

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)



# ФИЗИКА И ТЕХНОЛОГИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ И СТРУКТУР

**Сборник научных статей  
3-й Международной конференции**

**23-25 мая 2017 года**

**ТОМ 1**

в 2-х томах

Курск - 2017

УДК 54+534  
ББК В22  
Ф50

**Физика и технология наноматериалов и структур:** сборник научных статей 4-й Международной научно-практической конференции (23-25 мая 2017 года); Юго-Зап. гос. ун-т., в 2-х томах, Том 2, Курск: ЗАО «Университетская книга», 2017, - 350 с.

**ISBN 978-5-9500275-1-2**

Содержание материалов конференции составляют научные статьи отечественных и зарубежных ученых. Излагается теория, методология и практика научных исследований в области физики, нанотехнологий.

Предназначен для научно-технических работников, ИТР, специалистов, преподавателей, студентов и аспирантов вузов.

Материалы в сборнике публикуются в авторской редакции.

*Мероприятие проведено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Проект №.17-02-20194 Г «Проект организации III Международной научно-практической конференции «Физика и технология наноматериалов и структур»*

**ISBN 978-5-9500275-1-2**

УДК 621+658+685  
ББК У9(2)0-55

© Юго-Западный государственный  
Университет  
© ЗАО «Университетская книга», 2017  
© Авторы статей, 2017

<i>Антонова Е.В., Шевченко Е.В., Чарная Е.В., Кумзеров Ю.А.</i> СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ ТРОЙНОГО ЭВТЕКТИЧЕСКОГО СПЛАВА Ga-In-Sn В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОЙ ГЕОМЕТРИИ.....	117
<i>И.С. Двужилов, Ю.В. Невзорова, М.Б. Белоненко</i> ДВУМЕРНЫЕ ПРЕДЕЛЬНО КОРОТКИЕ ОПТИЧЕСКИЕ ИМПУЛЬСЫ В НЕОДНОРОДНОЙ СРЕДЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК, ОБЛАДАЮЩИХ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТЬ.....	121
<i>В.И.Колмыков, И.Н. Родионова, О.В. Воробьёва, Л.М.Фомичёва</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ЖЕЛЕЗНЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ С НАПОЛНИТЕЛЕМ ИЗ НАНОДИСПЕРСНОГО ДИОКСИДА КРЕМНИЯ .....	122
<i>В.Г.Косушкин, Л.В.Кожитов, Л.М.Червяков, И.А.Каплунов</i> ФОРМИРОВАНИЕ МИКРО- И НАНОДЕФЕКТОВ ГЕРМАНИЯ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ МОНОКРИСТАЛЛОВ .....	128
<i>В.Ф. Харламов</i> ОХЛАЖДЕНИЕ МЕЛКОДИСПЕРСНОГО ПОЛУПРОВОДНИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ.....	133
<b>Новые материалы (включая широкозонные полупроводники, ферромагнитные, углеродные, полимерные, оксидные наноструктуры и биоматериалы).....</b>	<b>139</b>
<i>Х.А.Абдуллин, М.Т.Габдуллин, Д.Г.Батрышев, Д.В.Исмаилов, Е. Ерланулы, Ж.Е.Отарбай</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДОРОД - СОРБЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФуллереНА .....	139
<i>Е.В. Агеев, А.Ю. Алтухов, Е.В. Агеева, Е.П. Новиков</i> ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫХ ПОРОШКОВ МИКРО И НАНОФРАКЦИЙ .....	143
<i>Е.В. Агеев, А.Ю. Алтухов, Р.А. Латыпов, С.В. Хардигов</i> РЕНТГЕНСПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НАНОСТРУКТУРНЫХ ПОКРЫТИЙ .....	149
<i>Е.В. Агеев, А.Ю. Алтухов, Е.П. Новиков, А.Н. Новиков</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫХ ПОРОШКОВ МИКРО И НАНОФРАКЦИЙ	154
<i>Е.В. Агеев, А.Ю. Алтухов, С.В. Хардигов, С.В. Пикалов</i> МИКРОСКОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НАНОСТРУКТУРНЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ .....	159
<i>С.А. Адарчин, В.Г. Косушкин, И.Р. Бережанский, Н.С. Кулагина, С.Г. Емельянов, Л.В. Кожитов</i> ФОРМИРОВАНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ ДЕФЕКТОВ В УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТАХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ.....	163

<i>Х.А. Абдуллин, М.Т. Габдуллин, Д.В. Шур, Д.Г. Батрышев, Д.В. Исмаилов, Д.С. Керимбеков, Ж.Е. Аяганов</i> СИНТЕЗИРОВАНИЕ МЕТАЛЛОФУЛЛЕРЕНОВ В ЭЛЕКТРОДУГОВОМ РАЗРЯДЕ В АТМОСФЕРЕ ГЕЛИЯ.....	168
<i>Т.Г. Аминов, Г.Г. Шабунина, Е.В. Бушева, В.М. Новоторцев</i> МАГНИТНЫЙ ПОЛУПРОВОДНИК CoCr <sub>2</sub> S <sub>4</sub> , ЛЕГИРОВАННЫЙ Ga .	172
<i>Т.Г. Аминов, Г.Г. Шабунина, Е.В.Бушева, В.М.Новоторцев</i> СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ Cd <sub>1-x</sub> Fe <sub>x</sub> Cr <sub>2</sub> S <sub>4</sub> (x=0,5-0,8) .....	177
<i>А.Н. Аронов, С.Ф. Маренкин, И.В.Федорченко</i> СИНТЕЗ МЕТАСТАБИЛЬНОЙ ФАЗЫ CdGeAs <sub>2</sub> в системе Cd-Ge-As.....	181
<i>Ж.Е. Аяганов, М.Т. Габдуллин, Х.А. Абдуллин, Д.В. Исмаилов, Б.К. Кошкинбай</i> МЕТОД ХАММЕРА КАК СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНОГО ГРАФИТА ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ.....	186
<i>Г.С. Баронин, В.М. Бузник, С.В. Мищенко, Д.О. Завражин, В.В. Худяков</i> СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА И НАНОЧАСТИЦ ТИТАНА И КРЕМНИЯ.....	191
<i>А.В.Безруков, Е.В.Белоусова, В.Г.Косушкин, В.В. Парамонов, С.Г.Емельянов, Л.В. Кожитов</i> ВЛИЯНИЕ ЛИНИЙ СКОЛЬЖЕНИЯ В СТРУКТУРАХ КРЕМНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ .....	195
<i>Г.Ш. Болтачев, Н.Б. Волков, А.В. Спиринов, Е.А. Чингинат</i> ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ КОМПАКТИРОВАНИЯ НА УПЛОТНЯЕМОСТЬ НАНОПОРОШКОВ: 2D МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ ГРАНУЛЯРНОЙ .....	199
<i>С.В. Борознин, И.В. Запорожкова, Н.П. Борознина</i> ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОННО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ БОРОУГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ТИПА "КРЕСЛО".....	205
<i>Е.В.Грехнева, Т.Н.Кудрявцева</i> СПОСОБ СОЗДАНИЯ НОВЫХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ФОРМ, ОБЛАДАЮЩИХ ПОВЫШЕННОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ДОСТУПНОСТЬЮ И ПРОЛОНГИРОВАННЫМ ДЕЙСТВИЕМ.....	211
<i>А.А. Жиленков</i> ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ЭПИТАКСИАЛЬНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ НАНОСТРУКТУР III-N МАТЕРИАЛОВ .....	213
<i>О.А. Какорина, И.В. Запорожкова, Л.В. Кожитов</i> МЕТАЛЛОУГЛЕРОДНЫЕ НАНОКОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ ПИРОЛИЗОВАННОГО ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛА С ВНЕДРЕННЫМИ В МЕЖСЛОЕВОЕ ПРОСТРАНСТВО АТОМАМИ ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ.....	217

## Новые материалы (включая широкозонные полупроводники, ферромагнитные, углеродные, полимерные, оксидные наноструктуры и биоматериалы)

### ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДОРОД - СОРБЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФУЛЛЕРЕНА

*Х.А.Абдуллин<sup>1</sup>, М.Т.Габдуллин<sup>1</sup>, Д.Г.Батрышев<sup>2</sup>, Д.В.Исмаилов<sup>1</sup>,  
Е. Ерланулы<sup>1,2</sup>, Ж.Е.Отарбай<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Национальная нанотехнологическая лаборатория открытого типа при КазНУ им. аль-Фараби, 050040, Казахстан, г. Алматы, пр. аль-Фараби 71

<sup>2</sup>Лаборатория инженерного профиля при КазНУ им. аль-Фараби, 050040, Казахстан, г. Алматы, пр. аль-Фараби 71

<sup>3</sup>НИИЭТФ при КазНУ им. аль-Фараби, 050040, Казахстан, Алматы, пр. аль-Фараби, 71

Поиск экологически чистого и высокоэффективного дешевого энергоносителя, легкодоступного и практически неисчерпаемого источника энергии давно и прочно заняли ведущее место в перечне проблем, влияющих на перспективу дальнейшего не только развития, но и существования всего человечества. Одним из перспективных путей получения тепловой энергии является использование водорода, производимого из воды с применением экологически чистых первичных энергоисточников. Водород - это идеальное топливо с высокой теплотой сгорания и безвредным продуктом горения – водяным паром [1].

Хранение водорода – одно из промежуточных звеньев в жизненном цикле водорода от его производства до потребления. Разработка наиболее экономичных и эффективных способов хранения водорода представляет собой одну из главных технологических проблем водородной энергетики.

Для хранения водорода предлагаются различные виды водородных аккумуляторов – источников водорода, в которых при комнатной температуре атомы водорода находятся в связанном состоянии с материалом сорбента либо химически, либо в инкапсулированном виде. С повышением температуры такие связи водорода с сорбентом разрушаются, тем самым высвобождая атомы водорода. На данный момент, для хранения водорода благодаря своей низкой удельной плотности и большой удельной поверхности используются углеродные наноматериалы: активированный уголь [2], графен [3-4], многостенные и одностенные углеродные нанотрубки [5-6], фуллерены [7-8] и т.д. В связи с выше сказанным исследование водород - сорбционных характеристик фуллера является весьма актуальным.

Известно, что фуллерен может существовать в виде газа (при температурах 450 °С и выше) или твердого тела. При нормальных условиях фуллерен находится в виде твердого тела, которое принято называть фуллеритом. Гидрирование твердого фуллера, то есть фуллерита можно

осуществит различными методами. Например, прямое некаталитическое гидрирование [9], каталитическое гидрирование в толуольном растворе [5], радикальное гидрирование с промотором C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>I [10] и многие другие методы представленных в работах [11-14].

В данной работе исследования водород - сорбционных характеристик фуллера проводится некаталитический методом на установке типа Сиверта. Суть методики экспериментов заключается в следующем: если заранее известна водородоёмкость образца, например образец не гидрировался, и он расположен в замкнутом объёме, заполненном водородом с определёнными параметрами, то по изменениям параметров газовой фазы и сравнением с исходными значениями можно определить процентное содержание водорода в образце.

Сорбционная ёмкость по водороду определялась по следующей формуле [15]:

$$a = \frac{\Delta n}{m} + \frac{P}{ZRT} \frac{1}{\rho} \quad (1)$$

где  $Z=Z(P, T)$  - коэффициент сжимаемости для газообразного водорода,  $R$  - газовая постоянная,  $\Delta n=n_0-n$  - разность,  $\rho$  - удельная плотность.

В процессе исследования водород – сорбционных характеристик фуллеренов были проведены экспериментальные работы по гидрогенизации. Эксперимент проводился в двух этапах, первое – предварительный отжиг. Второе – гидрогенизация фуллерита.

Для определения оптимального режима проведения реакции гидрирования фуллереновой молекулы при давлении водорода 12 МПа был проведен 75 часовой эксперимент. В ходе этого эксперимента выяснялась температура, при которой скорость взаимодействия водорода с фуллереновой молекулой будет максимальной. Для проведения эксперимента использовали навески фуллерита C<sub>60</sub> массой 0,501 г. Реактор вакуумировали в течение одного часа для удаления примесей из фуллерита. После этого из металлогидридного накопителя в реактор подавали водород до давления 12,5 МПа и выдерживали 4 часа. Затем температуру в реакторе поднимали до 200 °С (со скоростью 1° в минуту). При этом давление в реакторе увеличивалось на 0,3 МПа (достигнув 12,8 МПа). Это может быть объяснено разложением сольватов, образовавшихся при кристаллизации фуллерита. Для стабилизации баро-температурного режима образец выдерживали еще 4 часа ( $T = 200$  °С,  $P = 12,8$  МПа). На 480 минуте продолжили подъем температуры в реакторе от 200 до 600 °С со скоростью 0,125 градусов в минуту.

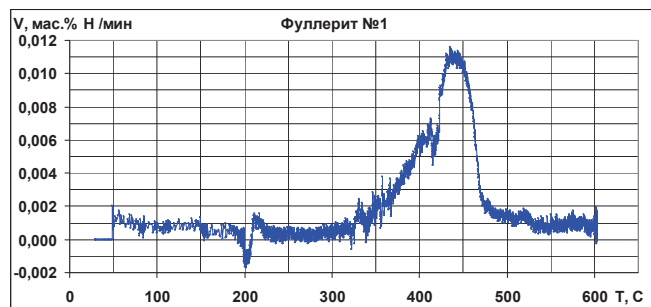


Рисунок 1 – Зависимость скорости взаимодействия фуллерита  $C_{60}$  с водородом от температуры

Это соответствовало изменению температуры от 425 до 455°C (рисунок 1). При дальнейшем повышении температуры скорость взаимодействия начала снижаться.

В этом эксперименте выдержка образца в течение 10 часов при  $P = 12$  МПа и температуре 200°C привела к изменению массы образца на 0,6 мас.%. Общее количество водорода, поглощенное образцом в ходе эксперимента зафиксировано на уровне 8,2 мас.% H (рисунок 2).

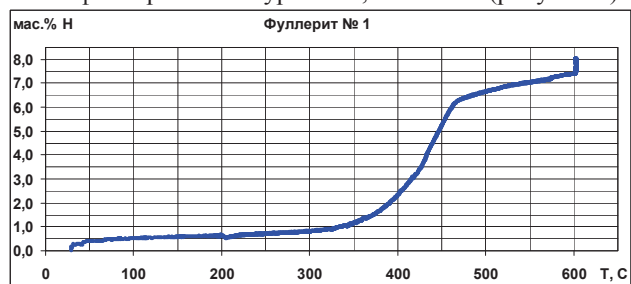


Рисунок 2 – Температурная зависимость изменения массы образца фуллерита  $C_{60}$  в ходе эксперимента

На рисунке 3 приведена кривая по адсорбции водорода в ГЦЛ решетке фуллерита. Где масса водорода в решетке фуллерита составляет 0,5 мас. %.

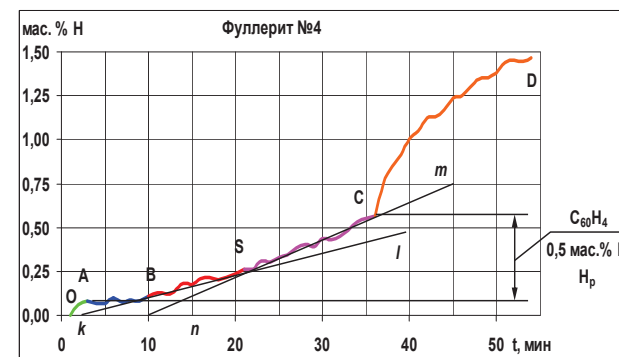


Рисунок 3 – Адсорбция  $H_2$  и двустадийная абсорбция водорода в ГЦЛ решетке фуллерита. Стрелкой отмечено содержание решеточного водорода ( $H_p$ )

Учитывая экспериментальные данные, полученные при гидрировании фуллерита, следует отметить, что на практике при анализе экспериментальных данных следует учитывать обе составляющие как решеточный ( $H_p$ ) (рисунок 3), так и фуллерированный ( $H_\Phi$ ) водород. Общее ( $H_{общ}$ ) содержание водорода в фуллерите  $C_{60}$  может достигать массы 8,2 мас. %, т.е. –  $H_{общ} = H_p + H_\Phi = H_4 + H_{60} = H_{64}$  т.е.  $0,5 + 7,7 = 8,2$  мас.%H.

#### Список литературы

1. Гельфанд Б.Е., Попов О.Е., Чайванов Б.Б., Водород: параметры горения и взрыва, - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008.-288 с.
2. Schlapbach L.; Zuttel A., Hydrogen-storage materials for mobile applications. Nature 2001, 414, (6861), 353-358.
3. Novoselov K. S. et al. «Two-dimensional gas of massless Dirac fermions in graphene», Nature 438, 197 (2005) DOI:10.1038/nature04233
4. Srinivas G.; Zhu Y. W.; Piner R.; Skipper N.; Ellerby M.; Ruoff R., Synthesis of graphene-like nanosheets and their hydrogen adsorption capacity. Carbon 2010, 48, (3), 630-635
5. Ye Y.; Ahn C. C.; Witham C.; Fultz B.; Liu J.; Rinzler A. G.; Colbert D.; Smith K. A.; Smalley R. E., Hydrogen adsorption and cohesive energy of single-walled carbon nanotubes. Applied Physics Letters 1999, 74, (16), 2307-2309.
6. Zhang X. R.; Cao D. P.; Chen J. F., Hydrogen adsorption storage on single-walled carbon nanotube arrays by a combination of classical potential and density functional theory. Journal of Physical Chemistry B 2003, 107, (21), 4942-4950.
7. Dresselhaus S., Williams K., Eklund P.C., Hydrogen absorption in carbon materials// MRS Bellitin. – 1999. – V.24, N11. – P.45-50.
8. Shigematsu K., Abe K., Mitani M., Tanaka K., Catalytic hydrogenation of fullerene  $C_{60}$  // Chem. Express. – 1992. – V.7, N12. – P.37-40.
9. Jin C., Hettich R., Compton R., Joyce D., Blencoe J., Burch T. Direct solid-phase hydrogenation of fullerenes// J. Phys. Chem. – 1994. – V.98. – P.4215.
10. Attalla M.I., Vassallo A.M., Tattam B.N., Hanna J.V., Preparation of hydrofullerenes by hydrogen radical induced hydrogenation// J.Phys. Chem. – 1993. – V.97. – P.6329-6331.

11. Henderson, C. C.; Cahill, P. A., C60h2 - Synthesis of the Simplest C60 Hydrocarbon Derivative. Science – 1993. – V.259, N.5103 – P. 1885-1887.

12. Ballenweg, S.; Gleiter, R.; Kratschmer, W., Hydrogenation of Buckminsterfullerene C-60 Via Hydrozirconation - a New Way to Organofullerenes. Tetrahedron Letters – 1993. – V.34, N.23. – P. 3737-3740.

13. Ruchardt, C.; Gerst, M.; Ebenhoch, J.; Beckhaus, H. D.; Campbell, E. E. B.; Tellgmann, R.; Schwarz, H.; Weiske, T.; Pitter, S., Bimolecular Radical Formation through H-Transfer .3. Transfer Hydrogenation and Deuteration of Buckminsterfullerene C-60 by 9,10-Dihydroanthracene and 9,9',10,10'[D(4)]Dihydroanthracene. Angewandte Chemie-International Edition in English – 1993. – V. 32, N.4. – P. 584-586.

14. Darwish, A. D., Abdulsada, A. K., Langley, G. J., Kroto, H. W., Taylor, R., Walton, D. R. M., Polyhydrogenation of [60]-Fullerenes and [70]-Fullerenes// Journal of the Chemical Society-Perkin Transactions 2 – 1995. – V. 12. – P. 2359-2365.

15. D.V. Schur , M.T. Gabdullin , S.Yu. Zaginaichenko, T.N. Veziroglu , M.V. Lototsky, V.A. Bogolepov , A.F. Savenko, Experimental set-up for investigations of hydrogen-sorption characteristics of carbon nanomaterials// International Journal of Hydrogen Energy – 2016 – V.41, 1 – P.401-406

УДК 621.762.27

### **ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫХ ПОРОШКОВ МИКРО И НАНОФРАКЦИЙ**

**Е.В. Агеев<sup>1</sup>, А.Ю. Алтухов<sup>1</sup>, Е.В. Агеева<sup>1</sup>, Е.П. Новиков<sup>1</sup>**  
<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО Юго-Западный государственный университет,  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, д. 94.

*Представлены результаты исследования фазового состава электроискровых покрытий, полученных методом электроискрового легирования на установке UR-121. Установлено, что основными фазами электроискровых покрытий являются Fe, W<sub>2</sub>C и WC.*

*Ключевые слова: рентгеноструктурный микроанализ, электроэрозионное диспергирование, фазовый состав порошка электроискровое легирование, микро и нанодисперсии.*

В настоящее время для получения на металлических поверхностях покрытий многофункционального назначения одним из перспективных является метод электроискрового легирования (ЭИЛ). Основными электродными материалами в основном служат спеченные твердые сплавы, стоимость которых, ввиду присутствия дорогостоящего вольфрама, относительно высока. Для решения данной проблемы в качестве электродного материала предлагается использовать порошок быстрорежущих сталей марки Р6М5 смешанный с порошком твердого сплава марки ВК-8 в различных пропорциях.

Одним из прогрессивных и промышленно не применяемых методов получения порошка микро и нанодисперсий, из любого материала

проводящего ток, который отличается небольшими затратами электроэнергии и отсутствием загрязнения окружающей среды, является метод электроэрозионного диспергирования (ЭЭД) [1-14].

Целью настоящей работы являлось исследование фазового состава электроискровых покрытий, полученных с помощью электродного материала из электроэрозионных порошков быстрорежущих сталей марки Р6М5 смешанной с порошком твердого сплава марки ВК-8 в различных пропорциях.

Для получения порошка микро и нанодисперсий из отходов твердого сплава и быстрорежущей стали использовали установку для ЭЭД токопроводящих материалов [15].

На первом этапе прессования порошок помещали в гибкую резиновую форму и предварительно вручную уплотняли до плотности 3,1847 г/см<sup>3</sup>. Далее образцы помещали в рабочую камеру пресса при температуре 18°С, давление нагнетали до необходимой величины, при этом давлении образец выдерживался в течение 2 минуты, после чего давление сбрасывали до атмосферного и скомпактированные образцы извлекали из резиновой формы. Были использованы следующие давления изостатического прессования 250 МПа. Скомпактированные образцы в печи Nabetherm VHT 8/22 спекали в течение 2 часов при температуре 1250°С в среде аргона. Первый электрод был получен путем смешивания порошков в соотношении ВК-8 (90%) + Р6М5(10%), а второй электрод путем смешивания порошков в соотношении ВК-8 (70%) + Р6М5(30%)

Электроискровые покрытия, сформированные такими электродами, на образцах из стали 30ХГСА получали на установке UR-121 (производство фирмы ПЭЛМ, г. Подольск)

Исследование фазового состава образцов проводили методом рентгеновской дифракции на дифрактометре Rigaku Ultima IV в излучении Cu-K<sub>α</sub> (длина волны λ = 0.154178 нм) с использованием щелей Соллера. Съемку дифракционного спектра для фазового анализа проводят по схеме θ-2θ сканирования с фокусировкой по Брегу-Брентано в интервале углов 5...100 град. 2 θ. Съемку осуществляют в поточечном режиме с шагом сканирования Δ(2θ) = 0,02 град, скоростью 0,6 град/мин, рабочее напряжение 45 кВ, ток 200 мА. Для уточнения профиля экспериментальных рентгенограмм использовали программный пакет PDXL RIGAKU. Вычитание фона проводили методом Сонневельда – Виссера, сглаживание экспериментального профиля методом Савицкого – Голая, разделение компонент k<sub>α1</sub> и k<sub>α2</sub> методом Рачингера.

Для описания дифракционных максимумов использовали суперпозицию функции Гаусса и функции Лоренца. Аппроксимация каждого из рефлексов на дифрактограммах исследуемых образцов функцией псевдо – Войгта позволила точно определить положение рефлексов с учетом смещения, вызванного перекрытием рефлексов, на половине максимума

электрофизические свойства приборов, что, зачастую приводит к параметрическим отказам приборов.

#### **В ходе проведенных исследований получены результаты:**

1. Установлено, что деградация полупроводниковых структур датчиков физических величин обусловлена изменением структурных и электронных свойств полупроводникового материала планарной структуры.

2. Установлено, что максимальное значение напряжений (около  $10^8$  Па), возникающих в реальных условиях эксплуатации датчиков превышает критическое значение образования дислокаций. Установлено увеличение плотности дислокаций в структурах со временем до  $10^5$  см<sup>-2</sup>.

*Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки НИТУ «МИСиС» (тема 3503022 «Разработка научно-методических основ процессов получения перспективных функциональных материалов для автономной генерации, хранения и преобразования энергии», срок выполнения с 01.03.2017 по 31.12.2017)*

#### *Список литературы*

1. Электронные свойства дислокаций в полупроводниках. Под ред. Ю.А. Осипьяна. – М.: Эдиториал УРСС, 2000.

2. Адарчин С.А., Косушкин В.Г., Максимова Е.А. Методика расчета величин упругих напряжений в МЭМС датчиков давления // Тр. МГТУ № 587 «Методы исследования и проектирования сложных технических систем». – Москва. - 2004. - с.37-47.

3. Адарчин С.А., Косушкин В.Г., Максимова Е.А. Механизмы деградации микроэлектромеханических структур датчиков давления // Тр. МГТУ № 587 «Методы исследования и проектирования сложных технических систем». – Москва. - 2004. - с.48-56.

4. Косушкин В.Г., Кожитов Л.В., Емельянов С.Г., и др. Технология материалов микро- и нанoeлектроники. Из-во Юго – Западного университета, 2- изд., - 2012.- 863с.

5. Адарчин С.А., Косушкин В.Г., Адарчина Е.Н. Надежность автомобильных электронных компонентов в условиях воздействия знакопеременных нагрузок // Инженерный журнал: наука и инновации, #7(31)/2014.

## **СИНТЕЗИРОВАНИЕ МЕТАЛЛОФУЛЛЕРЕНОВ В ЭЛЕКТРОДУГОВОМ РАЗРЯДЕ В АТМОСФЕРЕ ГЕЛИЯ** **Х.А. Абдуллин<sup>1</sup>, М.Т. Габдуллин<sup>1</sup>, Д.В. Щур<sup>3</sup>, Д.Г. Батрышев<sup>2</sup>,** **Д.В. Исмаилов<sup>1</sup>, Д.С. Керимбеков<sup>1,2</sup>, Ж.Е. Аяганов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Национальная нанотехнологическая лаборатория открытого типа при КазНУ им. аль-Фараби, г.Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Лаборатория инженерного профиля при КазНУ им. аль-Фараби, г.Алматы, Казахстан,

<sup>3</sup>Институт проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины, г. Киев, Украина

#### **Введение**

В течение почти трех десятилетий, фуллерены (0D) привлекают значительное внимание благодаря своим уникальным электронным, оптическим, тепловым, механическим и химическим свойствам и дают исследователям возможность достичь значительных успехов в области фундаментальной и прикладной науки и развития передовых технологий и приложений [1-3]. В настоящее время среди известных методов синтеза эндоэдральных металлофуллеренов (ЭМФ) наиболее эффективным является электродуговой синтез. В этом методе используется традиционный способ синтеза фуллеренов, разработанный Кречмером и Хаффманом [4]. В результате термического распыления графитового электрода в электрической дуге в атмосфере гелия, образуется сажа, содержащая фуллерены, главным образом C<sub>60</sub> и C<sub>70</sub>. На сегодняшний день уже известно большое число соединений фуллеренов с металлами различных типов - щелочными, щелочноземельными, переходными, атомы которых могут содержаться внутри (эндоэдральные соединения) или вне (экзоэдральные соединения) фуллереновой полости. В настоящей работе предлагается конструкция электродугового реактора для синтеза ЭМФ-содержащей сажи.

**Ключевые слова:** фуллерены, электродуговой синтез, металлофуллерены, Рамановская спектроскопия.

#### **Экспериментальная часть**

В основу конструкции электродугового реактора положены конструктивные и технологические решения, найденные нами ранее при синтезе полых фуллеренов и подробно описанных ранее в наших работах. Для получения сажи, содержащей ЭМФ, был взят стержень марки ПМГ, в котором заранее было просверлено отверстие глубиной 30 мм и диаметром 2.5 мм, изображенного на рисунке 1, затем в отверстие ссыпался нанопорошок меди с размерами частиц около 40 нм. После чего, нанопорошок прессовался путем утрамбовывания с усилием, не приводящим к разрушению стержня.



Рисунок 1 - Графитовый стержень с порошком меди

Введение металла в электрод создает неоднородности в графитовом стержне, что приводит к нестабильному горению дуги и снижению общего выхода фуллеренов в ЭМФ до 1–4% по сравнению с чистыми графитовыми электродами (до 25% от веса сажи). В ходе экспериментальных работ в среде гелия, методом электродугового распыления металлофуллеренов были получены продукты плазмохимической реакции при следующих параметрах разряда:  $p=300$  Тор,  $U=30$  В и  $I=300$  А. На рисунке 2 проиллюстрирован катодный стержень, на котором был образован депозит. Катодом служил графитовый стержень. Дуга горела при токе 95А, температура воды системы охлаждения составляла 19.8 °С, скорость подачи стержня 30 В, 0.4-0.5 см. Ток на выходе колебался от 89 А до 108 А. Вес стержня составлял 9.089 г, общий вес сажи – 5.756 г, вес депозита – 1.806г.



Рисунок 2 – Катодный депозит

На рисунке 3 продемонстрирован раствор, в котором было растворено 1г углеродной сажи в 100 мл бензола. Затем этот раствор пропускался через фильтр для того чтобы отделить раствор от сажи от жидкости.

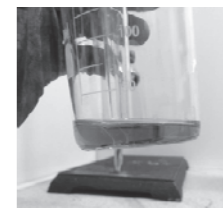


Рисунок 3 – Раствор бензола, отделенный от сажи

На рисунке 4 представлено изображение, сделанного с помощью оптического микроскопа на котором видны кристаллиты металлофуллеренов, размеры которых составляет порядка 20μm.

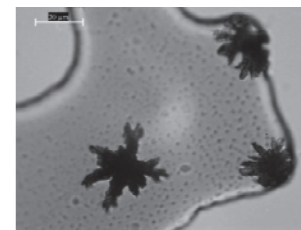


Рисунок 4 – Оптическая микрофотография полученных металлофуллеренов

Также были сделаны изображения на СЭМ из которых видно структуру кристаллитов (рисунок 5), а также полученные результаты были исследованы с помощью Рамановской спектроскопией (рисунок 6). По литературным данным [180] было выявлено, что в результате эксперимента были получены фуллерены C60 и C70.

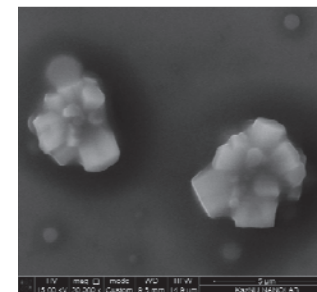


Рисунок 5 – СЭМ изображение полученных металлофуллеренов

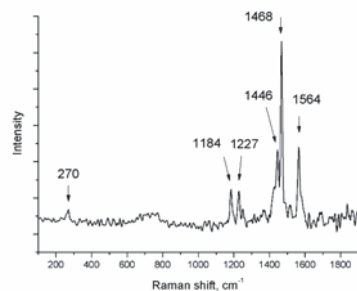


Рисунок 6 – Рамановский спектр фуллерепа C60 и C70

Было проанализировано влияние различных параметров дуги (ток, напряжение, давление гелия) и конструктивных особенностей установки на общий выход фуллеренов и ЭМФ. Визуальное наблюдение за испарением композитных электродов в дуге и приборный контроль за ее параметрами (вольтметр и амперметр) позволили оптимизировать условия, при которых происходит стабильное испарение электродов и образование сажи с высоким содержанием в ней ЭМФ. При работе дуги на постоянном токе ( $I_d = 90\text{A}$ ) наибольший выход ЭМФ в саже 4 wt.% достигается при давлении гелия 30 кПа. При найденном оптимальном значении давления гелия изучали влияние тока дуги на выход ЭМФ. Оптимизация тока дуги позволила существенно увеличить выход ЭМФ, который при токе  $I_d = 100\text{A}$  достигает 8 wt.%. Проанализировано влияние конструктивных особенностей установки, условий приготовления композитных графитовых электродов на выход ЭМФ. Найдены оптимальные условия испарения композитных графитовых электродов. Оптимизация условий электродугового испарения композитных электродов позволила получить хороший выход ЭМФ. Данная работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Республики Казахстан в рамках программно-целевого финансирования 2015-2017гг.: ПЦФ0265.

#### Список литературы

- 1 Kroto H.W., Heath J.R., O' Brien S.C., Curl S.C., Smalley R.E. C60: buckminsterfullerene // Nature 318. – 1985. – 2. – P. 162–163.
- 2 Ajayan P.M. Nanotubes from carbon // Chem Rev 99. – 1999. – 3. – P. 1787–1800.
- 3 Huang X., Yin Z., Wu S., Qil X., He Q., Zhang Q., Yan Q., Boey F., Zhang H. Graphene based materials: synthesis, characterization, properties, and applications // Small 7. – 2011. – 4. – P. 1876–1902.
4. Kratschmer W., Lamb L.D., Fostiropoulos K., Huffman D.R. // Nature. 1990. Vol. 347. P. 354–358.

## МАГНИТНЫЙ ПОЛУПРОВОДНИК $\text{CoCr}_2\text{S}_4$ , ЛЕГИРОВАННЫЙ Ga

Т.Г. Аминов, Г.Г. Шабунина, Е.В. Бушева, В.М. Новоторцев

Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН,  
Ленинский пр. 31, 119991 Москва, Россия aminov@igic.ras.ru

Данная работа посвящена изучению парамагнитных свойств шпинельных твердых растворов, образуемых ферромагнетиком  $\text{CoCr}_2\text{S}_4$  ( $T_C = 223\text{ K}$ ) и антиферромагнетиком  $\text{Cu}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{Cr}_2\text{S}_4$  ( $T_N = 31\text{ K}$ ). В этом случае замещение в тетраэдрической подрешетке пары ионов медь-галлий на два иона кобальта приводит к образованию полного ряда твердых растворов:  $(\text{Cu}_{0.5}\text{Ga}_{0.5})_{1-x}\text{Co}_x\text{Cr}_2\text{S}_4$ . Таким образом, соединение  $\text{Cu}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{Cr}_2\text{S}_4$  здесь используется в качестве агента – источника ионов  $\text{Ga}^{3+}$  применительно к  $\text{CoCr}_2\text{S}_4$ .

В научной литературе существует определенный дефицит исследований посвященных изучению парамагнитных свойств в силу двух объективных причин. Это, во-первых, термическая неустойчивость халькогенидных шпинелей  $\text{ACr}_2\text{X}_4$ , большинство которых разлагается, не достигая температуры плавления. Второй причиной является их относительно высокие температуры магнитного упорядочения, достигающие 431 K в случае  $\text{CuCr}_2\text{Se}_4$ .

Совместное действие обоих указанных факторов сильно ограничивает возможности исследователя, изучающего парамагнитные свойства халькошпинелей, так как в его распоряжении оказывается ограниченный интервал температур, который явно недостаточен для проведения прецизионных измерений. Это связано с тем, что точность определения парамагнитной температуры Кюри, одного из важнейших магнитостатических параметров, обратно пропорциональна длине температурного отрезка, используемого для экстраполяции зависимости обратной магнитной восприимчивости от температуры ( $\chi^{-1}(T)$ ).

В нашей работе возможность значительно минимизировать вероятные ошибки или неточности измерений опирается на два благоприятных обстоятельства. Первое связано с тем, что ранее Гибартом [1] было выполнено измерение магнитной восприимчивости монокристаллического тioxромита  $\text{CoCr}_2\text{S}_4$  в области высоких температур (до 1200 K). Полученное им значение парамагнитной температуры Кюри  $\theta = -480\text{ K}$  актуально до сих пор. Эта величина в данной работе используется как референтная в силу ограничений по верхнему пределу температурных температур измерений, близких или немного превышающих комнатную.

Другим фактором, способствующим проведению данной работы, послужила возможность построения экспериментальной магнитной диаграммы системы (в печати). Согласно этой диаграмме в твердых растворах  $\text{Co}_x(\text{Cu}_{0.5}\text{Ga}_{0.5})_{1-x}\text{Cr}_2\text{S}_4$  имеются 4 магнитно активные области: парамагнитная, ферромагнитная, антиферромагнитная и спин-стекляная. Ферромагнитные составы на основе шпинели  $\text{CoCr}_2\text{S}_4$  занимают