

# Композиты и наноструктуры (Composites and Nanostructures)

Научно-технический журнал

<http://www.issp.ac.ru/journal/composites>

ISSN 1999-7590

Издаётся с 2009 г.

Главный редактор профессор С.Т. Милейко

## Редакционная коллегия

Алымов М.И., чл.-корр. РАН; Андриевский Р.А., проф.; Аннин Б.Д. академик; Бахвалов Ю.О., д-р. техн. наук;  
Викулин В.В., проф.; Георгиевский Д.В., проф.; Глезер А.М. проф.; Колобов Ю.Р. проф.; Костиков В.И. чл.-корр. РАН;  
Куперман А. М., проф.; Лурье С.А., проф.; Патлажан С.А., проф.; Победра Б.Е. проф.; Сапожников С.Б., проф.;  
Севастьянов В. Г. чл.-корр. РАН; **Серебряков А.В., проф.**; Сороина Т.Г., канд. техн. наук;  
Столин А.М., проф.; Шмотин Ю.Н., канд. техн. наук

## Редакционный совет

Л.Р. Вишняков, проф.(Украина); С.В. Ломов, проф. (Бельгия); A.R. Bunsell, проф. (Франция); K.K. Chawla, проф. (США);  
T-W Chou, проф. (США); Sh. Du, проф. (КНР); T. Ishihara, д-р (Япония); **A. Kelly, проф.(Англия)**;  
A. Kayama, проф. (Япония); W.M. Kriven, проф. (США); L.M. Manocha, проф. (Индия); V.M Orera, проф. (Испания);  
H. Schneider, проф. (Германия); K. Schulte, проф. (Германия); G.C. Sih, проф. (США); M. Singh, д-р (США);  
H.D. Wagner, проф. (Израиль)

### Учредители:

ИФТТ РАН;

ООО «Научно-техническое предприятие  
«Вираз-Центр»

### Редакция: ИФТТ РАН

Россия, 142432, г. Черноголовка

Московской обл.

Тел./Факс: +7(49652)22493

<http://www.issp.ac.ru>

Ведущий редактор: Н.А.Прокопенко

### Издательство: ООО НТП «Вираз-Центр»

Россия, 105264, Москва,

ул. Верхняя Первомайская, д. 49, корп. 1 офис 401.

Почтовый адрес: Россия, 105043, Москва, а/я 29

Тел.: 7 495 780-94-73

<http://www.machizdat.ru>

e-mail: [virste@dol.ru](mailto:virste@dol.ru)

Директор журнала: М.А.Мензулов

Вёрстка: А.А.Мензулов

Отпечатано: ООО «РПЦ ОФОРТ» г. Москва,

пр-кт Будённого, 21

Заказ №

Тираж 100

Цена – договорная

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации средства массовой информации № ФС77-33449 от 08.10.2008.

Авторы опубликованных материалов несут полную ответственность за достоверность приведённых сведений, а также за наличие в них данных, не подлежащих открытой публикации. Материалы рецензируются.

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, публикуемых в журнале, осуществляются только с разрешения редакции.

На первой стр. обложки: Рис. 3. Рентгеновский спектр, снятый со среднего сечения образца H0071.

Из статьи: Получение силицид-молибденовых композитов методом внутренней кристаллизации.

# Composites and Nanostructures

<http://www.issp.ac.ru/journal/composites/>

ISSN 1999-7590

**Editor-in-Chief**  
**Professor Sergei T. Mileiko**

## Editorial Board

Professor M.I. Alymov (Russia); Professor R.A. Andriyevskii (Russia); Professor B.D. Annin (Russia);  
Dr Yu.O. Bakhvalov, (Russia); Professor A.R. Bunsell (France); Professor K.K. Chawla (USA); Professor T-W Chou (USA);  
Dr T. Ishihara (Japan); Professor Sh. Du (China); Professor D.V. Georgievskii (Russia); Professor A.M. Gleser (Russia);  
Professor A. Kelly (UK); Professor A. Kayama (Japan); Professor Yu.R. Kolobov (Russia); Professor V.I. Kostikov (Russia);  
Professor W.M. Kriven (USA); Professor A.M. Kuperman (Russia); Professor S.V. Lomov (Belgium);  
Professor S.A. Lurie (Russia); Professor L.M. Manocha (India); Professor V.M. Orera (Spain); Professor S.A. Patlazhan (Russia);  
Professor B.E. Pobyedrya (Russia); Professor S.B. Sapozhnikov (Russia); Professor H. Schneider (Germany); Dr  
Shmotin Yu. N. (Russia); Dr T.G. Sorina (Russia); Professor A.M. Stolin (Russia); Professor K. Schulte (Germany);  
Professor A.V. Serebryakov (Russia); Professor V.G. Sevastyanov (Russia); Professor G.C. Sih (USA); Dr M. Singh (USA);  
Professor V.V. Vikulin (Russia); Professor L.R. Vishnyakov (Ukraine); Professor H.D. Wagner (Israel)

### Established by:

Solid State Physics Institute  
Russian Academy of Sciences  
(ISSP RAS)  
and  
Science Technical Enterprise  
«Virag-Centre» LTD

### ISSP RAS:

2, Institutskaya str., Chernogolovka, Moscow district., Russia,  
142432

**Tel./Fax:** +7(49652)22493

<http://www.issp.ac.ru/journal/composites/>

**Editor:** Nelli Prokopenko

### Publishing House:

STE Virag-Centre LTD  
49/1, Verchnyaya Pervomayskaya str., Moscow,  
Russia, 105043.  
Phone: 7 495 780 94 73  
<http://www.mashizdat.ru>

### Director of journal

M.A. Menzullov

### Making-up

A.A.Menzullov

**Photo on the cover:** Fig. 3. X-ray spectrum obtained from the middle section of specimen H0071. See a colour image on the cover page of the journal.

PRODUCING SILICIDE/MOLYBDENUM COMPOSITES BY USING INTERNAL CRYSTALLIZATION METHOD

**СОДЕРЖАНИЕ**

<b>С.Т.Милейко, Н.И.Новохатская, А.М.Столин, П.М.Бажин</b> <b>ПОЛУЧЕНИЕ СИЛИЦИД-МОЛИБДЕНОВЫХ КОМПОЗИТОВ МЕТОДОМ</b> <b>ВНУТРЕННЕЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ</b> .....	<b>185</b>
Показана принципиальная возможность использования метода внутренней кристаллизации, разработанного ранее в качестве основы технологии получения оксидных волокон в молибденовой матрице, - для получения силицид-молибденовых композитов. Демонстрация указанной возможности выполнена в серии экспериментов, в результате которых получены композиты с молибденовой матрицей и волокнами на основе $\text{Mo}_3\text{Si}$ . Полученные композитные образцы характеризуются структурой, типичной для волокнистых композитов, с некоторыми отличиями, связанными с особенностями выбранной системы волокно-матрица. Композиты характеризуются высокими величинами крипостойкости при температурах до 1400 °С. Они являются модельными, поскольку в настоящее время не обладают необходимой трещиностойкостью. Полученные результаты указывают на пути конструирования реальных высокожаропрочных композитов с металлической матрицей (с. 185–197; ил. 7).	
<b>В.Г.Севастьянов, Е.П.Симоненко, Н.П.Симоненко, Д.В.Гращенко,</b> <b>С.Ст.Солнцев, Г.В.Ермакова, Г.М.Прокопченко, Е.Н.Каблов, Н.Т.Кузнецов</b> <b>ПОЛУЧЕНИЕ НИТЕВИДНЫХ КРИСТАЛЛОВ КАРБИДА КРЕМНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ</b> <b>ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДА В ОБЪЕМЕ SiC-КЕРАМИКИ</b> .....	<b>198</b>
Показана перспективность применения гибридной методики синтеза нанокристаллического карбида кремния на основе золь-гель процесса гидролиза тетраэтоксисилана в присутствии полимерного источника углерода с образованием геля, ступенчатой сушки, карбонизации системы при умеренных температурах (с формированием высокодисперсной химически активной, максимально однородно распределенной системы « $\text{SiO}_2 - \text{C}$ »), с последующим карботермическим синтезом для создания упрочняющей матрицы в объеме керамического карбидокремниевых материала (с. 198–211; ил. 11).	
<b>А.С.Смолянский, М.И.Иким, А.В.Желтова, С.М.Рындя, А.С.Шведов, Л.И.Трахтенберг</b> <b>НАНО-/МИКРОСТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЯДЕРНЫХ ФИЛЬТРОВ</b> <b>НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТНЫХ ПЛЁНОК ПРИ ОЗОН-КИСЛОРОДНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ</b> .....	<b>212</b>
Методами растровой электронной и атомно-силовой микроскопии, рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии и смачиваемости по дистиллированной воде изучены закономерности взаимодействия электрохимически генерируемой озон-кислородной смеси с образцами ядерных фильтров на основе полиэтилентерефталатных плёнок в газовой и водной средах. Обнаружено протекание интенсивных процессов окислительной деструкции на поверхности и боковых стенках микропор при воздействии озона как в газовой, так и в водной средах, что приводит к заметному увеличению их размеров. Показано, что изменение смачиваемости зависит от режима обработки озон-кислородной смесью: в газовой среде происходит гидрофобизация поверхности; в случае жидкофазного озонлиза установлено увеличение гидрофильности поверхности ядерных фильтров. Предложен механизм деструкции полиэтилентерефталата при воздействии озона в газовой фазе. В случае жидкофазного озонлиза деструкция может протекать по механизму щелочного гидролиза (с. 212–222; ил. 6).	
<b>В.А.Крючков, М.В.Крючков, Н.В.Выморков, Я.М.Портнова, Н.В.Бушанский, С.Н.Бушанский</b> <b>ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАНУЛИРОВАННЫХ</b> <b>МНОГОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК</b> .....	<b>223</b>
Описан способ получения полимерных нанокompозитных материалов с использованием гранулированных углеродных многослойных нанотрубок (МУНТ). На примере двухслойных МУНТ, выращенных каталитическим пиролизом метана, описана технология получения гранул и нанокompозитов на их основе. Представлены результаты исследования свойств МУНТ, гранул из них, а также нанокompозитов на основе эпоксидной смолы ЭД-20. Показано, что использование гранулированных МУНТ для получения нанокompозитов позволяет по сравнительно простой технологии получать материалы с высокими механическими характеристиками (с. 223–229; ил. 7).	
<b>Матнишян А.А., Хачатрян Т.Т., Ахназарян Т.Л., Минасян Г.Г.</b> <b>СИНТЕЗ КОМПОЗИТОВ ПОИАНИЛИНА С ДВУОКИСЬЮ СВИНЦА</b> .....	<b>230</b>
Исследованы закономерности окисления анилина персульфатом аммония в кислых водных средах в присутствии $\text{PbO}_2$ . Изучено влияние $\text{PbO}_2$ на скорость реакции, особенности поликонденсации анилина и молекулярную массу образующегося полимера. Впервые получены электропроводные композиты полианилина с двуокисью свинца. Поликонденсация анилина и синтез его композитов с $\text{PbO}_2$ совмещены в одном реакторе. Метод позволяет получить композиты с ядром из $\text{PbO}_2$ и оболочкой из полианилина, а также регулировать содержание $\text{PbO}_2$ в композитах. Показано, что скорость поликонденсации анилина растёт пропорционально количеству $\text{PbO}_2$ в реакционной среде, а индукционный период реакции и молекулярная масса полианилина уменьшаются. Определены состав и свойства полученных продуктов (с. 230–237; ил. 2).	
<b>Исходжанова И.В., Быценко О.А., Антифеева Н.В., Столянков Ю.В.</b> <b>ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ РЕЗА НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ ОБРАЗЦОВ</b> <b>ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ</b> <b>КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ</b> .....	<b>238</b>
При изучении влияния технологии реза образцов из полимерных композиционных материалов (ПКМ) на качество поверхности обнаружено, что, помимо известного вида дефектов (трещины), на обработанной поверхности присутствуют дефекты в виде сколов, которые также являются факторами, определяющими качество поверхности после механической обработки. Определены количественные параметры, характеризующие обнаруженный вид дефектов и предложена методика его оценки. Представлен метод оценки качества реза из ПКМ после обработки резанием при использовании различных типов отрезного оборудования методом оптической микроскопии и количественного анализа видеонизображений с использованием программ «Image Expert Sequencer 4» и «Image Expert Pro 3x» (с. 238–244; ил. 6).	

## CONTENS

**S.T.Mileiko, N.I.Novokhatskaya, A.M.Stolin, P.M.Bazhin**

PRODUCING SILICIDE/MOLYBDENUM COMPOSITES BY USING INTERNAL CRYSTALLIZATION METHOD ..... 185

There is shown a possibility to use the internal crystallisation method, which was developed earlier as a base for crystallisation of oxide fibres in a molybdenum matrix, to produce silicide/molybdenum composites. A series of the experiments resulted in obtaining composites with  $\text{Mo}_3\text{Si}$ -based fibres and molybdenum matrix. Composite specimens obtained have microstructures typical for fibrous composites with some peculiarities arisen as a result the particular fibre/matrix system under consideration. The composites are characterized by high creep resistance at temperatures up to 1400 °C. They are to be considered as model ones since at present they do not have sufficiently high fracture toughness properties. The results obtained show ways of designing real metal matrix composites for very high temperature use (p. 185-197; fig. 7).

**V.G.Sevastyanov, E.P.Simonenko, N.P.Simonenko, D.V.Grashchenkov, S.St.Soltsev,**

**G.V. Ermakova, G.M. Prokopchenko, N.T. Kuznetsov**

SYNTHESIS OF SiC-WHISKERS VIA SOL-GEL TECHNIQUE IN THE BULK OF SiC-CERAMIC ..... 198

Good prospects of the application of the hybrid method for synthesis of nanocrystalline silicon carbide were demonstrated. The method consists of the following steps: sol-gel hydrolysis of tetraethoxysilane in the presence of polymeric source of carbon to form gel; multistage drying; carbonization of the system at moderate temperatures with the formation of superfine, reactive and uniformly distributed « $\text{SiO}_2 - \text{C}$ » mixture; carbothermal synthesis for creation of the reinforcing matrix in the bulk of SiC ceramic material (p. 198-211; fig. 1).

**A.S.Smolyanskii, M.I. Ikim, A.V. Zheltova, S.M.Ryndya, A.S.Shvedov, L.I.Trakhtenberg**

NANO/MICRO-STRUCTURAL CHANGES ON THE SURFACE OF NUCLEAR FILTERS PRODUCED

FROM THE POLYETHYLENE TEREPHTHALATE FILMS AFTER OZONE-OXYGEN TREATMENT ..... 212

By means of scanning electron and atomic force microscopy, X-ray photoelectron spectroscopy and wettability by distilled water interaction of an electrochemically generated ozone-oxygen mixture with nuclear filters on the basis of polyethylene terephthalate was studied in the gas and water environment. Intensive course of oxidizing destruction processes on the surface and the side walls of the micropores when exposed to either gas or water in the ozone was found, which yields a noticeable increase in their size. It was shown that the wettability changes depended on the mode of the sample handling by ozone-oxygen mixture: in the gas phase the increase in the surface hydrophobicity occurs; in the case of liquid-phase ozonolysis the increase in the hydrophilicity of the surface nuclear filters was observed. The mechanism of destruction of polyethylene terephthalate when exposed to ozone in the gas phase is suggested. In the case of liquid-phase ozonolysis destruction can go on according to the mechanism of alkaline hydrolysis (p. 212-222; fig. 6).

**Krychkov V.A., Krychkov M.V., Vymorkov N.V., Portnova Y.M., Bushansky N.V., Bushansky S.N.**

PREPARATION OF POLYMERIC NANOCOMPOSITES BY USING GRANULATED

MULTILAYER CARBON NANOTUBES ..... 223

A method for preparing polymeric nanocomposite materials by using granulated multi-walled nanotubes (MWCNT) is described. A fabrication technology of the granules and granules-based nanocomposites is disclosed by using as an example two-layered nanotubes. Properties of MWCNT's, their granules, and nanocomposites with epoxy resin ED-20 are described. It is shown that the use of granulated MWCNT in nanocomposites yields a relatively simple technology of materials with high mechanical characteristics (p. 223-229; fig. 7).

**H.A.Matnishyan, T.T.Khachatryan, T.L.Haknazaryan, G.H.Minasyan**

SYNTHESIS OF LEAD DIOXIDE/POLYANILINE COMPOSITES ..... 230

A study of oxidation of aniline by ammonium persulfate in acidic aqueous media in the presence of  $\text{PbO}_2$  was carried out. An effect of  $\text{PbO}_2$  on the reaction rate, features of polycondensation of aniline and molecular weight of a resulting polymer was studied. Polyaniline - lead dioxide composites were obtained for the first time. Polycondensation of aniline and synthesis of its composites with  $\text{PbO}_2$  combined in a single reactor. The method allows obtaining composites with a core of  $\text{PbO}_2$  and polyaniline shell, as well as regulating the content of  $\text{PbO}_2$  in composites. It was shown that the rate of the polycondensation of aniline increases in proportion of  $\text{PbO}_2$  in the reaction medium, and the induction period of the reaction and the molecular weight of polyaniline decreases. Compositions and properties of the obtained products are determined (p. 230-237; fig. 2).

**Iskhodzhanova I.V., Bytcenko O.A., Antyufeeva N.V., Stolyankov Y.V.**

ASSESSMENT OF EFFECT OF CUTTING ON THE SURFACE QUALITY OF FIBRE REINFORCED

POLYMER SPECIMENS BY USING QUANTITATIVE ANALYSIS OF VIDEO IMAGES ..... 238

When studying effect of cutting technology on quality of surface in the cutting zone, it is found that, in addition to a known type of the defects being flaws and cracks, on the surface there are chipping clearance which also defines surface quality after cutting. Quantitative parameters characterizing the discovered type of defects are determined by a proposed technique of their assessment.

The method of the machine PCM cut quality assessment after processing by cutting when using different types of cutting and cutoff devices by optical microscopy and quantitative analysis of video images using Image Expert Sequencer 4 and Image Expert Pro 3x program packages (p. 238-244; fig. 6).