

DOI 10.35264/1996-2274-2021-2-84-89

ОБЗОР НЕКОТОРЫХ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И НАНОТЕХНОЛОГИЙ В РАМКАХ ГРАНТОВ ПРЕЗИДЕНТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ВЕДУЩИМ НАУЧНЫМ ШКОЛАМ

Д.В. Беликов, нач. отдела ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. техн. наук, belikovdi@extech.ru
Э.С. Шишкин, зам. нач. отдела ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. техн. наук,
shishkines@extech.ru

Рецензент: А.А. Остроушко

В статье приведен обзор некоторых перспективных направлений исследований и разработок в области материаловедения и нанотехнологий и основных полученных научных результатов, проводимых коллективами ведущих научных школ России, которые в 2021 г. получили гранты Президента РФ.

Ключевые слова: Федеральный реестр экспертов, новые материалы, нанотехнологии, конструкционные материалы, алюминиевый сплав, титановый сплав, цементасфальтобетон, композиционные материалы, сверхвысокомолекулярный полиэтилен, петровит, халамишит, функциональные материалы, магнетоплазмонный кристалл, покрытия, твердый электролит, флуорофор, хемосенсор, самосборка, супрамолекулярная система, сверхпроводимость, сетевая нейросистема, нейронная активность, медицинская спинтроника, гетероструктуры, биосенсор.

REVIEW OF SOME PROMISING AREAS OF RESEARCH IN THE FIELD OF NEW MATERIALS AND NANOTECHNOLOGIES WITHIN THE FRAMEWORK OF THE GRANTS OF THE PRESIDENT OF THE RUSSIAN FEDERATION TO THE LEADING SCIENTIFIC SCHOOLS

D.V. Belikov, Head of Department, SRI FRCEC, Doctor of Engineering,
belikovdi@extech.ru

E.S. Shishkin, Deputy Head of Department, SRI FRCEC, Doctor of Engineering,
shishkines@extech.ru

The article provides an overview of some promising areas of research and development in the field of materials science and nanotechnology and the main scientific results obtained by the teams of the leading scientific schools of Russia, which received grants from the President of the Russian Federation in 2021.

Keywords: Federal Roster of Experts, new materials, nanotechnology, structural materials, aluminum alloy, titanium alloy, cement-asphalt concrete, composite materials, ultra-high molecular weight polyethylene, petrovit, halamishite, functional materials, magnetoplasmonic crystal, coatings, solid electrolyte, fluorophore, chemosensor, self-assembly supramolecular system, superconductivity, networkneurosystem, neural activity, medical spintronics, heterostructures, biosensor.

Согласно Указу Президента РФ от 09.02.2009 № 146 «О мерах по усилению государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов и докторов наук» ФГБНУ НИИ

РИНКЦЭ в 2021 г. выполнял работы по организационно-техническому и информационно-сопровождению экспертизы отчетов получателей грантов.

В рамках научных школ по грантам Президента РФ экспертиза 15 проектов из 50 победивших в конкурсе проводилась по направлению материаловедения и нанотехнологий. В экспертизе результатов участвовали 44 ученых специалистов Федерального реестра экспертов научно-технической сферы.

В области *конструкционных материалов* ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет» проводит теоретические и экспериментальные исследования процессов формоизменения листовых, трубных и прутковых заготовок при разных условиях. Разработан ряд математических моделей для расчета напряжений, силовых режимов, повреждаемости материала заготовки. На основе полученных соотношений выполнены расчеты напряжений и силы изотермической вытяжки для алюминиевого и титанового сплавов при температуре обработки 450 и 930 °С соответственно [1]. Разработанные технологии на основе предлагаемых способов получения оболочек из листовых заготовок квадратной формы позволяют экономить до 30 % листового материала и снизить себестоимость продукции до 25 % и более.

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова» проводит исследования по повышению эффективности цементаасфальтобетона за счет модификации алюмосиликатным техногенным сырьем пирогенного происхождения в виде топливных зол различного состава и морфологии. Использование топливных зол в качестве активной минеральной добавки в составе цемента и модификатора в составе битумной эмульсии позволит получать материалы для устройства конструктивных слоев дорожных одежд с требуемыми эксплуатационными свойствами при снижении расхода цемента и модификаторов битумных пленок.

Для получения высокопрочных и износостойких полимерных композитов Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения РАН в рамках гранта научной школе исследовал механические и триботехнические характеристики композиций на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) с различным исходным размером полимерного порошка, наполненных рубленым стекловолокном, функционализированным силансодержащим модификатором. Разработана технология получения износостойких композитов на основе СВМПЭ с добавлением микроволокон волластонита, обработанных различными силановыми связующими агентами. Показано [2], что механические свойства композитов на основе СВМПЭ, наполненных различным количеством волластонита (7–23 вес. %), возрастают: модуль упругости – в 1,8 раза и предел текучести – в 1,3 раза. Пропитка (аппретирование) волластонита может дополнительно повышать предел текучести на 9 % – с 23,2 до 25,4 МПа – при максимальном содержании волластонита 23 вес. %.

Также исследовано повышение износостойкости СВМПЭ путем введения углеродных волокон различной размерности (нано-, микро-, миллиметровая) в широком интервале нагрузок и скоростей трибонагружения. Исследования послужат формированию научных основ технологий получения полуфабрикатов и изделий для применения в передовых отраслях промышленности, включая арктическое материаловедение, авиакосмическую отрасль и медицину.

В ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет» проводятся *структурные исследования минералов* и их аналогов в широком интервале температур и давлений, исследования по созданию новых функциональных материалов на основе уникальных характеристик природных материалов. На Камчатке открыт новый минерал петровит, $\text{Na}_{10}\text{CaCu}_2(\text{SO}_4)_8$ (рис. 1), названный в честь кристаллографа, профессора СПбГУ Томаса Георгиевича Петрова. Данный минерал имеет хорошие перспективы как материал с ионной Na-проводимостью и может стать многообещающей структурой для ионной проводимости и катодного материала в ионно-натриевых батареях.



Рис. 1. Новый минерал петровит – $\text{Na}_{10}\text{CaCu}_2(\text{SO}_4)_8$

Изучена кристаллическая структура редкого эксгалационного минерала кнасибфита – $\text{K}_3\text{Na}_4(\text{SiF}_6)_3(\text{BF}_4)$; оксидбисмутомикролита – нового минерала из сверхгруппы пирохлора, найденного в Центральном Забайкалье (Россия); техногенного стеклита, $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$.

Открыт новый минерал халамишит, фосфид никеля – Ni_5P_4 . Синтетический аналог халамишита активно используется в области электро- и фотокаталитических приложений [3].

В Ковдорском массиве Мурманской обл. (Кольский регион) открыт новый минеральный вид манаевит-(Ce) с весьма сложной структурой.

Изучены твердые растворы и термические деформации в аминокислотных системах «L-аланин – L-серин». Аминокислоты являются активными компонентами многих биологических, геологических и технологических процессов, в связи с чем полученные результаты представляют собой значительный интерес.

Изучены термические деформации ряда синтетических минералоподобных боратов с перспективными люминесцентными свойствами.

Полученные данные могут быть использованы в изучении генезиса минеральных месторождений.

Новые фотонные материалы для сверхбыстрого управления светом

В ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» в международном коллективе ученых технологией электронно-лучевой литографии и гальванопластики изготовлены образцы магнитоплазмонных кристаллов – одномерные никелевые различной высоты модуляции в диапазоне от 90 до 170 нм, метаповерхности и гибридные структуры (рис. 2). Проведена их характеристика методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) [4].

В ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет» успешно исследуются фото-процессы в гибридных наноструктурах для квантовых сенсоров нового поколения. В рамках гранта в 2020 г. коллективом ведущей научной школы выполнен большой объем экспериментальных исследований в области создания гибридных наноструктур с плазмон-экситонным взаимодействием из квантовых точек Ag_2S , $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$, красителей и наночастиц серебра и золота и определения их областей поглощения и фотолюминесценции с использованием широкого спектра современных экспериментальных методик. Установлены причины сдвигов в спектрах поглощения и спектров фотолюминесценции, обнаружены нелинейные оптические свойства у ряда синтезированных наноструктур и квантовых точек.

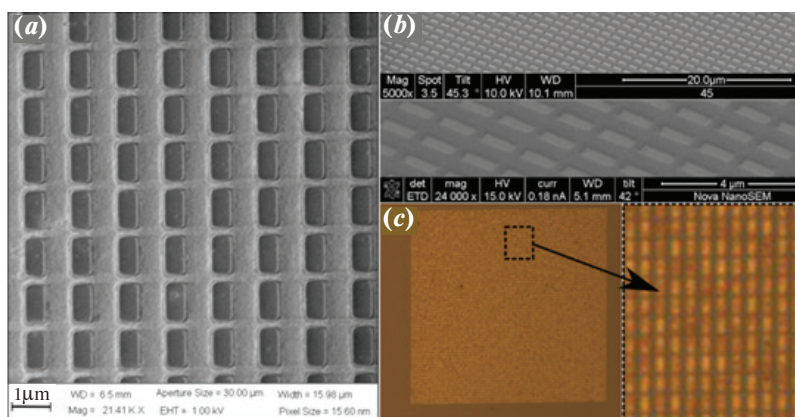


Рис. 2. Изображения гетероструктур, изготовленных из полупроводниковых материалов:

- a) структура на основе Ge в растровом электронном микроскопе (РЭМ);
- b) структура на основе GaAs в РЭМ;
- c) структура на основе GaAs в оптическом микроскопе

Функциональные материалы и нанокompозиты для энергетики

Современный интерес к исследованиям и разработке твердых электролитов для аккумуляторных систем диктует необходимость оценки их электрохимической стабильности в широком диапазоне потенциалов. Металлический литиевый электрод вызывает серьезные опасения, такие как чрезвычайно высокая реакционная способность и неоднородное игольчатое электроосаждение, что ограничивает его широкое применение в качестве отрицательного электрода во вторичных батареях.

В ФГБОУ ВО «МГУ им. М.В. Ломоносова» исследовали электрохимическое восстановление стеклокерамического электролита $\text{Li}_{1,5}\text{Al}_{10,5}\text{Ge}_{1,5}(\text{PO}_4)_3(\text{LAGP})$ с помощью рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии *in situ* [5].

Функциональные наноразмерные системы

ФГБОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» совместно с Институтом органического синтеза УрО РАН и зарубежными коллегами проводит исследования по синтезу производных азариленов, азапиренов и родственных структур (рис. 3) в качестве перспективных лигандов для N,C-металлирования и флуорофоров/хемосенсоров, например для обнаружения распространенных нитровзрывчатых компонентов [6]. Полученные результаты подтверждают перспективность поиска новых материалов как основы для одно-/двухфотонного фотовозбуждения для оснащения устройств линейной и нелинейной оптики. Такие материалы широко используются в устройствах молекулярной электроники, сенсорике, фотовольтаике, в лазерной технике и других областях, включая биомедицину и регенеративную медицину [7].

В ФГБОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» были получены результаты по синтезу и изучению самосборки производных циклофанов (п-трет-бутилтиакаликс[4]арены и пиллар[5]арены), которые открывают перспективы по изучению функций супрамолекулярного содействия синтезу наноразмерных систем, а также по созданию новых материалов с заданными свойствами на основе полианилинов, допированных циклофанамми. Результаты исследований открывают возможности для создания новых органо-неорганических каталитических и антибактериальных наноматериалов на основе ассоциатов циклофан-катионов металлов [8], перспективных «мягких» супрамолекулярных систем для адресной доставки лекарственных средств, систем распознавания сложных биологических объектов, таких как нуклеиновые кислоты и белки.

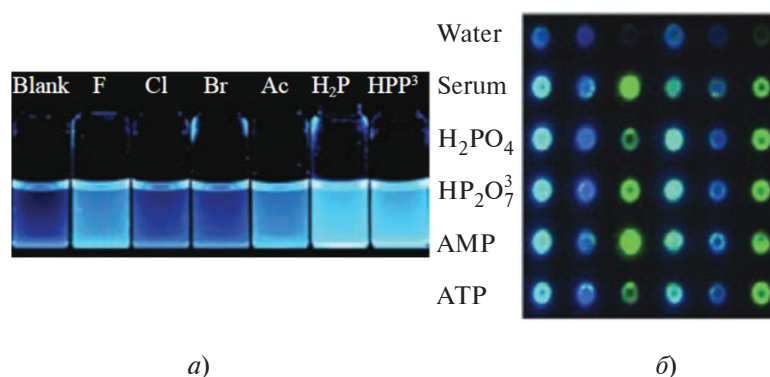


Рис. 3. Кристаллические структуры хемосенсоров:

а) изменение флуоресценции хемосенсора в присутствии анионов в водных растворах под ультрафиолетовым излучением; б) качественные изменения флуоресценции полиуретановой матрицы, легированной хемосенсорами, после добавления сыворотки человека и сыворотки с добавленными анионами (Wiley-VCH, Weinheim)

В 2020 г. АНО ВО «Сколковский институт науки и технологий» была достигнута комнатная сверхпроводимость, правда, эти рекорды были получены для экзотических гидридов при очень высоких давлениях. Открыто экзотическое соединение ВаН₁₂, додекагидрид бария, – уникальный молекулярный гидрид с металлической проводимостью, который демонстрирует сверхпроводящий переход около 20 К при 140 ГПа. Результаты опубликованы в престижнейшем журнале Nature Communications [9].

Одна из рекордных сверхпроводимостей обнаружена у гидрида лантана – LaН₁₀. Российской группой ученых изучены чистый La и его свойства под давлением. Подтверждена сверхпроводимость, хотя при гораздо меньших температурах, чем в LaН₁₀.

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» исследует фундаментальные аспекты и приложения *нелинейной динамики сетевых нейросистем* для разработки мультимасштабных многокомпонентных нейросетевых динамических систем [10]. Прикладной аспект работы составляет разработка технологий киберфизических систем управления, способных формировать сетевые многомерные сигналы (команды) для робототехнических устройств. Осуществлено управление экзоскелетным роботом с помощью человеко-машинного интерфейса на основе детектирования сигналов электроэнцефалограмм.

Новые физико-математические методы, основанные на машинном обучении и рекуррентном анализе, для изучения *нейронной активности человека* при когнитивных процессах разрабатывает АНО ВО «Университет Иннополис». В рамках гранта проводятся исследования по регистрации электрической активности головного мозга человека при выполнении моторных функций: при выполнении реальной моторной функции (сжатие кисти руки в кулак или разжимание кулака) или воображаемой моторной (воображение сжатия/разжатия кисти руки).

Медицинская спинтроника

Институт проблем химической физики РАН проводит исследования [11] взаимодействия магнитных наночастиц Fe в оболочке Fe₃O₄ с магниторезистивными платформами разных типов (на основе CoFeB, платформы NiFe/IrMn, содержащих ферромагнитный и антиферромагнитный слой). Показана возможность бесконтактного обнаружения микрочастиц по измерению нерезонансного микроволнового поглощения, снятому в резонаторе высокой

добротности на сверхвысокой частоте 10–100 ГГц. Устройства на основе гигантского магнетосопротивления (Giant magnetoresistance – GMR) рассматриваются как перспективные устройства, лежащие в основе биосенсоров для экспресс-анализа магнитомеченых клеток.

В целом результаты научных коллективов, победивших в 2020 г. и получающих гранты Президента РФ в рамках научных школ, соответствуют общемировому уровню развития науки и технологий, а по некоторым направлениям даже опережают.

Статья выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания на 2021 г. № 075-00907-21-03.

Список литературы (References)

1. Pasyukov A.A., Larin S.N., Nuzhdin G.A. (2020) Evaluation of possibilities of manufacturing by indirect extrusion of cylindrical box-type products from difficult-to-deform nonferrous alloys. *Non-ferrous Metals*. No 48. P. 49–51.
2. Panin S., Huang Qitao, Alexenko V., Buslovich D., at all. (2020) Design of Wear-Resistant UHMWPE-Based Composites Loaded with Wollastonite Microfibers Treated with Various Silane Coupling Agents. *Applied Science*. 10, 4511; doi: 10.3390/app10134511.
3. Britvin S., Murashko M., Vapnik Ye., at all. (2014) Halamishite, IMA 2013-105. *CNMNC Newsletter* No. 19, February 2014, page 167; *Mineralogical Magazine*, 78. P. 165–170.
4. Novikov I.A., Kiryanov M.A., Nurgalieva P.K., at all. (2020) Ultrafast Magneto-Optics in Nickel Magnetoplasmonic Crystals. *Nano letters* 2020, 20(12). P. 8615–8619.
5. Inozemtseva A.I., Vizgalov V.A., Kapitanova O.O., at all. (2020) In Situ XPS Studies of Solid Electrolyte Electroreduction Through Graphene Electrode. *J. Electrochem. Soc.* 167. 110533 (1–13).
6. Kovalev I.S., Sadiyeva L.K., Taniya, O.S., at all. (2021) Computer vision vs spectrofluorometer-assisted detection of common nitro-explosive components withbola-type PAH-based chemosensors. *RSC Advances*. 11(42). P. 25850–25857.
7. Zyryanov G.V., Kopchuk D.S., Charushin V.N. (2020) Rational synthetic methods in creating promising (hetero)aromatic molecules and materials. *Mendeleev Communications* Sep-Oct 2020, 30 (5). P. 537–554.
8. Padnya P.L., Terenteva O.S., Akhmedov A.A., at all. (2021) Thiocalixarene based quaternary ammonium salts as promising antibacterial agents. *Bioorganic and Medicinal Chemistry*. 29, 115905.
9. Chen W., Semenok D.V., Kvashnin A.G., at all. (2021) Synthesis of Molecular Metallic Barium Superhydride: Pseudocubic BaH₁₂. *Nature Comm.* 12, 273.
10. Rozhnova M.A., Bandenkov D.V., Kazantsev V.B., Pankratova E.V. (2020) Chaotic brain extracellular matrix dynamics in the presence of periodically changing neuronal firing rate. *Book of abstracts. Chaotic modeling and simulation web conference*. P. 32–33.
11. Koplak O.V., Kunitsyna E.I., Allayarov, R.S., at all. (2020) Magnetization Reversal of Ferromagnetic CoFeB Films and CoFeB/Ta/CoFeB Heterostructures in the Stray Field of Fe/Fe₃O₄ Nanoparticles. *Journal of Experimental and Theoretical Physics*. 131 (4). P. 607–617.