

# 20 НАУЧНО-УЧЕБНОМУ ЛЕТ ЦЕНТРУ СВС МИСиС–ИСМАН

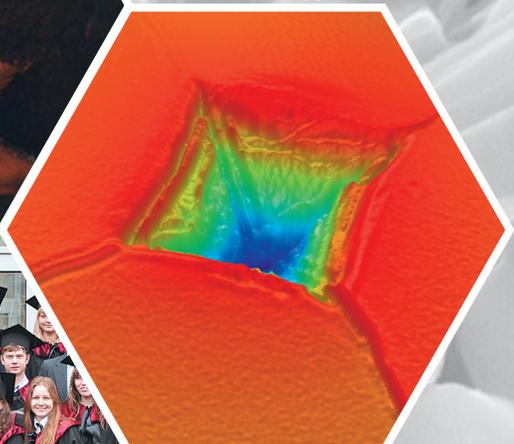
ФИЗИКА ГОРЕНИЯ



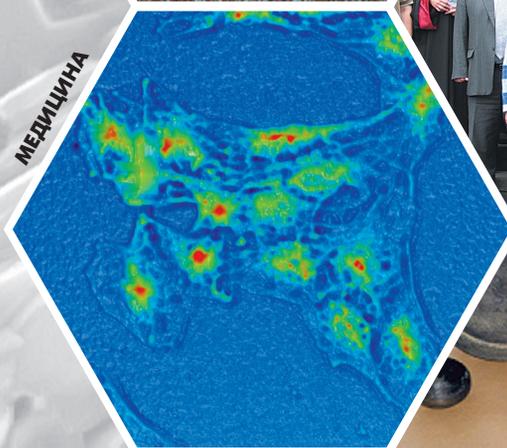
МАКРОКИНЕТИКА



МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ



МЕДИЦИНА



МАШИНОСТРОЕНИЕ



ПОРОШКОВАЯ





научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009—2013 гг. Это лишнее подчеркивает, что в 1989 г. был сделан правильный выбор.

Двадцатилетняя история НУЦ СВС, яркая своими научными достижениями, укрепила его позиции не только в России, но и за рубежом. Сегодня авторитет НУЦ СВС бесспорен, он является признанным в мире мультидисциплинарным научно-образовательным центром по разработке новых материалов (керамика, металлокерамика, интерметаллиды, композиционные и функционально-градиентные материалы, многокомпонентные и многослойные наноструктурированные пленки, твердые трибологические покрытия, коррозионно- и жаростойкие покрытия, многофункциональные биоактивные наноструктурные пленки, самосмазывающиеся покрытия, дисперсно-упрочненные наночастицами материалы и покрытия), технологий их получения (СВС, порошковая металлургия, магнетронное напыление (МН), МН при ассистировании ионной имплантацией, электроискровое легирование (ЭИЛ), терморреакционное электроискровое упрочнение (ТРЭУ), а также по аттестации механических и трибологических свойств и метрологии наноструктурированных поверхностей.

НУЦ СВС выполнял и продолжает участвовать в реализации проектов и грантов международных фондов и программ: CRDF, INTAS, НАТО-Россия, «Эврика», МНТЦ, UK Royal Society, 6-я и 7-я Рамочные программы Евросоюза.

В составе центра сегодня работает более 30 высококвалифицированных сотрудников, включая 6 докторов наук и профессоров, 9 кандидатов наук и доцентов, 12 ИТР, 6 аспирантов, 12 студентов. Сотрудники участвуют в работе диссертационных советов Д 212.132.05 при МИСиС и Д 002.092.01 при ИСМАН, редакционных коллегий журналов «Известия вузов. Цветная металлургия», «Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия», «Цветные металлы», «International Journal of Self-Propagating High-Temperature Synthesis», «Физическая инженерия поверхности», «Металловедение

и термообработка материалов». Участвуют в работе научных советов и комитетов: научный совет РАН по горению и взрыву; международный комитет по функциональным градиентным материалам; Европейский совместный комитет по плазме и инженерии поверхности; международный комитет конференции «Plasma Surface Engineering»; международный комитет по СВС; российско-французский международный комитет «Новые достижения в материаловедении и охране окружающей среды»; международная лаборатория ACSEL (Advanced Coatings and Surface Engineering Laboratory); международный комитет «Metallurgical Coatings and Thin Films», международный комитет Европейской конференции по нанопленкам.

Сотрудниками центра опубликовано более 600 статей в международных и национальных реферируемых журналах, 55 авторских свидетельств и патентов (в том числе 16 международных патентов), 8 книг. Научные группы НУЦ СВС сотрудничают с ведущими исследовательскими центрами США, Канады, Европы, Израиля, Японии, Китая.

В центре ведется учебно-образовательный процесс по специализациям «Структурная макрокинетика» и «Физико-химические основы синтеза неорганических материалов в режиме горения» в рамках специальности 070800, и по специализации «Технологии СВС» в рамках специальности 110800. При этом в учебном процессе активно участвуют ведущие ученые ИСМАН.

НУЦ СВС состоит из следующих структурных подразделений:

- научно-технологический сектор СВС-технологий. Опытно-производственный участок;
- группа механического активирования;
- группа нанопорошковых материалов;
- лаборатория инженерии тонких пленок и покрытий;
- испытательная лаборатория функциональных поверхностей;
- группа импульсных электроискровых процессов модифицирования поверхности;
- учебная лаборатория.

# НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ

- Физикохимия процессов горения, теория самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС).
- Структурная макрокинетика, механизмы формирования структуры продуктов гетерогенных химических реакций в волне горения различных СВС-систем. Механическое активирование экзотермических смесей – как эффективный способ управления кинетикой процесса и свойствами продуктов.
- Разработка и синтез новых классов конструкционных и инструментальных, керамических и металлокерамических материалов, дисперсно-упрочненных наночастицами, дисперсионно-твердеющие сплавы.
- Разработка и синтез наноструктурированных композиционных электродных материалов для процессов электронно-ионно-плазменного и ионно-лучевого распыления, электроискрового импульсного легирования, терморекционного электроискрового упрочнения.
- Физикохимия многофункциональных и функционально-градиентных материалов (ФГМ), в том числе алмазосодержащих, электродных, ударостойких материалов.
- Физика плазмы, теория ионно-плазменных и ионно-лучевых процессов. Ионная имплантация.
- Кинетика и механизм формирования наноструктурных тонких пленок и покрытий (сверхтвердых, биосовместимых, жаростойких, коррозионностойких, оптических, резистивных), полученных методами магнетронного напыления, ионной имплантации, импульсного лазерного осаждения, импульсного электроискрового упрочнения, терморекционного электроискрового упрочнения с использованием композиционных СВС- мишеней и электродов.
- Создание метрологического комплекса и нормативно-методической базы для обеспечения единства измерений механических и трибологических свойств наноструктурированных поверхностей и продукции наноиндустрии.
- Разработка и синтез огнеупорной СВС- керамики металлургического назначения. Исследование закономерностей взаимодействия керамических материалов с металлургическими расплавами. Разработка новых огнеупорных композиций, в том числе для центробежного литья прецизионных сплавов медицинского назначения.
- Разработка и синтез жаропрочных и жаростойких композиционных материалов с интерметаллидной матрицей.

Указанные научные направления носят инновационную направленность и соответствуют приоритетному направлению развития науки, технологий и техники Российской Федерации «Индустрия наносистем и материалы», критические технологии: «Нанотехнологии и наноматериалы», «Технологии создания и обработки кристаллических материалов со специальными свойствами», «Технологии создания композиционных и керамических материалов», «Технологии создания биосовместимых материалов». Указанные направления развиваются от фундаментальных и проблемно-ориентированных НИР через ОКР, изготовление опытных образцов и партий изделий, проведение испытаний, а также маркетинговых и патентных исследований к освоению серийного производства и оказанию научно-консультационных услуг.

# ДОСТИГНУТЫЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

## Теория и практика СВС. Структурная макрокинетика. Механическое активирование экзотермических смесей

Разработаны теоретические модели процессов горения и структурообразования:

■ В критериальной форме для систем типа твердое – жидкость (например, на основе титан-углерод) получено уравнение перехода из диффузионного режима горения к режиму капиллярного растекания. Данное уравнение, подтвержденное экспериментально, связывает теплофизические, гидродинамические, диффузионные параметры системы с составом смеси и дисперсностью исходных реагентов.

■ Модель «конкурентного заполнения» для описания макрокинетических характеристик процессов горения в капиллярно-пористых системах, содержащих расплавы реагента и инертного наполнителя.

■ Модель распространения тепловой и химической волны безгазового горения в многослойных системах.

■ Методом высокоскоростной видеосъемки волны горения впервые установлено, что на микроуровне зона горения представляет собой совокупность очагов-вспышек, обусловленных протеканием химической реакции в отдельных элементарных ячейках, в которых сформировалась реакционная поверхность.

■ Предложен механизм структурообразования керамических и металлокерамических композиций в волне горения различных гетерогенных систем.

■ Установлена взаимосвязь между структурой и свойствами механически активированных порошковых смесей, физико-химическими параметрами реакций горения и структурой продуктов горения. Механическое активирование позволило осуществить СВС в слабо экзотермических смесях, в том числе сильно разбавленных инертным компонентом. Отработаны технологические режимы механического активирования реакционных смесей в системах Ti–Si, Mo–Si, Ti–Cr–C, Ti–B, Ti–BN, Ti–Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, Ti–Cr–B, Cr–B, Mo–B, Ti–Ta–C, Ni–Al.

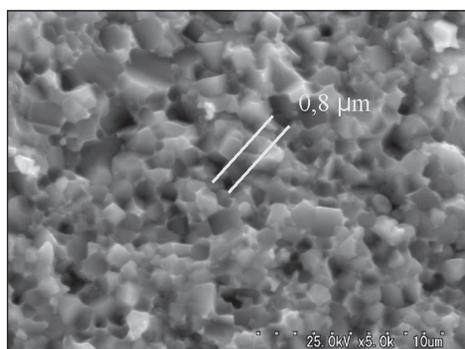
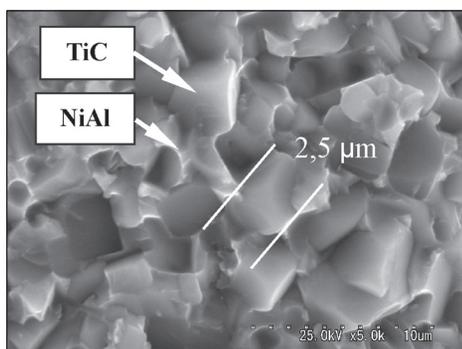
■ Созданы научные принципы управления процессом СВС (элементные синтезы в системах типа твердое–жидкость и фильтрационные синтезы–твердое–газ) с помощью мощных ультразвуковых полей. Показано, что ультразвук является эффективным инструментом для управления структурой и свойствами продуктов синтеза на основе карбидов, боридов, интерметаллидов переходных металлов.

## Новые классы керамических, металлокерамических материалов. Дисперсно-упрочненные и дисперсионно-твердеющие сплавы

Разработаны два типа дисперсно-упрочненных наночастицами объемных конструкционных материалов с эффектом одновременного упрочнения наночастицами карбидных зерен и металлической матрицы:

1. Керамические материалы дисперсионно-твердеющего типа на основе карбида титана с эффектом одновременного дисперсного упрочнения карбидных зерен и металлической связки в результате концентрационного расслоения (протекания управляемых твер-

дорастворных превращений) пересыщенных твердых растворов и выделения благодаря этому нанодисперсных избыточных фаз как по всему объему карбидных зерен (например, фаз типа Me<sup>V</sup>C или Me<sup>V</sup>), так и металлической связки (например, γ'-фазы). Принципиальная новизна материаловедческого подхода по созданию таких материалов состоит в следующем. Пересыщенные твердые растворы могут быть получены в условиях высоких температурных градиентов, реализуемых в вол-



Микроструктура стандартного сплава СТИМ-40НА (на основе TiC-NiAl) и сплава дисперсно-упрочненного наночастицами NbC

не горения СВС- систем. Благодаря высокой температуре горения (до 2500–3500 °С) в зоне структурирования, твердые растворы, в соответствии с диаграммами состояния, накапливают высокую концентрацию легирующих элементов. При быстром охлаждении со скоростями порядка  $10^2$ – $10^3$  °С/с данные легирующие элементы не успевают покинуть кристаллическую решетку, и твердый раствор становится пересыщенным. Однако последующая термообработка приводит к концентрационному расслоению твердых растворов и выделению избыточных фаз. Условия термообработки, степень пересыщения и особенности диаграммы состояния дают возможность управлять размером избыточных фаз, выделение которых приводит к значительному росту физико-механических свойств. Происходит увеличение одновременно твердости,

трещиностойкости, предела прочности, ударной вязкости.

2. Керамические материалы (на основе карбидов, нитридов, боридов) с модифицированной структурой, полученной путем введения в исходную шихтовую смесь нанодисперсных добавок тугоплавких соединений, выполняющих роль модификаторов в процессе первичного и вторичного структурообразования через жидкую фазу. Впервые изучено влияние нанодисперсных добавок на макрокINETические параметры горения и структурообразование различных СВС-систем. Установлен эффект сильного модифицирования структуры продуктов синтеза, приводящий к одновременному росту прочности, твердости и трещиностойкости. Технология производства данных материалов реализована в опытно-промышленных условиях.

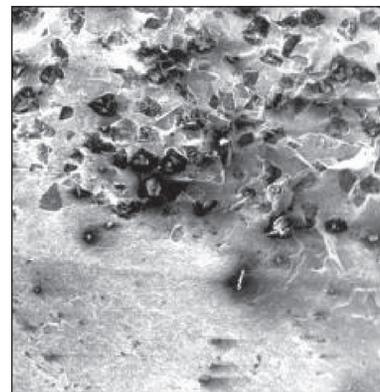
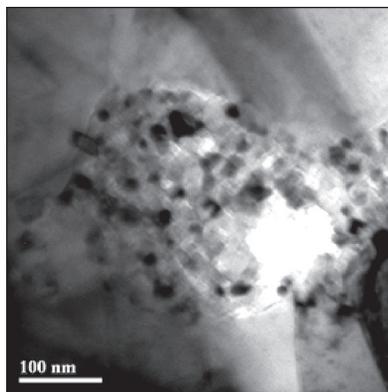
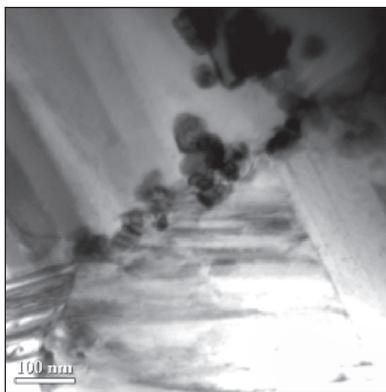
## Новые алмазосодержащие материалы с дисперсно-упрочненной наночастицами связками

Впервые теоретически и экспериментально установлено, что алмазное зерно в определенных условиях выдерживает без существенных изменений кратковременное воздействие высокотемпературной химической волны синтеза. Кроме того, идея направления состоит в легировании металлической матрицы (связки) упрочняющими наночастицами, которые призваны решить одновременно три задачи:

- изменить химический потенциал межфазной границы алмаз - металлическая связка путем легирования реакционно-активными наночастицами (увеличение прочности удержания алмазного зерна в связке);



Серийно выпускаемый по новой технологии алмазный инструмент (ЗАО «Кермет»)



Равномерное распределение наночастиц  $ZrO_2$  (5–20 нм) и  $WC$  (20–80 нм) по границам и объему зерен связки *Co extra fine*

Градиентное распределение алмазных зерен

– обеспечить дисперсное упрочнение металлической связки путем введения наночастиц в объем зерен, при котором происходит увеличение твердости, прочности и ударной вязкости;

– обеспечить зернограничное легирование путем введения наночастиц по границам зерен связки, при котором заметно снижается коэффициент трения в зоне резания.

Разработана технология получения алмазосодержащих материалов (в том числе функционально-градиентных) с дисперсно-упрочненной наночастицами связкой, которая внедрена в серийное производство алмазных отрезных сегментных кругов, сверл и канатных пил для строительной промышленности и камнеобработки.

## Мишени для ионно-плазменного напыления и электроды для электроискрового легирования

Для технологий ионно-плазменного (магнетронного) напыления наноструктурных многофункциональных покрытий разработан широкий класс СВС-композиционных мишеней в системах  $TiC-TiB_2$ ,  $TiB_2-Al_2O_3$ ,  $TiC_\alpha$ ,  $TiB_2-Ti_5Si_3$ ,  $TiB-Ti$ ,  $TiN-TiB_2$ ,  $TiN-Ti_5Si_3$ ,  $TiC-TiB_2-TiC_xN_y-Ti_5Si_3$ ,  $TiC-Ti_3SiC_2-TiSi_2-SiC$ ,  $TiB_2-TiAl$ ,  $TiC-Cr_3C_2$ ,  $TiC-TiAl$ ,  $Ti_5Si_3-Ti$ ,  $TiB_2-CrB_2$ ,  $CrB_2$ ,  $(Ti,Mo)C-Mo_2C$ ,  $TiC-TaC-Mo_2C$ ,  $TiC_\alpha-CaO$ ,  $TiC_\alpha-ZrO_2$ ,  $TiC_\alpha-Ca_3(PO_4)_2$ ,  $Cr_xTi_{2-x}AlC$ ,  $(Ti,Ta)C_\alpha$ ,  $(Ti,Nb)C_\alpha$ ,  $(Ti,Zr)C_\alpha$ ,  $(Ti,Ta)C_\alpha-Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$  и др. Осуществляется выпуск дисковых и планарных мишеней по технологии силового СВС-компактирования.

Разработаны новые композиционные электродные материалы (на основе карбидов, боридов, силицидов, интерметаллидов, дисперсно-упрочненных наночастицами) для процессов импульсного электроискрового легирования (ЭИЛ). Созданы механизированные установки нового поколения марки «Alier-Metal», характеризующиеся повышенной про-

изводительностью, высокой частотой импульсных разрядов (до 3000 Гц) и качеством наносимых покрытий. Данные электродные материалы и установки нашли применение в задачах упрочнения и восстановления режущего, штампового, прессового и прокатного инструмента, ответственных узлов деталей авиационно-космической техники.

Созданы теоретические модели процесса термореакционного электроискрового осаждения покрытий (ТРЭУ), основанного на протекании в поверхностном слое экзотермической химической реакции, стимулируемой энергией импульсного разряда. Разработана и освоена технология производства шихтовых ТРЭУ – электродов из нанодисперсных компонентов. Установлена возможность получения методом ТРЭУ алмазосодержащих покрытий. Осуществляется выпуск стержневых и дисковых электродов.

Для процессов ЭИЛ и ТРЭУ разработано 5 групп электродных материалов на основе

карбидов, боридов, силицидов, интерметаллидов, дисперсно-упрочненных наночастицами:

**1 группа.** Дисперсионно-твердеющие керамические материалы на основе карбида титана с эффектом одновременного дисперсного упрочнения карбидных зерен и металлической связки в результате концентрационного расслоения пересыщенных твердых растворов и выделения благодаря этому нанодисперсных избыточных фаз как по всему объему карбидных зерен, так и металлической связки. Electrodes 1 группы, в зависимости от состава имеют наименование КТЦ (система Ti–Zr–C), КНТ (система Ti–Nb–C) или КТТа (система Ti–Ta–C). Electrodes выпускаются как с металлической связкой (составов Ni–Co–Al–Cr, Ni–Al или Ni), так и без связки.

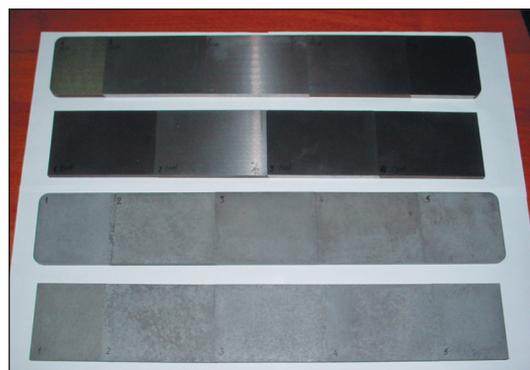
**2 группа.** Дисперсно-упрочненные наночастицами твердосплавные материалы с модифицированной структурой, полученные путем введения в исходную шихтовую СВС- смесь нанодисперсных добавок тугоплавких металлов и соединений, выполняющих роль модификаторов в процессе структурообразования продуктов синтеза. В качестве модифицирующих

компонентов применяют нанопорошки detonationного алмаза,  $ZrO_2$ ,  $Al_2O_3$ , NbC,  $Si_3N_4$ , W, WC, (WC–Co). Примеры электродов данной группы: TiC– $Cr_3C_2$ –Ni (сплав СТИМ-ЗБ), TiC–Ni (СТИМ-2), TiC – никелевый сплав ХН70Ю (СТИМ-2/40НЖ), TiC–NiAl (СТИМ-40НА), TiC– $Ti_3AlC_2$  (СТИМ-40ТА)  $TiB_2$ –TiAl (СТИМ-9/20 А), TiC–Ni–Mo (СТИМ-2/30НМ).

**3 группа.** Твердосплавные наноструктурированные электродные материалы в системе WC–Co, полученные по технологиям пресования-спекания и горячего прессования при использовании нанодисперсных плазмохимических порошков WC–Co. Средний размер частиц карбидной фазы в электродном материале ~ 80 нм.

Electrodes 3-й группы в зависимости от технологии получения получили наименование СНМ (спекенный наноструктурный материал) или ГПНМ – горячепрессованный наноструктурный материал.

**4 группа.** Аморфизуемые материалы, содержащие карбиды переходных металлов ( $Fe_3C$ , WC), представляют собой специально приготовленные около эвтектические прекурсоры аморфной фазы, например,



Дисковые и планарные катоды-мишени для магнетронного распыления

быстрозакаленный чугун Fe–Mn–Ni–Si–C, легированный бором для повышения стеклообразующей способности. Быстрая закалка расплава приводит к подавлению образования тугоплавких кристаллитов, уменьшению размеров структурных составляющих и понижению температуры плавления электрода. Данные электроды перспективны для нанесения наноструктурированных покрытий на подложки из карбидообразующих элементов, например, титановые сплавы.

**5 группа.** ТРЭУ-электроды, полученные по технологии волочения смесей порошков (Ti–B, Ti–C–Ni–Al, Ti–C–Al, Ti–Al–алмаз, Ti–B–алмаз и др.) в алюминиевой, стальной или медной оболочках. Данные электродные материалы нашли применение в задачах упрочнения и восстановления режущего, штампового и прокатного инструмента, деталей машин, ответственных узлов деталей авиационно-космической техники.

Разработанные электродные материалы выпускаются в виде: стержней для ручной и



*Стержневые и дисковые электроды для ЭИЛ и ТРЭУ*

механизированной обработки (осевой инструмент), так и в форме дисков (колец) для механизированной электроискровой обработки (вибрирующий дисковый инструмент). Все составы электродных материалов зарегистрированы в ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» в виде ТУ. На составы электродных материалов и способы их получения имеются патенты.

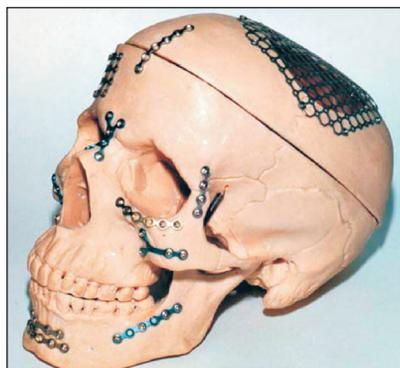
## Многокомпонентные биоактивные наноструктурные пленки

Разработан принципиально новый подход к конструированию многокомпонентных биоактивных наноструктурных пленок (МБНП) на основе тугоплавких соединений TiC, Ti(C,N), (Ti,Ta)C, (Ti,Ta)(C,N) с биологически активной неорганической матрицей, содержащей элементы (Ca, Si, O, P). Научно обоснованный выбор элементного и фазового состава покрытий обеспечивает биоактивность и биосовместимость, улучшая при этом механические и трибологические свойства поверхности. Неорганические добавки CaO, ZrO<sub>2</sub>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, TiO<sub>2</sub>, Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> и Ca<sub>10</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>(OH)<sub>2</sub> вводятся уже на этапе получения композиционных мишеней для ионно-плазменного осаждения покрытий. По совокупности химических, механических, трибологических и биологических характеристик покрытия превосходят зарубежные аналоги.

Полученные МБНП обладают уникальным сочетанием свойств, необходимых для многофункциональных биоматериалов, работающих под нагрузкой: высокая твердость, низкий

модуль упругости, высокая адгезионная прочность, низкий коэффициент трения, высокая износостойкость, высокая стойкость к упругой деформации разрушения и пластической деформации, высокая усталостная прочность, гидрофильность, отрицательный заряд поверхности в физиологической среде, положительный потенциал коррозии, биосовместимость, отсутствие токсичности и биоактивность, обеспечивающие существенное ускорение остеоинтеграции.

Изготовленные модельные образцы имплантатов с покрытиями успешно прошли биологические, токсикологические, санитарно-химические и клинические испытания, по результатам которых зарегистрированы ТУ 9437-017-11458417-2008 «Набор имплантатов дентальных титановых с многофункциональными биоактивными наноструктурными покрытиями Д-Имбнп-«Конмет»; ТУ 9438-015-11458417-2008 «Набор имплантатов титановых с многофункциональными биоак-



*Имплантаты для черепно-челюстно-лицевой хирургии с многокомпонентными биоактивными наноструктурными покрытиями*

тивными наноструктурными покрытиями для черепно-челюстно-лицевой хирургии ЧЧЛХ-Имбнп-«Конмет»; ТУ 9438-016-11458417-2008 «Набор имплантатов титановых с многофункциональными биоактивными наноструктурными покрытиями для хирургии позвоночника ХП-Имбнп-«Конмет» и ТУ 9438-002-49346483-2007 «Эндопротезы тазобедренного сустава бесцементной фиксации с многофункциональными биоактивными наноструктурными покрытиями».

Новый подход позволяет наносить МБНП на имплантаты из политетрафторэтилена (ПТФЭ). При этом отработаны методики электрохимических и биологических *in vitro* исследований полимерных конструкций с покрытиями. Изучены медико-биологические характеристики высокопористых имплантационных конструкций на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ)

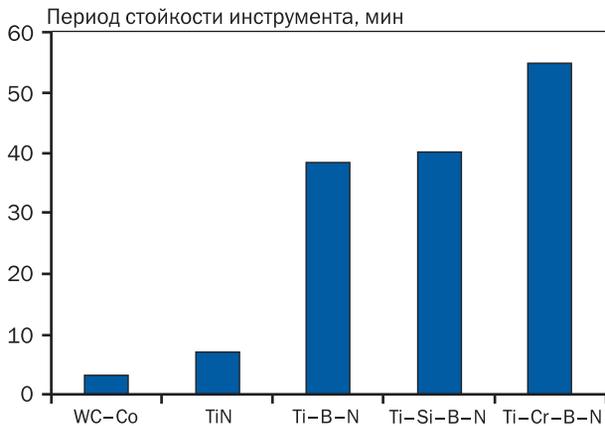
и высокомолекулярного полиэтилена (ВМП) с МБНП. Разработана методика исследования полимеров с покрытиями методами сканирующей зондовой микроскопии и ИК Фурье-спектроскопии.

Партнерами по данному направлению исследований являются: ООО «Конмет»; Московский научно-исследовательский онкологический институт им. П.А. Герцена; Центральный научно-исследовательский институт стоматологии и челюстно-лицевой хирургии; Российский онкологический научный центр имени Н.Н. Блохина РАМН; ЗАО НПО «МЕТАЛЛ»; БелГУ; МФТИ; Институт физики прочности и материаловедения СО РАН; Всероссийский научно-исследовательский проектный институт медицинских инструментов; ИМЕТ РАН; ФГУП «ЦНИИКМ «Прометей»; ООО КНПО «Биотехника», Институт спектроскопии РАН и др.

## **Многофункциональные (твердые, коррозионностойкие, жаростойкие, самосмазывающиеся, резистивные) пленки и покрытия**

Установлены закономерности влияния параметров магнетронного напыления, а также при ассистировании ионной имплантацией, на структуру и свойства наноструктурных пленок и покрытий. Найдены технологические режимы осаждения наноструктурных многофункциональных, многослойных и функционально-градиентных покрытий. С помощью просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения исследованы тонкие пленки с размером кристаллитов менее 1–2 нм. В системах Ti–Si–N, Ti–B–Si–N, Ti–B–Cr–N получены сверхтвердые до 70 ГПа на-

ноструктурные пленки. Рекордно высокие значения жаростойкости установлены в системах Ti–Cr–B–N, Ti–Al–Si–B–N, коррозионной стойкости – в системах Ti–Ta–Mo–C–N, Ti–C, Ti–Cr–C–N, Ti–Si–C–N, резистивных характеристик (для среднеомных и высокоомных резисторов гибридных интегральных схем и нагревателей) – в системах Ti–C–B, Ti–Al–B–O. Накоплен значительный опыт в изучении фазового состава и структуры многокомпонентных наноструктурных пленок в системах Ti–(Al, Si, Cr, Zr, Nb, Mo)–(B, C, N, O) с помощью рентгеноспектрального анализа, про-



Стойкость твердосплавного инструмента без покрытия и с покрытиями TiN, Ti-B-N, Ti-Si-B-N, Ti-Cr-B-N при обработке нержавеющей стали в отсутствие СОЖ

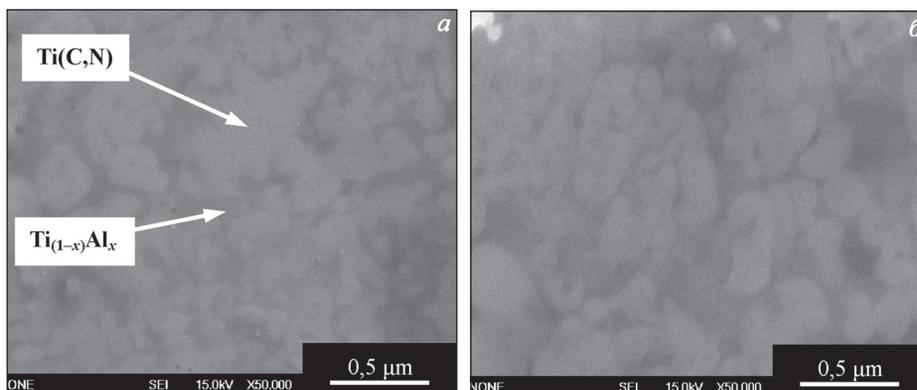


свечивающей и сканирующей электронной микроскопии, спектроскопии энергетических потерь электронов, фотоэлектронной и Оже-электронной спектроскопии. Особое внимание уделяется изучению структуры границ зерен, дислокаций и дефектов в тонких пленках, корреляции между топографией поверхности и структурой пленки, роли ориентационных соотношений, механизму роста пленки, влиянию топографии поверхности подложки, механизму деформации наноструктурных пленок и покрытий.

Установлены закономерности формирования ЭИЛ- и ТРЭУ-покрытий на различных материалах подложек (титановые и никелевые сплавы, карбидостали, быстрорежущие, штамповые, нержавеющие стали) при варьировании параметров импульсных разрядов (сила тока, частота, длительность). Найденны оптимальные энергетические режимы и время обработки, характеризующиеся вы-

сокой скоростью формирования покрытий при удовлетворительной шероховатости поверхностного слоя. Например, покрытия на титановом сплаве ОТ4-1, нанесенные электродами в системе TiC-Ti<sub>3</sub>AlC<sub>2</sub>, состоят из зерен карбонитрида титана Ti(C,N) размером от 70 до 500 нм. Полученные при использовании электродов на основе карбида и дигборида титана покрытия, характеризуются высокими сплошностью (до 100 %), микротвердостью (до 20,7 ГПа), жаро- и износостойкостью.

Применение дисперсно-упрочненных наночастицами и наноструктурированных электродных материалов способствует снижению шероховатости и коэффициента трения покрытий. Отмечено отсутствие признаков адгезионного разрушения покрытий на титановом сплаве при скратч-тестировании до нагрузки 130 Н. Величина упругого восстановления данных покрытий – 40–50 %.



Микроструктура электроискровых покрытий (×50000) на поверхности титанового сплава марки ОТ4-1

а – TiC-Ti<sub>3</sub>AlC<sub>2</sub> + ZrO<sub>2</sub><sup>нано</sup>,  
б – TiC-Ti<sub>3</sub>AlC<sub>2</sub> + без добавок

## Обеспечение единства измерений физико-механических и трибологических свойств наноструктурированных поверхностей

Проводятся следующие мероприятия по обеспечению единства измерений:

1. Создание метрологического комплекса, обеспечивающего измерение твердости, модуля упругости, упругого восстановления, адгезионной прочности, коэффициента трения, износа, предела выносливости (количество циклов до разрушения), топологии поверхности продукции наноиндустрии.

2. Разработка и аттестация государственных стандартных образцов, обеспечивающих калибровку и прослеживаемость измерений механических и трибологических характеристик нс-поверхностей.

3. Разработка и аттестация методик выполнения измерений механических и трибологи-

ческих характеристик наноматериалов и калибровки соответствующих средств измерений.

4. Обобщение практических результатов наноиндентирования, склерометрии, скратч-тестирования, циклических ударно-динамических, трибологических испытаний нс-поверхностей наиболее типичных коммерциализуемых наноматериалов.

5. Разработка комплекса нормативно-технических документов, включая проекты ГОСТ Р, регламентирующих проведение испытаний.

6. Разработка практических рекомендаций по измерениям твердости, модуля упругости, упругого восстановления, вязкости разрушения и по учету влияния этих характеристик на поведение наноматериалов в процессе трения и износа.

## Огнеупорная СВС- керамика металлургического назначения



Производство керамических тиглей для получения сплавов медицинского назначения методом литья



Изделия для металлургической промышленности

Тигли для центробежного литья из огнеупорной СВС- керамики



# СПИСОК ОСНОВНЫХ ПАТЕНТОВ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 5 ЛЕТ

- Левашов Е.А., Штанский Д.В., Глушанкова, И.В. Решетов Н.А. Многофункциональные биосовместимые наноструктурные пленки для медицины. Патент № 2333009 от 10.09.2008.
- Григорьян А.С., Филонов М.Р., Кулаков А.А., Штанский Д.В., Левашов Е.А., Селезнева И.И., Топоркова А.К. Способ получения имплантационного материала на основе пористого политетрафторэтилена и материал, полученный этим способом. Патент на изобретение № 2325191 от 27.05.2008.
- Левашов Е.А., Штанский Д.В., Глушанкова Н.А., Решетов И.В. Биосовместимые многокомпонентные наноструктурные покрытия для медицины. Патент РФ № 2281122 от 10.08.2006.
- Levashov E.A., Shtansky D.V., Gloushankova N.A., Reshetov I.V. Biologically Compatible Multi-component Nanostructural Coatings for Medical Applications. Международная заявка PCT/RU2005/000529 от 28.10.2005. Publication number WO 2007/004913. European Patent Application № 05825079.6 от 29.01.2008. USA Patent Application № 12/085385 от 22.05.2008.
- Koizumi M., Ohyanagi M., Hosomi S., Levashov E.A., Trotsue A.V., Borovinskaya I.P. Composite Material and Process for Producing the Same. European Patent № 0731186 B1 от 20.10.2004. Bulletin 2004/43.
- Левашов Е.А., Николаев А.Н., Кудряшов А.Е., Коизуми М., Охианаги М., Хосоми С. Электродный стержень для искровой наплавки, способ его изготовления и способ нанесения покрытия, содержащего суперабразив. Патент РФ № 2228824 от 20.05.2004.
- Левашов Е.А., Курбаткина В.В., Штанский Д.В., Сенатулин Б.Р. Мишень для получения функциональных покрытий и способ ее изготовления. Патент РФ № 2305717 от 14.11.2005.
- Левашов Е.А., Андреев В.А., Курбаткина В.В. Связка для изготовления алмазного инструмента. Патенты РФ № 2286241, 2286242, 2286243 от 14.11.2005
- Levashov E.A., Andreev V.A., Kurbatkina V.V. Binder for the Fabrication of Diamond Tools. Международная заявка PCT/RU2006/000491 от 25.09.06. Publication number WO 2007/055616 от 18.05.2007. European Patent Application № 06812911.3 от 24.09.2008. USA Patent Application № 12/084923 от 13.05.2008.
- Levashov E.A., Kurbatkina V.V., Shtansky D.V., Sanz A. Target for the Synthesis of Multifunctional Coatings and Method of its Fabrication. Международная заявка PCT/EP 2006/010918 от 14.11.2005. Publication number WO 2007/054369 A2 от 18.05.2007.
- Levashov E.A., Kudryashov A.E., Shtansky D.V., Sanz A. Method for Deposition of Dispersion-Strengthened Coatings and Composite Electrode Materials for Deposition of Such Coatings. Международная заявка PCT/EP 2006/007572 от 31.07.2006.
- Петржик М.И., Филонов М.Р., Трегубов А.А., Поздеев А.И., Олесова В.Н., Левашов Е.А. Псевдоупругий биосовместимый функционально-градиентный материал для костных имплантов и способ его получения. Патент РФ № 2302261 от 11.05.2006.
- Левашов Е.А., Штанский Д.В. Многофункциональные биосовместимые наноструктурные пленки для медицины. Патент РФ № 2333009 от 10.09.2008.
- Koizumi M., Ohyanagi M., Levashov E.A., Trotsue A.V., Borovinskaya I.P. Sintered Composites Containing Superabrasive Particles. Patent of Japan № 4156025 от 18.07.2008.



## НАГРАДЫ НА ПРЕСТИЖНЫХ ФОРУМАХ И САЛОНАХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

Научные разработки НУЦ СВС отмечены многочисленными дипломами и медалями международных салонов и выставок интеллектуальной собственности. В их числе:

- Диплом за высокий уровень разработок, представленных на 34-й Международной выставке изобретений, новой техники и продукции 5–9 апреля 2006 г. в г. Женева (Швейцария).
- Диплом и золотая медаль на Международном салоне патентов и изобретений в Женеве за разработку: «Биосовместимые многокомпонентные наноструктурные покрытия для медицины». Авторы: Е.А. Левашов, Д.В. Штанский, Н.А. Глушанкова, И.В. Решетов.
- Диплом и серебряная медаль на Международном салоне патентов и изобретений в Женеве за разработку: «ФГМ мишени для осаждения многокомпонентных наноструктурных покрытий для медицины». Авторы: Е.А. Левашов, В.В. Курбаткина, Д.В. Штанский, Б.Р. Сенатулин.
- Диплом и серебряная медаль на Международной инновационной выставке «Идеи, изобретения, инновации» в Нюрнберге (Германия, 2006 г.) за инновационную разработку «Биосовместимые многокомпонентные наноструктурные покрытия для медицины». Авторы: Е.А. Левашов, Д.В. Штанский, Н.А. Глушанкова, И.В. Решетов.
- Диплом и золотая медаль на Международной инновационной выставке «Идеи, изобретения, инновации» в Нюрнберге (Германия, 2006 г.) за инновационную разработку «ФГМ мишени для осаждения многокомпонентных наноструктурных покрытий для медицины». Авторы: Е.А. Левашов, В.В. Курбаткина, Д.В. Штанский, Б.Р. Сенатулин.
- Диплом и золотая медаль на Международной инновационной выставке «Идеи, изобретения, инновации» в Нюрнберге (Германия, 2006 г.) за инновационную разработку «Связка для изготовления алмазного инструмента». Авторы: Е.А. Левашов, В.А. Андреев, В.В. Курбаткина.
- Диплом и золотая медаль за инновационную разработку «Биосовместимые многокомпонентные наноструктурные покрытия для медицины», представленную на 18-й Международной выставке «Изобретения, инновации и технология» (ITEX-2007) в г. Куала-Лампур (Малайзия). Авторы: Е.А. Левашов, Д.В. Штанский, Н.А. Глушанкова, И.В. Решетов.
- Диплом и золотая медаль за инновационную разработку «Мишени для осаждения многофункциональных покрытий и метод их получения», представленную на 18-й Международной выставке «Изобретения, инновации и технология» (ITEX-2007) в г. Куала-Лампур (Малайзия). Авторы: Е.А. Левашов, В.В. Курбаткина, Д.В. Штанский, Б.Р. Сенатулин.
- Диплом и золотая медаль за инновационную разработку «Связка для изготовления алмазного инструмента», представленную на 18-й Международной выставке «Изобретения, инновации и технология» (ITEX-2007) в г. Куала-Лампур (Малайзия). Авторы: Е.А. Левашов, В.А. Андреев, В.В. Курбаткина.
- Диплом в номинации «100 лучших изобретений России», Инновационная разработка «Биосовместимые многокомпонентные наноструктурные покрытия для медицины» (патент РФ № 2281122). Авторы: Е.А. Левашов, Д.В. Штанский, Н.А. Глушанкова, И.В. Решетов.
- Специальным призом награжден Е.А. Левашов за большой вклад в разработку изобретений, представленных на 18-й Международной выставке «Изобретения, инновации и технология» (ITEX-2007) в г. Куала-Лампур (Малайзия).

- Диплом и золотая медаль с ликом Николы Теслы на Белградской ассоциации изобретателей и авторов технических улучшений (г. Белград, 30 ноября 2007 г.) за инновационную разработку «Биосовместимые многокомпонентные наноструктурные покрытия для медицины». Авторы: Е.А. Левашов, Д.В. Штанский, Н.А. Глушанкова, И.В. Решетов.
- Диплом в номинации «100 лучших изобретений России» за инновационную разработку «Связка для изготовления алмазного инструмента (патенты № 2286241, 2286242, 2286243). Авторы: Е.А. Левашов, В.А. Андреев, В.В. Курбаткина.
- Диплом и золотая медаль на X Международном салоне промышленной собственности «Архимед-2007» за разработку «Связка для изготовления алмазного инструмента (патенты № 2286241, 2286242, 2286243). Авторы: Е.А. Левашов, В.А. Андреев, В.В. Курбаткина.
- Диплом и золотая медаль на 99-м Международном салоне изобретений «Конкурс Лепин» (г. Париж, Франция, 2008 г.) за инновационную разработку «Биосовместимые многокомпонентные наноструктурные покрытия для медицины». Авторы: Е.А. Левашов, Д.В. Штанский, Н.А. Глушанкова, И.В. Решетов.
- Диплом и бронзовая медаль на 99-м Международном салоне изобретений «Конкурс Лепин» (г. Париж, Франция, 2008 г.) за инновационную разработку «Связки для изготовления алмазного инструмента». Авторы: Е.А. Левашов, В.А. Андреев, В.В. Курбаткина.
- Диплом и золотая медаль на XI Международном салоне промышленной собственности «Архимед-2008» за разработку «Псевдоупругий биосовместимый функционально-градиентный материал для костных имплантатов и способ его получения». Авторы: М.И. Петржик, М.Р. Филонов, А.А. Трегубова, А.И. Поздеев, В.Н. Олесова, Е.А. Левашов.
- Диплом и серебряная медаль на 4-й Сеульской Международной ярмарке изобретений «SIIF-2008» (11–15 декабря 2008 г.) за инновационную разработку «Биосовместимые многокомпонентные наноструктурные покрытия для медицины». Авторы: Е.А. Левашов, Д.В. Штанский, Н.А. Глушанкова, И.В. Решетов.
- Медаль Польской Ассоциации изобретателей и инноваторов имени Марии Склодовской-Кюри за инновационную разработку «Биосовместимые многокомпонентные наноструктурные покрытия для медицины». Авторы: Е.А. Левашов, Д.В. Штанский, Н.А. Глушанкова, И.В. Решетов.
- Диплом и бронзовая медаль на 4-й Сеульской Международной ярмарке изобретений «SIIF-2008» (11–15 декабря 2008 г.) за инновационную разработку «Связки для изготовления алмазного инструмента». Авторы: Е.А. Левашов, В.А. Андреев, В.В. Курбаткина.
- За большой вклад в развитие теории и практики правовой охраны объектов интеллектуальной собственности в 2007 г. Е.А. Левашов награжден Почетным знаком Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам (Роспатента) «На благо России», а в 2008 г. – медалью «50 лет МГО ВОИР».



# ФОТОГАЛЕРЕЯ НАУЧНО-УЧЕБНОГО



Горная академия Колорадо,  
Гольден, США, 2007



Лондон, Великобритания, 2006



Ереван, Армения, 2006



Белград, Сербия, 2007



Global meeting EXCELL 2007, Хайфа, Израиль



FBMT 2009, Новосибирск, Россия



Сан-Диего, США, 2007



Эйн-Геди, Израиль, 2006



PSE 2006, Гармиш-Партенкирхен,  
Германия



FGM 2008, Сендай, Япония



Белгород, Россия, 2007

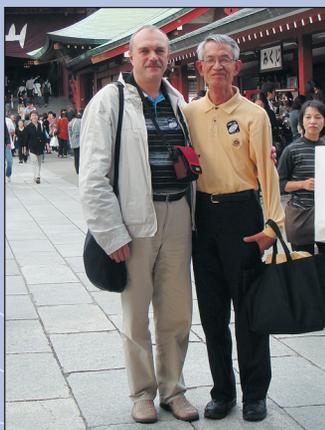


НАТО-Россия 2003, Москва

# ЦЕНТРА СВС МИСИС – ИСМАН



Севилья, Испания, 2007



Токио, Япония, 2008



NAMS 2007, Метц, Франция



НАНО 2008,  
Минск, Беларусь



Рийкокский университет,  
Япония, 2008



Дни России в Болгарии, София, 2008



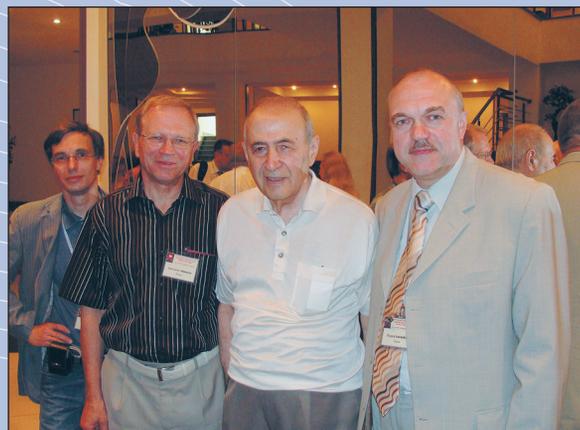
На берегу озера Севан, Армения, 2009



Афины, Греция, 2008



Лондон, Великобритания, 2005



Цахкадзор, Армения, 2009

# ПРИБОРНАЯ БАЗА НАУЧНО-УЧЕБНОГО

## Метрологический комплекс для прецизионных исследований физических, механических и трибологических характеристик



Нанотвердомер Nanohardness Tester, CSM Instruments (Швейцария)



Оптический профилометр WYKO NT1100, Veeco (США, Великобритания)



Скратч-тестер Scratch Tester REVETEST, CSM Instruments (Швейцария)



Анализатор субмикронных частиц BECKMAN COULTER® N5 (США)



Универсальная машина для механических испытаний LF-100kN, Walter+Bai (Швейцария)



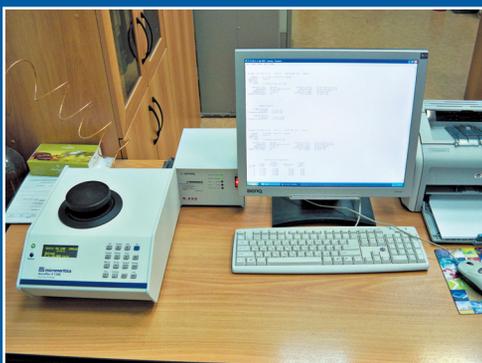
Оптический эмиссионный спектрометр тлеющего разряда PROFILER-2, Horiba Jobin Yvon (Франция)



Высокотемпературная машина трения High-temperature Tribometer, CSM Instruments (Швейцария)



Установка для проведения коррозионно-электрохимических испытаний VoltaLab, Radiometer Analytical (Франция)



Гелиевый пикнометр AccuPyc 1340, Micromeritics (США)



Установка для определения краевого угла смачивания CAM 101, KSV Instruments (Финляндия)



Импакт тестер Impact Tester, Semcon (Германия)

# ЦЕНТРА СВС МИСИС–ИСМАН

## Оборудование для синтеза новых материалов



Оборудование для механической и электроэрозионной обработки



Оборудование для механического активирования реакционных смесей (планетарные мельницы МПП-1 (Россия) и Pulverisette 5, FRITSCH (Германия))



Прессовое оборудование, вакуумные и водородные печи

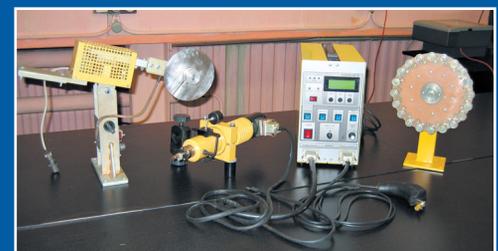
## Оборудование для модификации поверхности и осаждения наноструктурных тонких пленок и покрытий



Установка магнетронного напыления UDP 850/4, TEER COATINGS Ltd. (Великобритания)



Комбинированная установка магнетронного, ионного напыления при ассистировании ионной имплантацией



Установка «Alier-Metal 303» с микропроцессорным управлением для электроискрового легирования



Установка дуального магнетронного напыления UNICOAT 900, ООО НПФ «Элан-Практик» (Россия)

Модернизированная установка магнетронного напыления





### Главное здание МИСиС

119049, Москва,  
Ленинский проспект, д. 4



### Здание МИСиС на Крымском валу

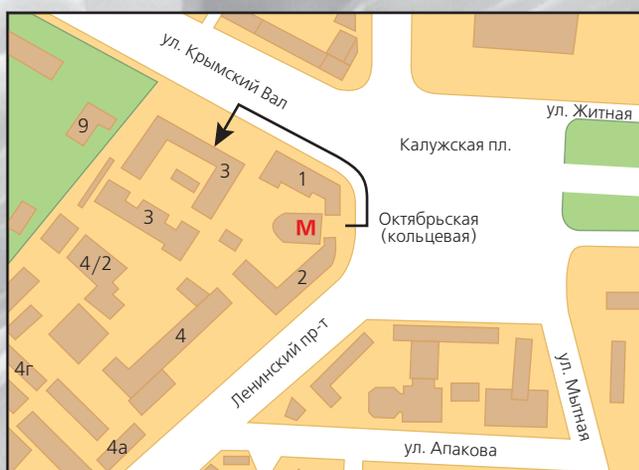
119049, Москва,  
ул. Крымский Вал, д. 3

### Сайт НУЦ СВС в интернете:

<http://www.shs.msisa.ru>

### Адрес для почты:

119049, Москва,  
Ленинский проспект, д. 4, 164



### Директор НУЦ СВС – докт. техн. наук, профессор Евгений Александрович Левашов

**Адрес:** 119049, Москва, Крымский Вал, д. 3, ком. 109.

**Тел.:** (495) 638-45-00, тел/факс: (495) 236-52-98. **E-mail:** levashov@shs.misis.ru

### Ученый секретарь – канд. техн. наук, вед.научный сотрудник, доцент Виктория Владимировна Курбаткина

**Адрес:** 119049, Москва, Крымский Вал, д. 3, ком. 105

**Тел./факс:** (495) 237-53-36. **E-mail:** vvkurb@mail.ru

### Главный научный сотрудник – профессор, докт. физ.-мат. наук Дмитрий Владимирович Штанский

**Адрес:** 119049, Москва, Ленинский пр-т, д. 2, ком. 317

**Тел.:** (495) 638-45-35; тел/факс: (495) 236-52-98. **E-mail:** shtansky@shs.misis.ru