

ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ И ВНЕДРЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СИСТЕМЫ ВООРУЖЕНИЯ – ВЗГЛЯД ЭКСПЕРТОВ ФЕДЕРАЛЬНОГО РЕЕСТРА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СФЕРЫ

Д.В. Беликов, нач. отдела ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. техн. наук, belikovdi@extech.ru

Е.А. Марышев, зам. дир. центра ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. техн. наук, emarysh@extech.ru

Н.А. Миронов, дир. центра ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, канд. техн. наук, namir@extech.ru

В статье приведены результаты анализа современного развития и перспектив в материаловедении, представлены точки зрения экспертов Федерального реестра научно-технической сферы на проблемы создания и внедрения новых материалов.

Ключевые слова: Федеральный реестр экспертов, новые материалы, нанотехнологии, конструкционные материалы, композиционные материалы, жаропрочные сплавы, углепластики, углеродные материалы, волокна, функциональные материалы, покрытия, атомно-размерная томография, корреляционная микроскопия.

PROBLEMS OF DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF A PROMISING MATERIALS FOR WEAPON SYSTEMS – THE EXPERTS OF THE FEDERAL REGISTER OF SCIENTIFIC AND TECHNICAL SPHERE

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

E.A. Maryshev, Deputy Head of Centre, SRI FRCEC, Doctor of Engineering, emarysh@extech.ru

N.A. Mironov, Head of Centre, SRI FRCEC, Doctor of Engineering, namir@extech.ru

The article presents the results of the analysis of modern development and perspectives of materials science, presenting the point of view of experts of the Federal Roster in scientific and technological sphere on the problems of creation and introduction of new materials.

Keywords: Federal Register of Experts, new materials, nanotechnology, structural materials, composite materials, super alloys, carbon fiber, carbon materials, fibers, functional materials, coatings, atomic-dimensional tomography, correlative microscopy.

Основами принятия государственных решений в научно-технической сфере, как известно, являются прогнозирование и планирование. Одна из основных задач эффективного управления в сфере науки и технологий – это оценка перспективности научного направления. Сделать это сложно в силу многих причин. Огромную роль играет «человеческий фактор» – квалификация, кругозор и научная порядочность экспертов, принимающих участие в разработке приоритетных направлений и оценке научных проектов.

С целью привлечения ведущих ученых и специалистов для проведения объективных и компетентных экспертно-аналитических исследований в интересах формирования и реализации научно-исследовательских, опытно-конструкторских, технологических и инновационных проектов и программ федерального, регионального и отраслевого уровней, а также по другим актуальным вопросам развития научно-технологического комплекса Российской Федерации в ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ создан и ведется Федеральный реестр экспертов научно-технической сферы (далее – Реестр).

Реестр реализован в виде информационной системы на основе электронной базы данных, содержащей сведения о высококвалифицированных ученых и специалистах в различных областях научно-технологического комплекса и образования – гражданах Российской Федерации и других стран, в том числе соотечественниках, работающих за рубежом [1].

В настоящее время в Реестре аккредитовано около 4100 ученых и специалистов, включая 100 академиков российских академий наук и 178 членов-корреспондентов. Более 80% экспертов имеют ученую степень доктора наук. Около 400 вузов и более 500 научных организаций представлены в Реестре. Экспертное сообщество формируется из представителей всех федеральных округов Российской Федерации и зарубежных ученых. Эксперты участвуют в разработке предложений по приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники, одним из которых, развиваемых в том числе и в интересах Военно-промышленного комплекса, является направление «Новые материалы и нанотехнологии».

Развитие данной области стимулирует растущий спрос на новые материалы, обусловленный, с одной стороны, истощением сырьевых ресурсов, а с другой – активным внедрением нанотехнологий в производство изделий с принципиально новыми свойствами.

Актуальность и динамика исследований и разработок в области нанотехнологий наглядно представлены на рис. 1 и 2 [2]. По числу публикаций первое место занимает Китай, затем следуют США, Индия, Южная Корея. Россия по результатам 2015 г. находится на 10 месте, за последние 9 лет в три раза увеличилось количество статей по нанотехнологиям, проиндексированных в ISI (Web of Science).

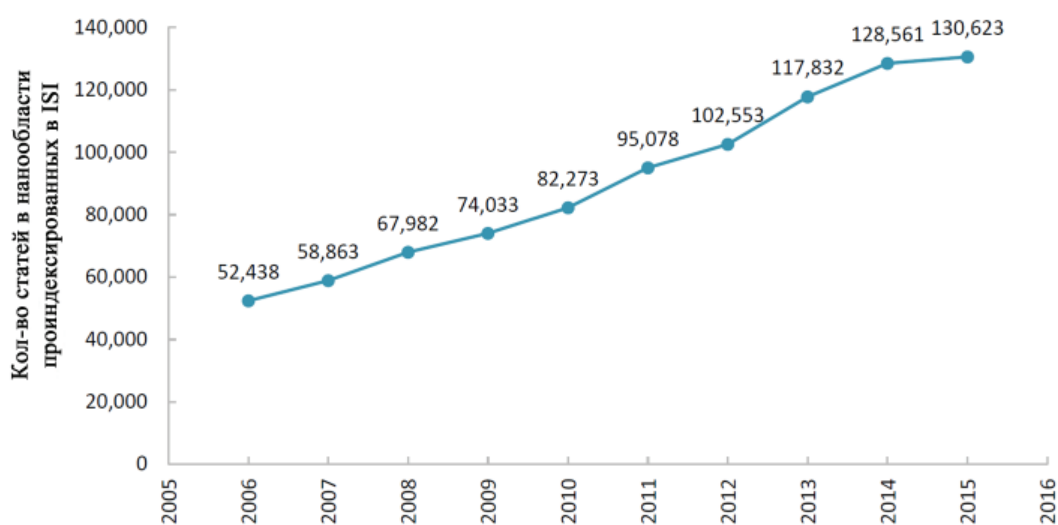


Рис. 1. Количество проиндексированных в ISI nano-статей за 2006–2015 гг.
Источник: Web of Science (ISI Web of Knowledge)

По патентованию за 2015 г. Европейским патентным ведомством в области нанотехнологий США занимают первое место (421 патент), далее следуют Германия (229 патентов), Франция (152 патента), Япония (131 патент). Россия, в 2014 г. занимавшая 25-е место, в 2015 г. переместилась на 32-е (3 патента).

По патентованию за 2015 г. Американским ведомством по патентам и товарным знакам в области нанотехнологий США занимают первое место (4365 патентов), далее следуют Япония (902 патента), Южная Корея (839 патентов), Тайвань (500 патентов), Китай (393 патента). Россия занимает 34-е место (3 патента).

По соотношению патентов в области нанотехнологий, предоставленных или опубликованных в USPTO (United States Patent and Trademark Office), EPO (European Patent Office) или DPMA (German Patent and Trade Mark Office), на 100 статей, опубликованных в 2015 г., на первом месте находятся США, далее – ЮАР и Тайвань с коэффициентами 42,8; 37,5 и 33 соответственно. Россия – на 45 месте с коэффициентом (1 патент на 100 статей).

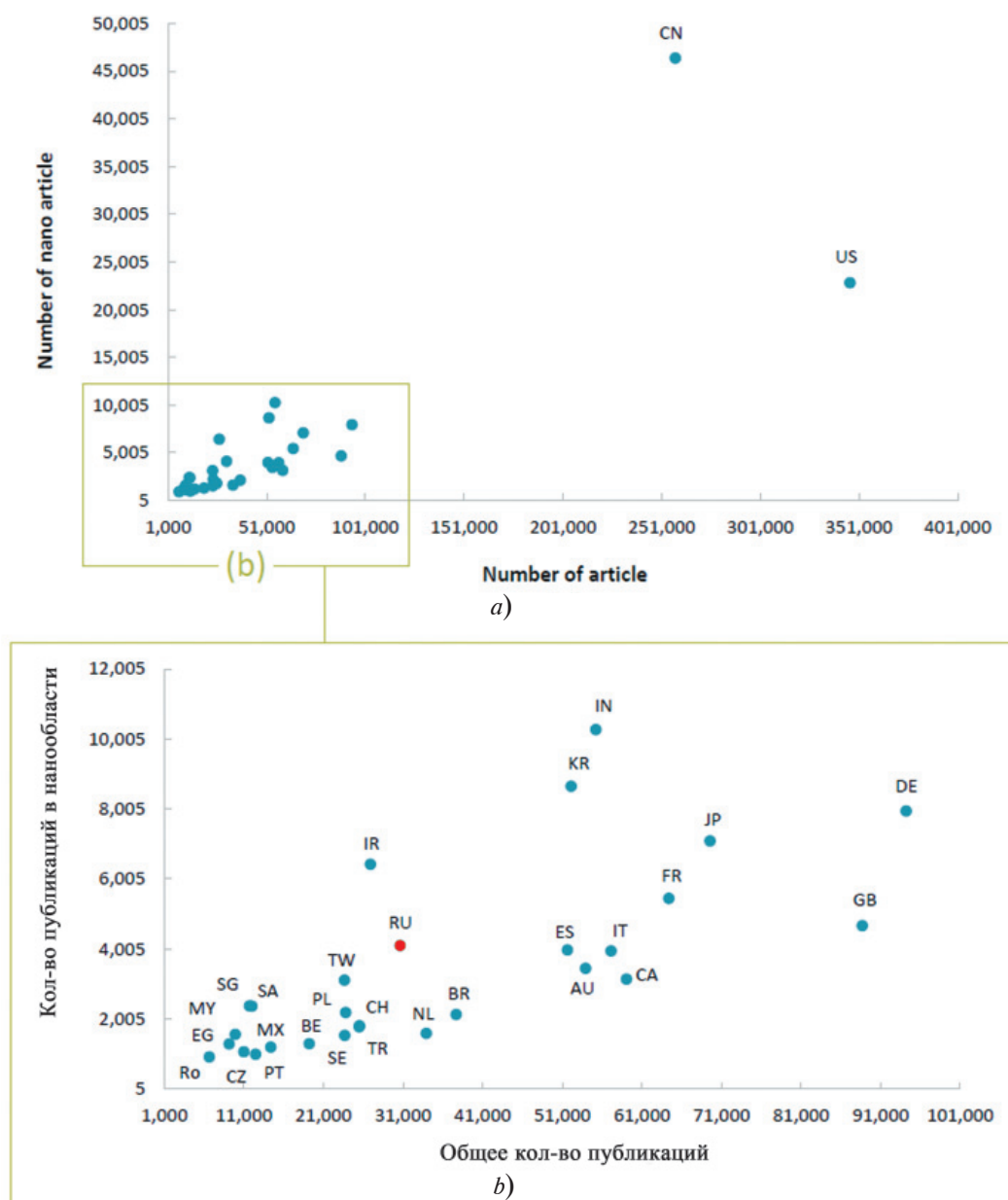


Рис. 2. Количество публикаций в области нанотехнологий и публикаций из всех научных областей для ведущих стран в 2015 г.

Из приведенных на рис. 3 данных видно, что наиболее активными областями патентования являются: нанотехнология для обработки, хранения и передачи информации и нанотехнология материалов.

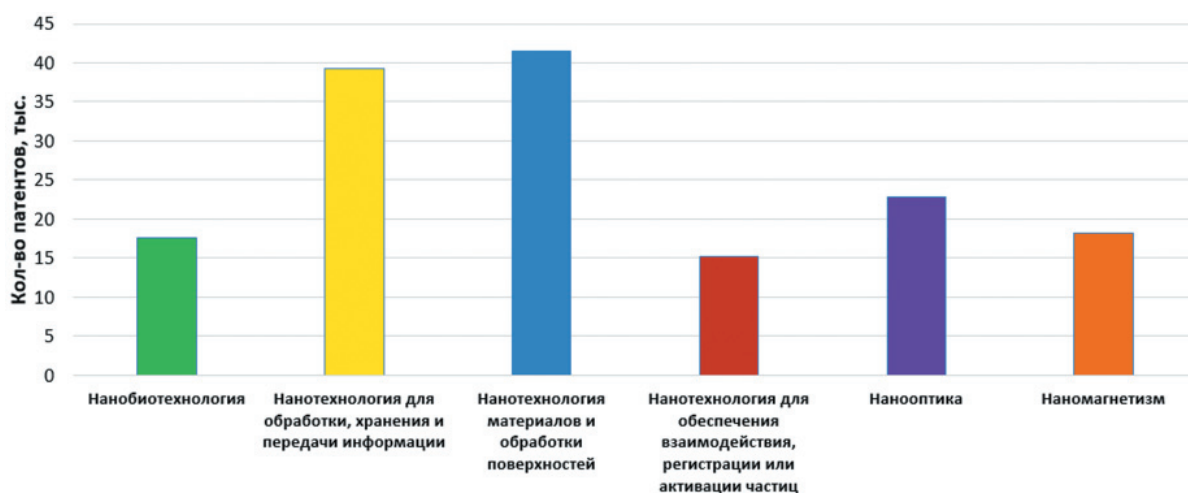


Рис. 3. Статистика патентования по областям нанотехнологий

В рамках Государственного задания ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ с использованием материалов, подготовленных экспертами Реестра, в настоящий момент готовятся аналитические документы по проводимым научным исследованиям и создаваемым перспективным технологиям в интересах обороны и безопасности в развитых зарубежных странах.

При всей широте направлений материаловедения в небольшом обзоре охватить весь спектр и круг проблем довольно сложно. В статье рассмотрены актуальные направления в области конструкционных и функциональных материалов, а также диагностических систем.

Конструкционные материалы

По мнению экспертов Федерального реестра, в настоящее время развитие авиакосмической и специальной техники чрезвычайно остро поставили проблему создания конструкционных материалов, работоспособных при аэродинамическом нагреве высокоскоростными потоками воздуха до температур 2000–2500 °С.

Традиционные высокотемпературные материалы на основе Cf/C-, Cf/SiC- и Cf/C-SiC-компози́тов не выдерживают столь жесткого воздействия и надежно работоспособны лишь до 1800–1900 °С. Поэтому большую остроту и актуальность приобрела проблема создания ультравысокотемпературных материалов на основе тугоплавких боридов металлов, поскольку эти материалы благодаря своей высокой теплопроводности стали рассматриваться как перспективные для создания наиболее термонагруженных деталей гиперзвуковых летательных аппаратов.

Признанными лидерами в исследованиях по тематике, связанной с ультравысокотемпературными материалами $ZrB_2(HfB_2)/SiC$ являются несколько скоординированно работающих организаций в странах Евросоюза (преимущественно Италии), США (NASA) и большое сообщество организаций в КНР, в том числе ориентированных на создание антиокислительных покрытий состава $ZrB_2(HfB_2)/SiC$ (иногда с добавками сверхтугоплавких карбидов) для Cf/C, Cf/SiC и Cf/SiC-Si-материалов. В этих странах предлагаются новые подходы к улучшению характеристик ультравысокотемпературных материалов, разрабатываются новые технологические подходы (рис. 4).

Факторами сдерживания в разработке подобных материалов в Российской Федерации являются недостаточная оснащенность соответствующим технологическим оборудованием, отсутствие на территории страны производства исходных порошков для ультравысокотемпературных керамик, недостаточное количество производств, выпускающих химически чистый карбид кремния.

Проблема создания нового поколения жаропрочных материалов является одной из основных и при создании газотурбинных двигателей для авиационной техники и энергетики.

В настоящее время основным материалом для изготовления наиболее нагруженных деталей турбины – турбинных лопаток двигателей 4-го поколения являются сложно легированные сплавы на основе системы Ni-Al, температура плавления которых составляет около 1400°С.

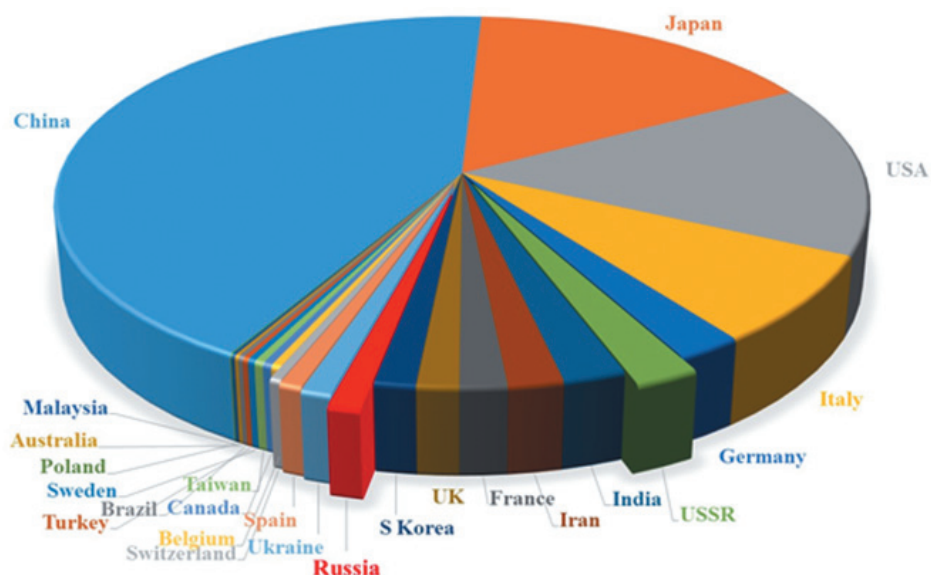


Рис. 4. Распределение публикаций по ультравысокотемпературным материалам УНТС по странам (данные получены с применением информационно-поисковой системы SciFinder, STN International, декабрь 2015 г.)

Решением проблемы повышения температуры в двигателях новых поколений является задача создания новых более тугоплавких жаропрочных сплавов для изготовления турбинных лопаток и других деталей. В этой связи, считают эксперты, значительный интерес представляют сплавы на основе тугоплавких металлов ниобия и молибдена, упрочненных их силицидами (системы Nb-Si и Mo-Si), способные работать при более высоких температурах, чем сплавы на никелевой основе.

Наибольших успехов в этом направлении достигли США, где исследования были начаты в 90-е годы. На основе системы Nb-Si разработан метод направленной кристаллизации в высокотемпературной области, материалы для изготовления соответствующей оснастки, антикоррозионные покрытия; запатентован жаропрочный и жаростойкий материал MASC (Metal and Silicide Composite).

Значительные успехи достигнуты в Европейском Союзе в рамках проекта ULTMAT (Ultra high Temperature Materials for Turbines). Разработки проводились как на сплавах системы Nb-Si, так и системы Mo-Si. В результате разработана порошковая технология изготовления различных деталей газотурбинного двигателя из нового сплава 44Nb-23 Ti-4Hf-6Al-3Cr-20Si, более жаропрочного, чем MASC.

Перспективны и важны фундаментально-прикладные исследования по созданию конструкционных изделий специального назначения из армированных полимерных композиционных материалов: однонаправленных углепластиков на основе эпоксидной матрицы (достигнута прочность при растяжении – 2500 МПа, модуль упругости – 180 ГПа, температура

стеклования – 210 °С), углепластиков на олигоимидных связующих (достигнуты прочность при растяжении – 950 МПа, модуль упругости – 200 ГПа, температура стеклования – 415 °С), органических полимеров.

Дальнейшее улучшение прочностных характеристик углепластиков связано с повышением прочности волокон. Ведущими производителями углеродного волокна являются компании Cytec Carbon Fibers LLC (США); Hexel Corporation (США); Toray Carbon (США); Tenax Fiber GmbH (Германия); Soficar (Франция). В России достигнуты значения прочности при растяжении углеродных волокон в 2,5 ГПа, а в Японии – 6 ГПа.

По мнению экспертов, углеродные конструкционные материалы со специальной архитектурой с высокой термостабильностью до 2500 °С и прочностью 300–400 МПа могут появиться до 2020–2025 гг.

Функциональные материалы

Важная составляющая электронной компонентной базы (ЭКБ) – современные полупроводниковые материалы. Отсутствие отечественных чистых материалов является одной из важнейших причин многолетней глубокой зависимости российской электронной промышленности от зарубежной.

Решение данной проблемы на длительную перспективу путем закупки импортных материалов недальновидно и опасно. Применяя импортные материалы, отечественные разработчики ЭКБ используют уже освоенную серийно выпускаемую за рубежом продукцию как минимум трех–пятилетней давности разработки, часто низших сортов. Невысокий уровень качества доступных материалов, ограничивает возможности российских производителей по разработке современных и перспективных радиоэлектронных устройств и систем, порождает недоверие к возможностям отечественной промышленности.

Вместе с тем, предел традиционных вычислительных мощностей, связанный с ограничением механизма электронного транспорта в современных полупроводниковых материалах заставляет искать новые методы и пути развития ЭКБ. Известны, например, методы замещения традиционных материалов на углеродные (графены, нанотрубки, алмазы), а также методы, направленные на использование новых принципов функционирования: квантовый компьютеринг, реализация нейроподобных сетей и систем с адаптивной логикой. Международные промышленные гиганты, такие как IBM, Intel, Hexcel, Samsung, NEC Corp., Renault, Yonex, EcoloCap Solutions, и Hunstman Corp. разрабатывают варианты текущего и будущего применения углеродных нанотрубок для различных отраслей промышленности [4].

Перспективным направлением в области функциональных материалов является разработка новых полимерных электролитов для систем хранения и накопления энергии. Твердые полимерные электролиты применяются в электрохромных дисплеях и аккумуляторах, которые уже сегодня при равной мощности в пять раз по массе и в три раза по размеру меньше свинцовых аккумуляторов.

Судя по темпам развития промышленного производства полимерных аккумуляторов, в течение 20–30 лет они заменят значительную часть аккумуляторов с жидким электролитом в системах автономного питания.

Основным фактором, сдерживающим развитие работ в настоящее время в России, является отсутствие систематических исследований, позволяющих найти оптимальный состав и структуру твердых полимерных электролитов. Для разработки новых электролитов необходимы теоретические исследования механизма ионного транспорта, основанные на современных представлениях гидродинамики неоднородных сред.

Функциональные покрытия

Борьба с обледенением летательных аппаратов (ЛА) является одной из приоритетных задач при создании новой авиационной техники.

По современным представлениям, задача создания антиобледенительных покрытий (АОП) на больших площадях связана с получением ультрагидрофобных покрытий с наноразмерным масштабом шероховатости и высокой адгезионной прочностью. Также рассматриваются перспективы создания покрытий, самоочищающихся от загрязнений, основанных на аналогичных принципах.

Основным фактором, сдерживающим развитие работ в России в настоящее время, является отсутствие систематических исследований, позволяющих найти оптимальный состав рабочих растворов для получения АОП. Ускорение работ может быть достигнуто за счет теоретического и экспериментального исследования строения и свойств коллоидных растворов и гелей амфифильных олигомеров.

Рассматриваются возможности применения АОП для наземных объектов военной техники в неблагоприятных погодных условиях, возможности создания многофункциональных покрытий, в которых АОП сочетаются с другими покрытиями, в частности радиопоглощающими (РПП).

Поиск новых материалов и геометрических форм объектов, снижающих эффективную площадь рассеяния в сантиметровом и дециметровом диапазоне, является непреходящей задачей электродинамики и материаловедения, конкурирующей с развитием методов радиолокационного обнаружения.

В области диэлектрических РПП работы в Российской Федерации опережают аналогичные работы за рубежом, однако в области магнито-диэлектрических РПП отставание составляет около 10 лет.

Основным фактором, сдерживающим развитие работ по магнито-диэлектрическим РПП в России в настоящее время, является отсутствие методов получения и систематического исследования сложных частиц наполнителя, состоящих из нескольких наноразмерных слоев (наноразмерных композитов).

Новые научные данные о свойствах наноразмерных магнитных частиц с высокой проницаемостью открывают принципиальную возможность создания РПП нового поколения. Такие работы активно проводятся ведущими научными лабораториями и фирмами, занимающимися оборонным заказом за рубежом.

Необходимо разработать аналогичную программу в России, чтобы устранить наметившееся отставание в области снижения радиолокационной заметности объектов военной техники, в первую очередь ЛА и БПЛА нового поколения.

Диагностика материалов

Основная цель развития направления диагностики материалов – это интегрирование новейших диагностических систем в технологические линии (нанофабрики), которые будут заниматься сборкой, модифицированием и синтезом новых материалов и приборов из отдельных атомов, молекул и групп атомов (кластеров), а диагностические системы позволят контролировать технологические процессы, устранять возникшие проблемы и способствовать разработке новых технологий.

Важнейшим научно-технологическим направлением развития диагностики материалов является атомно-размерная томография, позволяющая проводить чувствительный элементный (химический) анализ наноразмерных объектов с высоким пространственным разрешением.

Другим направлением развития является разработка методов корреляционной микроскопии (Correlative Microscopy). Важнейшее направление: разработка новых остросфокусированных источников ионов, например, на базе лазерных источников с магнито-оптическими ловушками (Laser Ion Source using Magneto-Optical Trap). Созданы низкоэнергетические (менее 10 кэВ) источники ионов гелия, обеспечивающие минимальный диаметр ионного пучка около 0,25 нм – серийно выпускаемые ионные микроскопы ORION (Carl Zeiss) [4].

Пока атомоскопы и приборы для корреляционной микроскопии не выпускаются серийно, но многие университеты, научные центры и фирмы проводят экспериментальные исследования в этом направлении (Институт науки и технологии в Люксембурге – ведущее положение; Университет Базеля в Швейцарии; фирма SPECS; фирма Camesa; фирма IONTOF; фирма Carl Zeiss; фирма FEI). Следует заметить, что в России исследования и разработки в области атомно-размерной томографии, масс-спектрометрии вторичных ионов и корреляционной микроскопии не ведутся.

Необходимо отметить, что проблемы эффективности государственного сектора науки являются схожими во многих странах. В разных странах государственные лаборатории и институты страдают общими болезнями, такими как старение персонала, размытость целей и самоизолированность от внешнего научного мира. Уровень развития научных результатов в стране и их внедрение определяется технической политикой. Тематикой перспективных материалов одновременно занимается множество организаций, зачастую конкурирующих между собой, что затрудняет решение единой задачи.

Эксперты констатируют отсутствие координации и обмена информацией по исследованиям, проводимым в различных академических, отраслевых и производственных организациях.

Остается нерешенной и проблема недостаточной оснащенности технологическим оборудованием (например, горячими прессами, установками искрового плазменного спекания, которые производятся в большинстве за рубежом, и т. п.).

Сосредоточение в едином центре современного аналитического контроля и эффективного малотоннажного производства полупроводниковых и иных материалов, применяемых в ЭКБ, позволит обеспечить эффективность сквозного контроля ввозимых материалов и качество отечественных материалов для повышения выхода годных приборов и снижения риска финансовых и технологических потерь. Это позволит эффективно реализовать идеологическое единство действий, направленных на максимальное снижение импортозависимости отечественной радиоэлектронной промышленности.

При этом относительно низкий, а в основном и недостаточный уровень финансирования приоритетных направлений научных исследований и технологических разработок в Российской Федерации может привести к необратимым негативным последствиям в определении места России в мировом инновационном процессе [5].

Соответственно, для ускорения работ требуется организовать координацию исследований всех заинтересованных организаций, решить вопрос с оснащенностью, в первую очередь, технологическим оборудованием (либо организовать загрузку имеющихся мощностей в одной организации задачами другой, что повысит уровень осознания взаимных проблем), организовать в России производство (либо поддержать организующиеся в настоящее время) химически чистых исходных материалов, порошков сверхтугоплавких карбидов и высокодисперсных оксидов, организовать исследовательские лаборатории, позволяющие на современном уровне испытывать материалы под воздействием высокоэнтальпийных потоков воздуха, изучать особенности изменения состава и микроструктуры при окислении данных материалов.

Эксперты полагают, что основным фактором сдерживания (в целом в России) является отсутствие единого руководства в сфере материаловедения, которое по своей квалификации было бы способно взять на себя ответственность за решение всего комплекса задач.

Статья подготовлена по материалам научно-исследовательской работы, выполненной ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ по заданию № 2.39.2016/НМ Министерства образования и науки России на выполнение работ в рамках государственного задания в сфере научной деятельности.

Список литературы

1. Положение о Федеральном реестре экспертов научно-технической сферы. Available at: <https://reestr.extech.ru/docs/polojhenie.php>.
2. Available at: <http://statnano.com>.
3. «Разработка экспертно-аналитических, научно-методических и информационных материалов в тематической области «Новые материалы и нанотехнологии» государственной программы Российской Федерации «Развитие науки и технологий» с привлечением экспертного сообщества». Научно-технический отчет, г. Москва, 2013 г. Государственная регистрация № 01 201 365535. Место хранения – ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, инв. № 538. Зарегистрирован в Единой государственной информационной системе учета НИОКР. Available at: www.rosrid.ru.
4. Аналитические материалы по управлению, финансированию и перспективам развития сферы науки и технологий за рубежом в приоритетном направлении научно-технологического развития «Новые материалы и индустрия наносистем». Научно-технический отчет, г. Москва, 2015 г. Государственная регистрация № 115062510025. Место хранения – ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, инв. № 603. Зарегистрирован в Единой государственной информационной системе учета НИОКР. Available at: www.rosrid.ru.
5. Беликов Д.В., Марышев Е.А., Миронов Н.А. Анализ особенностей финансирования научных исследований и разработок в развитых странах / М.: Иноватика и экспертиза: науч. тр. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ. Вып. 2 (15), 2015.

References

1. *Polozhenie o Federal'nom reestre ekspertov nauchno-tekhnicheskoy sfery* [The Regulations on the Federal Roster of Experts of scientific and technological sphere]. Available at: <https://reestr.extech.ru/docs/polojhenie.php>.
2. Available at: <http://statnano.com>;
3. (2013) *Razrabotka ekspertno-analiticheskikh, nauchno-metodicheskikh i informatsionnykh materialov v tematicheskoy oblasti «Novye materialy i nanotekhnologii» gosudarstvennoy programmy Rossiyskoy Federatsii «Razvitie nauki i tekhnologii» s privlecheniem ekspertnogo soobshchestva». Nauchno-tekhnicheskij otchet, g. Moskva, 2013 g. Gosudarstvennaya registratsiya No. 01 201 365535. Mesto khraneniya – FGBNU NII RINKTsE, inv. No. 538. Zaregistririvan v Edinoy gosudarstvennoy informatsionnoy sisteme ucheta NIOKR* [«Development of expert-analytical, scientific-methodical and information materials in the thematic area “New materials and nanotechnologies” of the State program of the Russian Federation “Development of science and technology” with the involvement of the expert community». Technical report, Moscow, 2013 the State registration number 01 201 365535. The storage location is SRI FRCEC, inv. No. 538. Registered in the Unified State information accounting system of R&D]. Available at: www.rosrid.ru.
4. (2015) *Analiticheskie materialy po upravleniyu, finansirovaniyu i perspektivam razvitiya sfery nauki i tekhnologii za rubezhom v prioritetnom napravlenii nauchno-tekhnologicheskogo razvitiya «Novye materialy i industriya nanosistem». Nauchno-tekhnicheskij otchet, g. Moskva, 2015 g. Gosudarstvennaya registratsiya No. 115062510025. Mesto khraneniya – FGBNU NII RINKTsE, inv. No. 603. Zaregistririvan v Edinoy gosudarstvennoy informatsionnoy sisteme ucheta NIOKR* [Analytical materials concerning the management, financing and prospects of development of science and technology abroad in priority scientific and technological development of «New materials and industry of nano-systems». Technical report, Moscow, 2015, State registration No. 115062510025. The storage location is SRI FRCEC, inv. No. 603. Registered in the Unified State information accounting system of R&D]. Available at: www.rosrid.ru.
5. Belikov D.V., Maryshev E.A., Mironov N.A. (2015) *Analiz osobennostey finansirovaniya nauchnykh issledovaniy i razrabotok v razvitykh stranakh. Moskva. Innovatika i ekspertiza. FGBNU NII RINKTsE* [The analysis of features of financing of scientific research and development in developed countries. Moscow. Innovatics and Expert Examination. SRI FRCEC. Vol. 2 (15).