования и создание многофункциональных исследовательских комплексов;
- совершенствование организационно-экономических механизмов предоставления услуг в сфере проведения исследований для различных организаций;
- повышение уровня загрузки научного оборудования в ЦКП путем формирования собственных годовых планов исследований и планов исследований по заявкам заинтересованных организаций;
- обеспечение единства и достоверности измерений при проведении научных исследований на оборудовании;

- создание единой информационной среды в сети ЦКП;
- поддержка развития отечественных научных школ, повышение квалификации исследователей и привлечение молодых специалистов;
- проведение исследований по приоритетным направлениям науки, технологий и техники на мировом уровне.

В перспективе центры коллективного пользования должны стать главными опорными точками в регионах по обеспечению поисковых исследований, комплексных разработок, по реализации значимых инновационных проектов, а также способствовать повышению интереса молодых специалистов к работе в научной сфере.

В рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы» обозначена ключевая роль ЦКП в решении приоритетных научных задач (ПНЗ). В русле этих направлений действует и ЦКП СОГУ «Физика и технологии наноструктур».

ЦКП «Физика и технологии наноструктур»: общая характеристика

Центр коллективного пользования



«Физика и технологии наноструктур» представляет собой уникальный комплекс научного оборудования, существующий на базе Северо-Осетинского государственного университета им. К.Л. Хетагурова и обеспечивающий высокий уровень фундаментальных исследований в области физического и химического наноматериаловедения. Административным руководителем ЦКП является профессор Александр Петрович Блиев, научным руководителем — профессор Тамерлан Таймуразович Магкоев. В своей работе ЦКП руководствуется утвержденными Положением и Программой развития ЦКП, а также порядком доступа к оборудованию и оказания услуг для внутренних и сторонних пользователей. ЦКП обеспечивает режим коллективного пользования прецизионным дорогостоящим научным и технологическим оборудованием структурными подразделениями СОГУ, а также пользователями из научных, технологических и промышленных учреждений Республики Северная Осетия-Алания и России в целом. На базе ЦКП проходят профессиональную подготовку и осуществляют исследовательскую работу студенты бакалавриата и магистратуры ряда факультетов СОГУ, а также аспиранты и докторанты. Одним из приоритетных направлений деятельности ЦКП является привлечение высококвалифицированной молодежи в сферу науки. Средний возраст штатных сотрудников центра составляет 31 год. В 2013 г. один из сотрудников нашего центра был удостоен престижной научной премии Главы Республики Северная Осетия-Алания.

В настоящее время *материально-техническая база* ЦКП включает самые современные аппаратные комплексы. Среди них:

- рентгеновский фотоэлектронный спектрометр K-Alpha фирмы Thermo Fisher Scientific (2011 г. выпуска);
- зондовая нанолaborатория Интегра-Аура фирмы NT-MDT (2008 г. выпуска);
- сверхвысоковакуумная система ана-

лиза поверхности (собственная разработка);

- атомно-эмиссионный спектрометр с индуктивно-связанной плазмой ICPE-9000 фирмы Shimadzu (2014 г. выпуска);
- рентгеновский дифрактометр XRD-7000 Maxima фирмы Shimadzu (2013 г. выпуска);
- ультрафиолетовый спектрофотометр UV-VISEvolution-300 фирмы Thermo Fisher Scientific (2012 г. выпуска);
- инфракрасный Фурье-спектрометр ФСМ-1203 фирмы Инфраспек (2007 г. выпуска);
- жидкостный хроматограф Миллихром А-02 фирмы Эконова (2010 г. выпуска);
- реактор роста углеродных нанотрубок фирмы NT-MDT (2013 г. выпуска).

Имеется также вспомогательное оборудование, системы пробоподготовки, вычислительная техника, презентационное оборудование в режиме on-line и др. Средний возраст оборудования ЦКП составляет три года.

Работа ЦКП СОГУ «Физика и технологии наноструктур» организована таким образом, что к работе на оборудовании допускаются пользователи (как внутренние, так и внешние), представившие научно обоснованную заявку и прошедшие курс обучения на приборной базе ЦКП. Высококвалифицированные сотрудники центра оказывают постоянную методическую помощь в процессе эксплуатации оборудования.

На базе ЦКП реализованы следующие *методики измерений*:

- методика измерения топографии поверхности электропроводящих и диэлектрических материалов с атомным разрешением;
- методика качественного и количественного измерения атомного состава поверхности материала и профиля распределения элементов при движении от поверхности раздела с вакуумом в объем;
- методика измерения частот колеба-

ний молекул в газовой и жидкой фазе с разрешением 0,2 обратных сантиметров и выше;

- методика измерения спектров поглощения и пропускания в области волновых чисел в ближней ультрафиолетовой области спектра;

- методика сверхточного определения атомного состава материалов на основе анализа эмиссионных спектров атомов;

- методика определения молекулярного состава жидкостей и газов за счет разделения компонент смеси посредством селективной адсорбции на сорбенте;

- методика определения атомной структуры кристаллов методом дифракции рентгеновских лучей.

Сторонними организациями – пользователями услуг ЦКП являются НИТУ «Московский институт стали и сплавов», Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), а также региональные учреждения и организации: Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), Кабардино-Балкарский государственный университет, Северо-Осетинская государственная медицинская академия, крупные предприятия металлургического и электронного комплексов («Электроцинк», «Бином», «Электроконтакт», «Крон», «Победит», НИИ электронных материалов, Технологический центр «Баспик»).

Ниже приведен *примерный перечень* оказываемых ЦКП услуг.

- ✓ Количественный анализ элементного состава приповерхностной области кварцевых резонаторов и масс-спектров фотодесорбируемых с поверхности фталоцианинов металлов частиц.

- ✓ Исследование микротопографии поверхности фталоцианинов металлов и неорганических полупроводников методом нанозондовой микроскопии.

- ✓ Исследование атомной структуры нанокристаллических механосинтезированных сплавов простых и переходных металлов методом рентгеновской дифракции.

- ✓ Качественный и количественный анализ состава и структуры фурана и его производных.

- ✓ Качественный и количественный анализ состава газовых и жидких смесей, используемых в технологии производства микроканальных пластин для приборов ночного видения.

- ✓ Исследование конфигурации магнитного поля катушек электромагнитной системы троллейбусных контакторов системы КТЭ-02.

- ✓ Исследование влияния дестабилизирующих факторов на присутствие чужеродных наночастиц в аморфных стеклянных образцах.

- ✓ Исследование влияния дестабилизирующих технологических факторов на элементный состав победитовых сплавов и распределение твердости в победитовых образцах.

- ✓ Исследование почвы на содержание тяжёлых металлов.

ЦКП функционирует в рамках государственных контрактов ФЦП «Исследования



и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России», аналитических ведомственных целевых программ и государственных заданий Минобрнауки РФ, программ регионального инновационного развития Правительства РСО-А, грантов РФФИ и зарубежных научных фондов, программы стратегического развития СОГУ. ЦКП «Физика и технологии наноструктур» активно сотрудничает с рядом ведущих зарубежных научных и образовательных центров: Университетом Токио, Калифорнийским университетом (Риверсайд), Свободным Берлинским университетом, Институтом Хабера Германского научного общества Макса Планка, Евразийским центром передовых исследований, Измирским технологическим институтом и др.

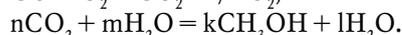
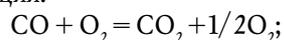
Средний годовой объем выполненных ЦКП НИР и НИОКР составляет 10 млн. руб. На его базе за последние три года защищены две докторские и две кандидатские диссертации по химическим и физико-математическим отраслям наук.

Наиболее значимые научно-технические результаты ЦКП

Научно-техническая и технологическая деятельность ЦКП проходит преимущественно в русле приоритетного направления развития научно-технологического комплекса России – индустрии наносистем и материалов и нескольких родственных критических технологий. Основное внимание уделяется разработке наноматериалов, обладающих принципиально новыми физико-химическими и потребительскими свойствами. В связи с этим можно выделить несколько направлений исследований и разработок и отметить наиболее значимые результаты.

Разработка новых гетерогенных катализаторов. С обострением проблем энерго- и ресурсосбережения в глобальном масштабе особую актуальность приобретают вопросы катализа. В нашем центре разработаны новые катализаторы на основе

неоднородных металлических и металлооксидных структур, обладающих не только повышенной эффективностью, но и появлением новых каналов реакций, не реализуемых в существующих катализаторах [2]. В частности, при формировании наноструктуры, представляющей собой поверхностный сплав молибдена с бором с определенным соотношением концентраций компонент, реализуются новые каналы реакции:



С точки зрения фундаментальной науки полученные результаты позволяют сформулировать новые закономерности адсорбции и превращения атомов и молекул на поверхности наноматериалов и выработать стратегию их целенаправленного синтеза. С прикладной точки зрения открывается возможность эффективного контроля загрязнения окружающей среды (снижение СО) и реализации замкнутого цикла горения-регенерации топлива, что обеспечивает повышение энергоэффективности до 50%.

В процессе изучения адсорбции и преобразования молекул газов на поверхности металлооксидной наносистемы (наноразмерные кластеры золота на поверхности плёнки оксида титана TiO_2) установлены закономерности, лежащие в основе обеспечения максимальной эффективности катализатора. Структура металлооксидного катализатора, морфология кластера и граница раздела играют существенную роль в процессе преобразования атомов и молекул на поверхности. Практическое использование работы заключается в том, что для повышения эффективности преобразования молекул необходимо выполнение следующих условий: 1) парциальное давление молекул, участвующих в реакции, должно быть пониженным, 2) эффективные размеры нанокластеров золота на поверхности TiO_2 должны быть в области 40-60 ангстрем.

Солнечные преобразователи на осно-

ве металлических фталоцианинов. Фталоцианин (PcH_2) и его металлокомплексы ($PcMe$), а также их различные замещенные соединения интенсивно исследуются с 1930 года, но интерес к ним не ослабевает. Это связано с широкими перспективами их применения в полупроводниковых приборах, солнечных элементах, газовых сенсорах. По своему строению металлофталоцианины (PcM) являются синтетическими аналогами порфиринов – большого класса биологически важных органических веществ, к которым относятся гемоглобин, хлорофилл, протогем.

Возможность использования фталоцианинов для солнечной энергетики подсказывается самой природой, которая, создав фотосинтетические органические системы (хлорофилл-фталоцианин) в растениях и бактериях, блестяще справляется с задачей преобразования солнечной энергии. Кроме того, фталоцианины гораздо более технологичны, чем традиционные неорганические солнечные преобразователи. Особенность строения этой молекулы заключается в том, что шестнадцатичленное гетероциклическое кольцо и четыре бензольных кольца являются идеально проводящими практически независимыми друг от друга хромофорами, находящимися в слабом π -электронном взаимодействии. Кроме того, её двумерный характер позволяет достигать высокой степени плотности упаковки слоёв для создания тонких пленок. В настоящее время известно более 70 различных по центральному атому металлофталоцианинов. Замена иона металла, находящегося в центре обширной делокализованной π -электронной системы фталоцианинового кольца, оказывает значительное влияние на физико-химические свойства PcM , а замещение по бензольным кольцам ещё более увеличивает разнообразие структуры и свойств этих веществ.

В качестве преобразователя солнечной энергии в электрическую можно использовать сэндвичную структуру из слоев моно-

кристаллических кварцевых пластин с нанесенным на них фталоцианином переходного металла с добавлением модифицированных углеродных нанотрубок и наночастиц самого переходного металла. Последнее необходимо для достижения высокой степени поглощения световых квантов с последующей генерацией излучения с малым стоковым сдвигом. Использование фталоцианинов переходных металлов обусловлено особым характером π -электрон-фотонного взаимодействия, а также тем, что они имеют тенденцию к образованию упорядоченных структур нанометровых размеров, обладающих электронной и ионной проводимостью. При использовании такой структуры обеспечивается преобразование энергии кванта света в электрический ток и в тепло при помощи углеродных нанотрубок, размещенных в слое. Для увеличения квантовой эффективности фотогенерации носителей заряда в активные слои можно вводить и наночастицы благородных металлов. Это связано с тем, что вблизи искривленной поверхности металла (с радиусом кривизны несколько нанометров) могут возникать поверхностные плазмон-поляритоны, имеющие поглоще-



ние в видимой области спектра. Плазмон-поляритоны, в свою очередь, эффективно обмениваются энергией с молекулами металлофталоцианинов, находящимися в непосредственной близости от поверхности металла – вплоть до 3-4 молекулярного слоя.

В ЦКП разработана технология создания наноразмерных пленок замещённых фталоцианинов, обладающих повышенной эффективностью в качестве солнечных преобразователей энергии (КПД на уровне 9–11%, снижение себестоимости солнечных преобразователей на их основе на 120–150%). Кроме того, они характеризуются повышенной функциональностью по сравнению с традиционными кремниевыми преобразователями. В частности, их можно наносить тонким слоем красителя на крыши и фасады домов, достигая тем самым существенно большей эффективной площади преобразования.

В дальнейшем планируется поиск оптимальных сочетаний фталоцианиновых заместителей, углеродных нанотрубок, металлических нанокластеров, топологии сочетания компонент для достижения максимального значения КПД солнечных преобразователей, их технологичности и долговечности.

Поиск новых высокоэффективных фотосенсибилизаторов для фотодинамической терапии (ФДТ) рака. Сегодня каждый пятый человек в мире умирает от рака. Онкологические заболевания чрезвычайно разнообразны и затрагивают глубокие механизмы жизнедеятельности клетки. Борьба с раком затруднена, поскольку заболевание связано с перерождением собственных клеток, механизм которого пока далек от окончательного понимания. Поиск эффективных и щадящих методов лечения ведется по разным направлениям, и одним из них является фотодинамическая терапия. Метод ФДТ включает четыре этапа. На первом этапе пациенту вводят, обычно внутривенно, раствор сенсибилизатора.

Второй этап продолжительностью от нескольких часов до трех суток необходим для накопления сенсибилизатора в опухоли. При этом в зависимости от химической природы вещества и типа опухоли устанавливается определенное соотношение концентрации сенсибилизатора в опухоли и окружающей нормальной ткани. Для используемых сегодня препаратов это отношение колеблется от 3 до 10. На этом этапе по флуоресценции сенсибилизатора судят о размерах опухоли и ее расположении. На третьем этапе пораженный участок облучают светом определенной длины волны в течение 15–20 минут. В качестве источника света обычно используется лазер и система световодов, которая позволяет доставлять свет во внутренние органы. В участках опухоли, содержащих сенсибилизатор, развиваются высокотоксичные фотохимические превращения, а именно перевод нетоксичного триплетного кислорода в токсичный синглетный, который приводит к гибели раковых клеток. При этом соседние нормальные клетки сохраняются. На четвертом этапе продолжительностью от 2 до 4 недель происходит разрушение злокачественной опухоли и частичное или полное восстановление пораженных участков. При этом эффективность синглетного кислорода нередко бывает недостаточна для разрушения раковой опухоли.

Это обуславливает необходимость поиска новых фотосенсибилизаторов, эффект которых достигается не только за счет генерации синглетного кислорода, но и появления других разрушительных для раковой опухоли процессов. Существующие направления исследований в ЦКП СОГУ «Физика и технологии наноструктур» позволяют провести наиболее полное обоснование разработки новых эффективных соединений, выступающих в роли фотосенсибилизаторов. На основе глубокого и всестороннего исследования фотоиндуцированных процессов в ряде соединений установлено, что некоторые из них могут выступить в роли

фотосенсибилизаторов с существенно большей эффективностью по сравнению с существующими. В качестве такого вещества предложена молекула РТСДА [3]. Результаты исследований фотоиндуцированных процессов свидетельствуют о том, что средняя мгновенная температура молекулярных фотофрагментов составляет около



1000°С, она сопровождается появлением атомарного кислорода, еще более токсичного, чем синглетный кислород. Таким образом достигается синергетический эффект, обусловленный взаимоусиливающим сочетанием двух процессов – резкого значительного повышения локальной температуры и генерации чрезвычайно токсичного атомарного кислорода в области раковой опухоли, – не затрагивающий соседние участки. Аналогичный эффект, как показано в недавней работе ЦКП СОГУ [4], может быть достигнут при использовании нанокластеров кремния определенной морфологии.

Таким образом, можно утверждать, что ЦКП СОГУ «Физика и технологии наноструктур», действуя в русле приоритетных направлений развития научно-технологического комплекса и критических технологий России и проводя активную работу в области решения приоритетных научных задач, оказания услуг и привлечения молодежи в сферу науки, является заметным звеном в сети центров коллективного пользования научным оборудованием Российской Федерации.

Работа выполнена в рамках госзадания СОГУ Министерства образования и науки Российской Федерации и поддержана грантом правительства РСО-Алания.

Литература

1. Качак В.В. Центры коллективного пользования научным оборудованием в секторе современных исследований и разработок // Российские нанотехнологии. 2010. Т. 5. № 5–6. С. 31–37.
2. Tvauri I.V., Khubezhov S.A., Demeev Z.S. et al. Carbon monoxide dissociation to oxidation surface reaction pathway shift on Mo(110) upon alloying with boron // Vacuum. 2013. V. 88. P. 8–10.
3. Ramonova A.G., Tvauri I.V., Khubezhov S.A. et al. Time-of-flight study of photoinduced dynamics of copper and manganese phthalocyanine thin films on Si(111) // Physica Scripta. 2013. V. 157. P. 014007-014011.
4. Parkhomenko Yu.N., Belogorokhov A.I., Blied A.P., Sozanov V.G., Magkoev T.T. The Properties of Nanosized Silicon Prepared by Plasmochemical and Electrolytic (HCl : HF : C₂H₅OH) Techniques // Nanoscience and Nanoengineering. 2013. V. 1. P. 51–56.

Статья поступила в редакцию 14.06.15.

CENTER FOR COLLECTIVE USE (CCU) OF NORTH-OSSETIAN STATE UNIVERSITY
“THE PHYSICS AND TECHNOLOGY OF NANOSTRUCTURES”: FUNCTIONS
AND TASKS

SOZANOV Valeriy G. – Dr. Sci. (Technical), Prof., Rector, North-Ossetian State University, Vladikavkaz, Russia. E-mail: v.sozanov@mail.ru

BLIEV Aleksandr P. – Cand. Sci. (Phys.-Math.), Prof., First Vice-rector, North-Ossetian State University, Vladikavkaz, Russia. E-mail: bliev@mail.ru.

MAGKOEV Tamerlan T. – Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., North-Ossetian State University, Vladikavkaz, Russia. E-mail: t_magkoev@mail.ru.

Abstract. The role of the Center for collective use of North-Ossetian State University “The physics and technology of nanostructures” in the scientific net of Russian Federation is analyzed. It is shown that adhering to the federal development strategy of CCU net, the North-Ossetian center on the basis of equipment acquiring scientific infrastructure development and attracting youth to science, takes a significant place in realization of priority directions of scientific-technological complex of Russia development, solving the priority scientific tasks, preparation of personnel of higher qualification and creation of the elements of innovative educational environment for higher education.

Keywords: Center for collective use (CCU), priority scientific tasks, providing CCU services, scientific-technical developments of CCU, preparation of personnel using CCU equipment

References

1. Kachak, V.V. (2010). [Centers for Collective use of Scientific Equipment in the Field of Modern Research and Development]. *Rossiiskie nanotekhnologii* [Russian Nanotechnologies]. Vol. 2, no. 5-6, pp. 31-37. (In Russ.)
2. Tvauri, I.V., Khubezhov, S.A., Demeev, Z.S. et al. (2013). Carbon monoxide dissociation to oxidation surface reaction pathway shift on Mo(110) upon alloying with boron. *Vacuum*. Vol. 88, pp. 8-10.
3. Ramonova, A.G., Tvauri, I.V., Khubezhov, S.A. et al. (2013). Time-of-flight study of photoinduced dynamics of copper and manganese phthalocyanine thin films on Si(111). *Physica Scripta*. Vol. 157, pp. 014007-014011.
4. Parkhomenko, Yu.N., Belogorokhov, A.I., Blied, A.P., Sozanov, V.G., Magkoev, T.T. (2013). The Properties of Nanosized Silicon Prepared by Plasmochemical and Electrolytic (HCl: HF: C₂H₅OH) Techniques. *Nanoscience and Nanoengineering*. Vol. 1, pp. 51-56.

The paper was submitted 14.06.15.

