ИННОВАЦИОННЫЕ НАНОТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СВЕРХПРОВОДНИКОВ

INNOVATIVE NANOTECHNOLOGIES FOR STATE-OF-THE-ART TECHNICAL SUPERCONDUCTORS

И.Абдюханов, М.Потапенко, М.Алексеев, Ю.Карасев, В.Дробышев, А.Цаплева, Е.Дергунова
I.Abdyhanov, M.Potapenko, M.Alekseev, Yu.Karasev, V.Drobyshev, A.Tsapleva, E.Dergunova

АО "ВНИИНМ им. акад. А.А.Бочвара" разрабатывает уникальные технологии получения перспективных композиционных сверхпроводников, высокие характеристики которых обеспечивают наноструктурные элементы. Такие материалы предназначены для создания установок термоядерного синтеза и физики высоких энергий, медицинских магнито-резонансных томографов, перспективного электротехнического и энергетического оборудования, транспортных средств, использующих явление магнитной левитации и др. В России основной комплекс разработок конструкций и технологий изготовления единичных технических сверхпроводников для крупных магнитных систем, включая строящийся во Франции международный термоядерный реактор ИТЭР, осуществляется во ВНИИНМ. За более чем 40 лет работы сложилось отдельное научно-техническое направление в области исследования и создания этих уникальных композиционных материалов.

Russian scientific and research institute of inorganic materials named after the academician A.A.Bochvar (VNIINM) develops a unique technologies for production of advanced composite superconductors with high characteristics provided by use of nanostructured elements. These materials are intended for reactors for thermonuclear fusion and high energy physics, medical magnetic resonance imaging, prospective electrical and energy equipment, vehicles, which use the phenomenon of magnetic levitation, etc. VNIINM performs in Russia the main complex of developments in the field of single technical superconductors manufacturing for large magnetic systems, including the international thermonuclear reactor ITER. For more than 40 years a separate scientific-technical direction was created in the field of research and manufacture of these unique composite materials.

ВНИИНМ при поддержке ГК "Росатом" ведет разработки сверхпроводящих материалов для различных применений, но прежде всего – сильноточных композиционных сверхпроводников для мощных магнитных систем. Различают низкотемпературные сверхпроводники (НТСП), работающие при температуре жидкого гелия 4,2 К ($-268,9^{\circ}\text{C}$), и высокотемпературные сверхпроводники (ВТСП) которые остаются в сверхпроводящем состоянии до температуры кипения жидкого неона 27,3 К ($-245,8^{\circ}\text{C}$).

Сверхпроводники характеризуются несколькими критическими параметрами (см. табл.), например, критической температурой, при которой материал переходит в сверхпроводящее состояние. У известных на сегодняшний день сверхпроводников значение критической температуры

меняется в очень широких пределах – от 0,0005 К у магния (Mg) и 39 К у диборида магния (MgB_2) до примерно 135 К, характерной для ртутьсодержащего соединения $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_8$. Протекающий через сверхпроводник ток нельзя увеличивать до бесконечности, так как при достижении определенного значения – величины критического тока – состояние сверхпроводимости может исчезнуть. Кроме этого, проводник перестает быть сверхпроводником под действием внешнего магнитного поля, напряженностью выше определенного значения, называемого критическим полем.

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ СВЕРХПРОВОДНИКИ

Начиная с 70-х годов прошлого века, технические сверхпроводники начали активно разрабатывать Бочваровский и Курчатовский институты.

Критические характеристики сверхпроводящих сплавов и соединений

Critical characteristics of superconducting alloys and compounds

Материал Material	Критическая температура, К Critical temperature, K	Критическое поле при 4,2К, Тл Critical field at 4.2 K, T
Низкотемпературные сверхпроводники Low-temperature superconductors		
Nb-Zr	9,0–11,0	7–9
Nb-Ti	8,0–10,0	9–13
Nb ₃ Sn	17,0–18,0	23–25
Nb ₃ Al	17,0–18,0	29–32
V ₃ Ga	14,5	21
Высокотемпературные сверхпроводники High-temperature superconductors		
La-Sr-Cu-O	35–40	90
MgB ₂	39	9
Y-Ba-Cu-O	95–100	190
Bi-Sr-Ca-Cu-O	110–114	-
Ti-Ba-Ca-Cu-O	125–130	-

Созданные во ВНИИНМ технологии были внедрены в промышленное производство, организованное в Казахстане (тогда в составе СССР), где технические НТСП на основе сверхпроводящего сплава NbTi и сверхпроводящего интерметаллида Nb₃Sn выпускали в масштабе от десятков до сотен тонн. Эти материалы были использованы для создания в СССР первых в мире крупных токамаков (тороидальных камер с магнитными катушками) со сверхпроводящими магнитными системами Т-7 и Т-15, которые были успешно введены в строй и показали

полное соответствие материалов предъявленным требованиям.

Низкотемпературные композиционные NbTi- и Nb₃Sn-сверхпроводники, как правило, представляют собой композиционную проволоку (стренд) диаметром 0,5–2,0 мм и длиной до 50 км, содержащую в металлической матрице до нескольких десятков тысяч непрерывных сверхпроводящих волокон диаметром 1,5–5 мкм каждая. Для конструкций обоих типов сверхпроводников характерно строго определенное расположение сверхпроводящих волокон в

VNIINM with the support of Rosatom develops superconducting materials for different applications, but primarily the high-current composite superconductors for magnetic systems. There are distinguished low-temperature superconductors (LTS) which work at a temperature of liquid helium of 4.2 K (–268.9°C), and high-temperature superconductors (HTS) which remain in a superconducting state up to the

temperature of boiling of liquid neon 27.3 K (–245.8°C).

Superconductors are characterized by several critical parameters (see table), for example, by the critical temperature at which a material goes into superconducting state. The critical temperature of the currently known superconductors varies in very wide limits from 0.0005 K by magnesium (Mg) and 39 K by magnesium diboride (MgB₂) to about 135 K by

mercury-containing compound HgBa₂Ca₂Cu₃O₈. The current flowing through the superconductor cannot be increased indefinitely, because when reaching a certain value (the magnitude of the critical current) the state of superconductivity can disappear. In addition, the conductor ceases to be a superconductor under the action of an external magnetic field if its intensity is above a certain value, called the critical field.

Рис.1. Поперечные сечения низкотемпературных сверхпроводников на основе интерметаллического соединения Nb_3Sn (a) и на основе сплава Nb-Ti (b)

Fig.1. Cross-sectional low-temperature superconductors based on the Nb_3Sn intermetallic compound (a) and on the basis of the alloy Nb-Ti (b)

матрице из меди или сплава на основе меди. Кроме того, в конструкцию стренда входит стабилизирующая медная оболочка и диффузионный барьер, обычно из ниобия или тантала (рис.1).

Следует подчеркнуть, что высокие электрофизические характеристики низкотемпературных NbTi- и Nb_3Sn -сверхпроводников обеспечиваются особенностями формирующейся в них наноструктуры. В частности, доля титана в NbTi должна составлять от 46,5 до 50 масс. %, поскольку при меньшем его содержании в структуре сплава уменьшается количество наночастиц α -Ti, которые обеспечивают высокую токонесущую способность сверхпроводника, а при

большем – резко возрастает количество наночастиц, декорирующих границы зерен сплава, что значительно снижает пластичность материала и затрудняет получение длинномерных композиционных проводов. Кроме этого, количество и морфология наночастиц α -Ti определяется термомеханической обработкой материала. Для обеспечения необходимой критической плотности тока в волокнах сверхпроводящего сплава создают наноструктуру, представляющую собой сочетание сверхпроводящей и несверхпроводящей фаз. Как показали эксперименты, трех сочетаний холодной деформации и последующей термообработки достаточно для достижения токонесущей способности 3000 A/mm^2 во внешнем магнитном поле 5 Тл, при температуре 4,2 К. В NbTi-сверхпроводниках со столь высоким значением токонесущей способности частицы α -фазы толщиной 1–3 нм окружают серповидные субзерна твердого раствора NbTi (рис.2). Среднее расстояние между частицами составляет 7–8 нм, а объемная доля α -частиц – 16–17%.

Создавая регулярную гетерогенную наноструктуру с различными расстояниями между сверхпроводящими и несверхпроводящими областями, можно совершенствовать NbTi-сверхпроводники для получения максимальных критических плотностей тока в различных полях.

Для увеличения токонесущей способности Nb_3Sn -сверхпроводников, особенно во внешних магнитных полях более 12 Тл, формируется особая наноструктура сверхпроводящего интерметаллида. Согласно теории, для повышения критического тока

LOW-TEMPERATURE SUPERCONDUCTORS

Since 70-ies of the last century, the VNIINM and Kurchatov institute have begun to actively develop technical superconductors. Technologies developed in VNIINM have been implemented in industrial production, organized in Kazakhstan (at that time part of the USSR), where technical LTS based on superconducting alloy NbTi and superconducting intermetallic compound Nb_3Sn were produced on the scale from tens to hundreds of tons. These materials were used to create in the USSR the world's first large tokamaks

(toroidal chambers with magnetic coils) with superconducting magnet systems T-7 and T-15, which were successfully commissioned and have shown full compliance with material requirements.

Low-temperature composite NbTi- and Nb_3Sn -superconductors, as a rule, represent a composite wire (strand) with diameter of 0.5–2.0 mm and a length up to 50 km, containing a metal matrix of up to several tens of thousands of continuous filaments with a diameter of 1.5–5 μm each. Structures of both types of superconductors are characterized by certain location of the superconducting filaments

in a matrix of copper or copper alloy. In addition, the strand construction contains a stabilizing copper sheath and a diffusion barrier, typically made of niobium or tantalum (fig.1).

It should be emphasized that the high electrical characteristics of low temperature NbTi- and Nb_3Sn -based superconductors are provided by features of the nanostructures. In particular, the share of titanium in a NbTi should be from 46.5 to 50 wt. % because at lower level in the structure of the alloy decreases the amount of the α -Ti nanoparticles, which provide a high current carrying

Рис.2. Типичная структура сверхпроводящего сплава NbTi с частицами α -Ti

Fig.2. Typical structure of superconducting NbTi alloy with α -Ti particles

необходимо получить как можно более мелкую и однородную зеренную структуру Nb_3Sn . Этого можно достигнуть, применяя специальные технологии изготовления стрендов. Особое внимание уделяется финальной реакционной термообработке, в процессе которой за счет диффузии олова из окружающей CuSn-матрицы в ниобиевые волокна образуется сверхпроводящий слой. Типичная наноструктура Nb_3Sn -слоя разработанного ВНИИНМ сверхпроводника и гистограмма распределения зерен интерметаллида по размеру представлены на рис.3. Из

Рис.3. Типичная структура Nb_3Sn -слоя в сверхпроводниках, разработанных ВНИИНМ (а), и гистограмма распределения зерен интерметаллида по размерам (б)

Fig.3. The typical structure of Nb_3Sn layers in superconductors, developed by VNIINM (a), and histogram of grains size of the intermetallic compound (b)

capacity of the superconductor, and at greater level drastically increases the number of nanoparticles that decorating the grain boundaries of the alloy, which significantly reduces the ductility of the material and makes it difficult to obtain long-length composite wires. In addition, the number and morphology of α -Ti nanoparticles are determined by the thermomechanical processing of the material. To ensure a required critical current density in superconducting alloy the nanostructure is created that represents a combination of superconducting and not superconducting phases. As

shown by the experiments, three combinations of cold deformation and subsequent heat treatment is sufficient to achieve current-carrying capacity of 3000 A/mm² in an external magnetic field of 5 T at a temperature 4.2 K. In NbTi-superconductors with high current-carrying capacity the α -phase particles with a thickness of 1-3 nm are surrounded by crescent subgrains of the NbTi solid solution (fig.2). The average distance between particles is 7-8 nm, and volumetric quantitative proportion of α -particles is 16-17 %.

Creating a regular heterogeneous nanostructure with

different distances between superconducting and not superconducting areas, it is possible to improve NbTi-superconductors to obtain maximum critical current densities in various fields.

To increase current-carrying capacity of Nb_3Sn -superconductors, especially in external magnetic fields over 12 Tesla, a special nanostructure of superconducting intermetallic compound is formed. According to the theory, to improve the critical current it is necessary to obtain fine and homogeneous grain structure of Nb_3Sn . This can be achieved by applying a special technology of strands

Рис.5. Микроструктура Nb_3Sn -слоя с наночастицами Cu-Ti
Fig.5. Microstructure of the Nb_3Sn -layer with Cu-Ti nanoparticles

Рис.5. Производство сверхпроводящих материалов на ЧМЗ
Fig.5. Manufacture of superconducting materials at ChMP

гистограммы видно, что большинство зерен интерметаллида Nb_3Sn имеет размер менее 100 нм.

Еще одним способом увеличения токонесущей способности Nb_3Sn -стрендов является легирование матрицы или волокон различными элементами, чаще всего – титаном. Электронно-микроскопические исследования показали, что атомы титана диффундируют в сверхпроводящий слой, образуя наночастицы соединения Cu-Ti (рис.4), что способствует повышению токонесущей способности композиционного сверхпроводника.

Более чем 40-летний опыт исследования, разработки и изготовления композиционных НТСП позволил России принять участие в крупнейшем

международном проекте по созданию термоядерного экспериментального реактора ИТЭР. Россия, выиграв тендер, была принята в число производителей сверхпроводников наряду с ведущими компаниями из Европы, США и Японии. Чтобы обеспечить поставки сверхпроводящих материалов для магнитной системы ИТЭР, на базе Чепецкого механического завода (ЧМЗ) было организовано промышленное производство НТСП (рис.5). Специалисты ВНИИНМ подготовили более 100 технических заданий на специализированное оборудование, разработали технологические маршруты и методы контроля полуфабрикатов и готовых изделий. На предприятии была создана криогенная испытательная лаборатория для

manufacturing. A special attention is paid to the final reactionary heat treatment, in which process a superconducting layer is formed due to diffusion of tin from the surrounding CuSn matrix to niobium fibers. Fig.3 shows typical nanostructure of Nb_3Sn -layer of developed in VNIINM superconductor and a histogram of the distribution of the grains of the intermetallic compound. The histogram shows that the majority of the grains of the intermetallic compound Nb_3Sn has a size less than 100 nm.

Another way to increase current-carrying capacity of

Nb_3Sn -strands is the alloying of the matrix or fibers with different elements, most often with titanium. Electron-microscopic studies showed that the titanium atoms diffuse into the superconducting layer, forming nanoparticles of the Cu-Ti compound (fig.4), which increases current-carrying capacity of the composite superconductor.

More than 40 years of experience in the research, development and production of composite LTS has allowed Russia to take part in the international project of thermonuclear experimental reactor ITER. Russia, having

won the tender, became one of the manufacturers of superconductors, along with leading companies from Europe, USA and Japan. To ensure the supply of superconducting materials for magnet systems of ITER, on the basis of the Chepetsky mechanical plant (ChMP) was organized industrial production of LTS (fig.5). VNIINM specialists has prepared more than 100 technical specifications for specialized equipment, has developed a technological route and methods of control of semi-finished and finished products. At the plant was established cryogenic test laboratory for measurements

Рис.6. Структура поперечного сечения Nb_3Sn -сверхпроводника диаметром 1,5 мм, полученного методом PIT ("порошок в трубе"): а – общий вид; б – фрагмент поперечного сечения

Fig.6. Cross section structure of Nb_3Sn -superconductor with a diameter of 1.5 mm, produced by PIT (powder in tube): a – general view; b – fragment of the cross section

измерения электрофизических характеристик образцов полученных сверхпроводящих материалов.

В течение 5 лет после начала производства ИТСП для ИТЭР было получено около 220 тонн Nb_3Sn - и $NbTi$ -сверхпроводящих стрендов, отвечающих всем предъявленным требованиям. Специалисты ВНИИНМ постоянно осуществляли оптимизацию и контроль технологических режимов на всех стадиях производства, а также выполняли верификационные испытания образцов стрендов в качестве референсной лаборатории, официально признанной ИТЭР.

Наряду с уже внедренной в промышленное производство так называемой "бронзовой" технологией изготовления Nb_3Sn -стрендов, во ВНИИНМ продолжается разработка других перспективных направлений. Одним из решений является так называемый "порошок в трубе" (PIT – powder in tube). Зарубежные производители Nb_3Sn -сверхпроводников достигли на опытных образцах критической плотности тока на сечении без меди более 2500 А/мм² в поле 12 Тл при 4,2 К. Во ВНИИНМ ведутся разработки сверхпроводников по этому методу и уже получены опытные образцы (рис.6).

Еще одним решением, позволяющим достичь наиболее высоких значений критической плотности тока, является метод "внутреннего источника олова", который предполагает расположение в медной матрице отдельных источников олова, помимо распределенных там ниобиевых волокон. Это значительно повышает содержание сверхпроводящей фазы и позволяет получить рекордные

of electrical characteristics of samples of obtained superconducting materials.

Within 5 years after the commencement of LTS for ITER was obtained about 220 tons of Nb_3Sn - and $NbTi$ -superconducting strands, that meets all your requirements. VNIINM specialists constantly carried out the optimization and control of technological regimes at all stages of production, and also performed verification tests of the strands samples as the reference laboratory, officially recognized by ITER.

Along with the already implemented in industrial production

so-called "bronze" manufacturing technology of Nb_3Sn -strands, VNIINM continues development in other promising areas. One of solutions is so-called "powder in tube" (PIT). Foreign manufacturers of Nb_3Sn -superconductors have achieved in the experimental samples the critical current density on the cross section of copper over 2500 A/mm² in a field of 12 T at 4.2 K. VNIINM develops superconductors using this method and the prototypes are already produced (fig.6).

Another solution to achieve the highest critical current density, is the method of "internal source

of tin", according to which individual sources of tin are located in the copper matrix, in addition to distributed niobium fibers. This significantly increases the content of superconducting phase and allows to get a record values of critical current density on the cross section without copper (more than 3000 A/mm² in 12 T at 4.2 K). VNIINM develops designs and technologies for manufacture of such superconductors.

HIGH-TEMPERATURE SUPERCONDUCTORS

HTS attract the attention of developers of electrical products due to

Рис. 7. ВТСП 1-го поколения (а) и схематическое изображение структуры ВТСП 2-го поколения (б)

Fig. 7. HTS of 1st generation (a) and schematic representation of the structure of HTSC of 2nd generation (b)

значения критической плотности тока на сечении без меди (свыше 3000 А/мм² в 12 Тл, при 4,2 К). ВНИИНМ ведет разработку конструкций и технологий изготовления таких сверхпроводников.

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ СВЕРХПРОВОДНИКИ

ВТСП привлекают внимание разработчиков различных электротехнических изделий возможностью использовать явление сверхпроводимости при азотных температурах (77 К), что является очень перспективным с точки зрения их экономической эффективности. Первоначально развитие получили ВТСП 1-го поколения – композиционные провода в оболочке из серебряных сплавов на основе соединения $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ (Bi-2223/Ag) (рис. 7а). С середины 2000-х годов все больший интерес привлекают ВТСП 2-го поколения (ВТСП-2) – ленточные многослойные проводники, в которых на тонкую металлическую подложку последовательно нанесены буферные оксидные слои и функциональный слой сверхпроводящего соединения $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ (Y-123) (рис. 7б).

Одной из важнейших задач разработчиков ВТСП-2 является повышение критического тока, протекающего через сверхпроводник, и в этом на помощь им приходят нанотехнологии. В частности, одним из эффективных методов увеличения токонесущей способности является введение и равномерное распределение в сверхпроводящем слое наночастиц оксидов редкоземельных и переходных металлов. Для решения этой задачи специалисты ВНИИНМ разработали мишени, из кото-

possibility to use the phenomenon of superconductivity at nitrogen temperatures (77 K), which is very promising from the point of view of their economic efficiency. Initially, the high-temperature superconductors of 1st generation were developed, the composite wires sheathed in silver-based alloys based on $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ (Bi-2223/Ag) (fig. 7a). Since the mid 2000-ies the high-temperature superconductors of 2nd generation (HTS-2) are of the growing interest, which are based on a multi-layer tape – a thin metal substrate with sequentially deposited oxide buffer layers and superconducting

functional layer of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ (Y-123) (fig. 7b).

One of the most important tasks of the developers of HTS-2 is to increase the critical current flowing through the superconductor, and this is achieved with use of nanotechnology. In particular, one of the effective methods to increase current-carrying capacity is the introduction and uniform distribution in the superconducting layer of nanoparticles of oxides of rare earth and transition metals. To solve this problem, specialists of VNIINM have developed targets for deposition of superconducting layers, doped with oxide particles

of barium zirconate. Appropriate techniques allow to avoid the formation of coarse conglomerates of nanoparticles of oxides and to distribute them evenly across the target volume (fig. 8).

Nanotechnologies are used by the specialists of VNIINM also in the production of metal belts for HTS-2, a substrate onto which a buffer and superconducting layers are deposited. According to the requirements, the surface roughness of this tape should not exceed 20 nm ($R_a \leq 20$ nm). VNIINM has perfect technology for manufacturing of texturized tapes on the basis of Ni-W alloy with a length

Рис.8. Микроструктура соединения $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ с наночастицами BaZrO_3

Fig.8. Microstructure of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ with BaZrO_3 nanoparticles

Рис.9. АСМ-изображение поверхности ленты-подложки с $R_a \leq 20 \text{ nm}$

Fig.9. AFM image of the surface of the tape substrate with $R_a \leq 20 \text{ nm}$

рых производится напыление сверхпроводящих слоев, легированных частицами оксида цирконата бария. Благодаря отработанным технологическим приемам удалось избежать образования грубых конгломератов из наночастиц оксидов и равномерно распределить их по объему мишени (рис.8).

Нанотехнологии используются специалистами ВНИИНМ также в производстве металлической ленты для ВТСП-2 – подложки, на которую наносят буферные и сверхпроводящие слои. Согласно требованиям, шероховатость поверхности этой

ленты не должна превышать 20 нм ($R_a \leq 20 \text{ nm}$). Во ВНИИНМ отработаны технологии изготовления текстурированных лент-подложек на основе сплава Ni-W длиной до нескольких сотен метров и нетекстурированных лент-подложек на основе нержавеющей стали длиной более 1000 м (рис.9).

Сверхпроводящее соединение диборида магния MgB_2 также является объектом интенсивных исследований, ввиду высокой критической температуры (около 39 K), которая в два раза выше, чем у Nb_3Sn , и в четыре раза выше, чем у NbTi . Относительно низкая

of up to several hundreds of meters and strips on the basis of stainless steel with a length of over 1000 meters (fig.9).

Superconductive magnesium diboride MgB_2 is also the object of intense research, due to the high critical temperature (39 K), which is two times higher than that of Nb_3Sn and four times higher than that of NbTi . The relatively low anisotropy of properties, simple chemical composition, low cost of components for synthesis open new possibilities for the practical use of MgB_2 -based superconductors (fig.10) in the magnetic and electrical devices.

And in this case, the technologists and scientists use nanotechnologies. In particular, the doping with SiC nanoparticles or carbon nanotubes is used to improve the critical currents which can transfer the MgB_2 superconductor. To obtain alloyed MgB_2 specialists of VNIINM at first mixed raw powder of boron with carbon nanotubes (fig.11) and, after addition of magnesium, carried out heat treatment.

The future of physics, energy and medicine is inconceivable without the use of superconductors.

To create a powerful magnetic systems of thermonuclear fusion devices, particle accelerators, high-resolution spectrometers, medical magneto-resistive scanners and other equipment need it is necessary to improve superconducting materials, using innovative technologies. Only with the use of the latest achievements of materials science it is possible to create nanoscale structure of superconducting compounds to obtain the necessary high current-carrying capacity of low-temperature and high-temperature superconductors. ■

Рис.10. Пример поперечного сечения сверхпроводника на основе соединения MgB_2

Fig.10. An example of the cross section of the superconductor based on the compound MgB_2

анизотропия свойств, простой химический состав, дешевизна исходных составляющих для синтеза открывают новые возможности для практического использования MgB_2 -сверхпроводников (рис.10) в магнитных и электротехнических устройствах.

И в этом случае на помощь технологам и ученым приходят нанотехнологии. В частности, для повышения критических токов, которые может передавать сверхпроводник на основе MgB_2 , используется легирование наночастицами SiC или углеродными нанотрубками. Для получения легированного MgB_2 специалисты ВНИИНМ сначала смешивали исходный порошок бора с углеродными нанотрубками (рис.11) и, после добавления магния, проводили реакционную термообработку.

Рис.11. Частицы бора, окруженные углеродными нанотрубками

Fig.11. Boron particles surrounded by carbon nanotubes

Будущее физики, энергетики и медицины уже невозможно представить без использования сверхпроводников. Для создания мощных магнитных систем устройств термоядерного синтеза, ускорителей элементарных частиц, спектрометров высокого разрешения, медицинских магнито-резистивных томографов и другого оборудования необходимо совершенствовать сверхпроводящие материалы, используя инновационные технологии. Только с применением последних достижений материаловедения можно создавать наноразмерные структуры сверхпроводящих соединений для получения необходимой высокой токонесущей способности низкотемпературных и высокотемпературных сверхпроводников. ■

ЧИСЛО ОБЪЕКТОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ ПОРТФЕЛЬНЫХ КОМПАНИЙ "РОСНАНО" ДОСТИГЛО 3000

Число объектов в едином реестре интеллектуальной собственности "Роснано" достигло 3000. Реестр был создан в 2013 году, и в нем содержится информация об интеллектуальной собственности, принадлежащей портфельным компаниям корпорации на исключительном праве или праве использования по лицензии: изобретениях, полезных моделях, промышленных образцах, объектах авторского права и так далее. Наряду с иностранными патентами в реестре собраны сведения о 1200 изобретениях, полезных моделях и ноу-хау отечественного происхождения, которые были получены компаниями "Роснано" в результате собственных НИОКР и от других лиц. Кроме того, создан инструмент для сравнения данных реестра интеллектуальной собственности ОАО "Роснано", ООО "УК "Роснано" и портфельных компаний с данными ряда реестров Роспатента.

"Интеллектуальная собственность – важная составляющая высокотехнологичного бизнеса, – считает Олег Мизгирев, директор по правовым вопросам "Роснано". – В каждом проекте до начала финансирования интеллектуальная собственность подвергается тщательному анализу, проводится ряд экспертиз, прежде всего, патентные экспертизы, а также юридические, производственно-технологические, по результатам которых принимается решение о финансировании проекта. Систематизация этих данных не только дает важную статистику, но и позволяет управляющей компании видеть, как развивается бизнес, где его сильные и слабые места".

Реестр "Роснано" имеет устойчивую динамику роста. За 2015 год, по состоянию на начало октября, уже получено более 70 патентов и подано несколько десятков новых заявок.

"Роснано"