



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего
профессионального образования
«МАТИ - Российский
государственный технологический
университет имени
К.Э. Циолковского»
(МАТИ)

Оршанская ул., д. 3, Москва, 121552
Тел.: (495) 417-68-00, Факс: (495) 788-32-67
E-mail: post@mati.ru
http://www.mati.ru

05.10.2015 № 949/12

НИТУ МИСиС

Диссертационный
совет Д212132.06
ученому секретарю
д.ф.-м.н. В.Г. Костишину

Уважаемый Владимир Григорьевич!

Направляю Вам отзыв официального оппонента д.т.н. проф. Слепцова В.В. на диссертационную работу Попковой А.В. «Разработка основ технологии получения нанокompозитов Fe Co/C на основе солей металлов и полиакрилонитрида под действием ИК нагрева» представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.06.

Приложение - отзыв официального оппонента Слепцова В.В. на шести листах.

И.о. ректора



А.В. Зинин

Отзыв официального оппонента

доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой
«Радиоэлектроника, телекоммуникации и нанотехнологии» ФГБОУ ВПО
«МАТИ – Российский государственный технологический университет
имени К.Э. Циолковского»,

Слепцова Владимира Владимировича

на диссертационную работу **Попковой Алёны Васильевны**
*«Разработка основ технологии получения нанокompозитов FeCo/C на
основе солей металлов и полиакрилонитрила под действием ИК-нагрева»,*
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.27.06 «Технология и оборудование для производства
полупроводников, материалов и приборов электронной техники»

Развитие устройств СВЧ-радиоэлектроники, радиолокации и расширение функциональных и тактико-технических возможностей электронных средств спецтехники ставят перед технологами задачу создания и применения новых материалов, эффективно поглощающих сверхвысокочастотные электромагнитные излучения. В ряду новых материалов большое внимание в литературе уделяется созданию композиционных металл-полимерных и металл-углеродных материалов, включающих в состав наночастицы ферромагнитных металлов. Среди методов синтеза таких материалов отдается предпочтение тем, которые не требуют технологически сложного оборудования, большого количества технологических переделов, позволяют обеспечить воспроизводимость результатов, избежать использования дорогостоящих импортных материалов.

С этой точки зрения синтез магнитомягких металл-углеродных нанокompозитов с использованием прекурсоров металлоорганических соединений и высокоэффективного ИК-нагрева является перспективным для создания радиопоглощающих материалов. К существенному преимуществу предложенного в работе способа следует отнести возможность

одновременного синтеза наночастиц сплава и углеродной матрицы, которая выполняет роль стабилизатора структуры нанокompозитной системы в целом. Поэтому тема диссертационной работы Попковой А.В. является своевременной и актуальной, направлена на решение важной научно-технической и практической задачи – созданию эффективной технологии синтеза композиционных радиопоглощающих материалов СВЧ-диапазона.

К наиболее важным результатам диссертационной работы следует отнести следующие:

1. Теоретически и экспериментально обоснован способ синтеза нанокompозитов FeCo/C из прекурсоров «ацетилацетонат железа-ацетат кобальта-полиакрилонитрил» и «ферроцен-ацетат кобальта-полиакрилонитрил» под действием ИК-нагрева.

2. Изучены особенности процесса синтеза металлоуглеродных нанокompозитов FeCo/C на основе солей металлов и полимера (полиакрилонитрила) под действием ИК-нагрева. В частности, установлены особенности кинетических закономерностей химических процессов, протекающих при ИК-нагреве прекурсора в зависимости от температуры нагрева, концентрации и соотношения концентрация металлов, типа солей железа.

3. Установлены и объяснены зависимости структуры, состава размеров металлических наночастиц, электрофизических и магнитных свойств в зависимости от условий процесса синтеза. Показано, что путем изменения температуры ИК-нагрева, концентрации и соотношения металлов возможно синтезировать нанокompозиты с контролируемой структурой и свойствами.

4. На основании проведенных исследований разработаны физико-химические основы технологии получения металлоуглеродных нанокompозитов FeCo/C на основе солей металлов и полиакрилонитрила под действием ИК-нагрева, перспективных для создания радиопоглощающих материалов и покрытий СВЧ-диапазона.

Научная новизна работы подтверждается:

1. Анализом химических процессов протекающих в прекурсорах нанокомпозитов при ИК-нагреве методами термогравиметрического анализа и дифференциальной сканирующей калориметрии, УФ- и ИК-спектроскопии. Установлением особенностей взаимодействия соединений железа и кобальта как с полиакрилонитрилом, так и между собой в зависимости от температуры, типа соединений металлов, их концентрации и соотношения, что позволило объяснить экспериментальные результаты.

2. Использованием теоретических расчетов, а именно, созданием модели структуры кластера нанокомпозита в рамках теории функционала плотности (DFT), что позволило показать вероятность образования наночастиц сплава FeCo в углеродной матрице нанокомпозитов и объяснить влияние металлов на электрофизические свойства и морфологию получаемых материалов.

3. Экспериментальным подтверждением предложенных механизмов формирования наночастиц сплава FeCo в составе нанокомпозитов FeCo/C в зависимости от исходного соединения железа в результате исследования свойств системы с применением методов РФА и мессбауэровской спектроскопии.

4. Установлением зависимостей структуры, морфологии, химического состава, электрофизических и магнитных свойств нанокомпозитов FeCo/C от условий процесса синтеза и обоснованием полученных результатов, что позволило разработать основы технологии контролируемого синтеза металлоуглеродных нанокомпозитов, перспективных для создания радиопоглощающих материалов и покрытий СВЧ-диапазона.

Практическая значимость результатов работы заключается:

- в разработке основ технологии контролируемого синтеза металлоуглеродных нанокомпозитов FeCo/C использованием ИК-нагрева из прекурсоров $\text{Fe}_{\text{ац.ац}}\text{-Co}_{\text{ац.ац}}/\text{ПАН}$ и $\text{Fe}_{\text{ф.}}\text{-Co}_{\text{ац.ац}}/\text{ПАН}$, представляющие собой дисперсию наночастиц сплава в матрице нанокристаллического углеродного

материала, перспективных для создания радиопоглощающих материалов СВЧ-диапазона

- в экспериментальном обосновании перспективности использования данных материалов при изготовлении приборов СВЧ-электроники. В частности, на практике было показано, что использование радиопоглощающего материала на основе нанокompозитов FeCo/C в резонаторе клистрона с выходной мощностью до 800 Вт, работающего в сантиметровом диапазоне длин волн (17,85-17,92 ГГц), обеспечивает работоспособность и стабильность прибора.

В научных трудах Попковой А.В. достаточно полно изложены результаты диссертационной работы. Обоснованность выводов и рекомендаций подтверждается полученными экспериментальными результатами изучения структуры, морфологии, состава и свойств нанокompозитов в зависимости от условий процесса синтеза, с использованием комплекса современных аналитических методов, в частности, УФ- и ИК-спектроскопия, термогравиметрический анализ и дифференциальная сканирующая калориметрия, просвечивающая и сканирующая электронная микроскопия, рентгеновская дифрактометрия, энергодисперсионный химический анализ, вибрационная магнитометрия, термомагнитный анализ, РФА мессбауэровская спектроскопия.

Достоверность полученных результатов подтверждается большим объемом проведенных экспериментальных исследований, а также практическим применением полученных нанокompозитов FeCo/C в реальном устройстве – усилительном клистроне.

Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации, которые опубликованы в 25 работах, в т.ч. 4 статьи в журналах, рекомендованных ВАК по специальности, 7 статей в зарубежных журналах, входящих в базы Web of Science и Scopus, 1 патент на изобретение, 13 публикаций в сборниках докладов международных

конференций. Автореферат и диссертация соответствуют требованиям ВАК РФ.

Личный вклад Попковой А.В. проявился в:

- поиске и критическом анализе литературы по теме диссертационной работы;
- в проведении исследований особенностей химических процессов, протекающих в прекурсорах нанокompозитов при ИК-нагреве, а также в интерпретации выявленных закономерностей протекания процесса синтеза;
- в подготовке прекурсоров и синтезе большого количества образцов нанокompозитов FeCo/C под действием ИК-нагрева, т.е. в подготовке и проведении экспериментальной работы;
- в исследовании зависимостей структуры, состава и свойств нанокompозитов в зависимости от условий процесса синтеза;
- в обработке и обобщении полученных результатов, подготовке научных публикаций и представлении их на конференциях.

По диссертационной работе есть **ряд замечаний**:

1. В работе отмечается наличие химических связей металлических кластеров с матрицей на основе углерода. В результате этого взаимодействия на поверхности кластеров металлов, видимо, должны образовываться карбиды. Однако в своих исследованиях автор этому вопросу не уделил внимания.
2. В работе не всегда оправдано используются традиционные определения, например, «запрещенная зона композита», «стехиометрический состав сплава FeCo».

Указанные замечания не снижают ценности диссертации. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, позволяющей решить актуальную задачу по разработке технологии синтеза радиопоглощающих материалов, эффективных в СВЧ-диапазоне длин волн.

Автореферат и диссертационная работа Попковой А. В. «Разработка основ технологии получения нанокompозитов FeCo/C на основе солей

металлов и полиакрилонитрила под действием ИК-нагрева» соответствует требованиям ВАК РФ п. 23 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (в ред. Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 № 842), а ее автор, Попкова Алёна Васильевна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.06 - «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники».

Официальный оппонент:

Заведующий кафедрой «Радиоэлектроника

телекоммуникации и нанотехнологии»

профессор, д.т.н.

Подпись удостоверяю

И.о. ректора МАТИ



 Слепцов В.В.

 Зинин А.В.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «МАТИ – Российский государственный технологический университет имени К. Э. Циолковского»

121552 г. Москва, ул. Оршанская, д. 3

Тел.: 8-499-149-09-30, факс: 8-495-788-32-67

e-mail: post@mati.ru

Кафедра «Радиоэлектроника, телекоммуникации и нанотехнологии»,

Тел.: 8-495-915-33-27

e-mail: 08fraktal@inbox.ru

Сведения об официальном оппоненте

ФИО	Слепцов Владимир Владимирович
Ученая степень	Доктор технических наук
Ученое звание	Профессор
Наименование отрасли науки, научных специальностей, по которым защищена диссертация	11.06.01 - Электроника, радиотехника и системы связи
Полное наименование организации	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «МАТИ - Российский государственный технологический университет имени К. Э. Циолковского» (МАТИ)
Должность	Заведующий кафедрой «Радиоэлектроника, телекоммуникации и нанотехнологии»
Список основных публикаций в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет	<ol style="list-style-type: none"> 1. Физико-химические основы наноматериалов и нанотехнологий. Монография. Часть 1 Наноматериалы. Издательство ООО «Сам полиграфист», 2015, ISSN 978-5-00077-202-7. 368 с. 2. Аспекты формирования трехмерных электронных устройств. Слепцов В.В., Кондрашин А.А., Лямин А.Н., Махно Д.В. // Наноинженерия, №2 (44), 2015. С.16 3. Необратимость и нелинейность как базовые физико-химические основы, обеспечивающие создание новых материалов и систем методами наноинженерии поверхности // Наноинженерия Издательство: Научно-техническое издательство Машиностроение (Москва)ISSN: 2223-4586. - 2013. - №8 (26), С. 43-48 4. Pulsed magnetron sputtering system power supply without limitation and forced interruption of the discharge current. Sleptsov V.V., Bizyukov A.A., Sereda K.N., Tarasov I.K., Chunadra A.G. // Problems of Atomic

Science and Technology, 2013, №1, p.p.225-227

5. Energy efficient planar catalytic sensor for methane measurement. Sleptsov V.V., Karpov E.E., Karpov E.F., Suchkov A., Mironov S., Baranov A.M., Calliari L. // *Sensors and Actuators, A:Physical* 194 Cited 1 times. doi:10.1016/j.sna.2013.01.057, 2013.p.p. 176-180
6. Deployment and evaluation of a wireless sensor network for methane leak detection. Somov A., Baranov A., Spirjakin D., Spirjakin A., Sleptsov V., Passerone R. //, in *SENSORS AND ACTUATORS. A, PHYSICAL*, v. 202, (2013), - DOI: 10.1016/j.sna.2012.11.047 - see details p.p. 217-225.
7. High-current pulsed operation modes of the planar mss with magnetically insulated anode without transition to the arc discharge. Sleptsov V.V., Bizyukov A.A., Sereda K.N., Tarasov I.K., Chunadra A.G. // *Problems of Atomic Science and Technology* (6), 2012. p.p. 190-192
8. Compact steady-state and high-flux Falcon ion source for tests of plasma-facing materials. Sleptsov V., Girka O., Bizyukov I., Sereda K., Bizyukov A., Gutkin M. // *Review of Scientific Instruments* 83 (8) Cited 5 times. doi:10.1063/1.4740519, 2012 . p.1
9. Longitudinal ion source with a current self-compensation of the focused ion beam. Sleptsov V.V., Bizyukov A.A., Girka A.I., Sereda K.N., Romashchenko E.V. // *Applied Physics* (5), 2011. P.6.
10. Ion beam system for Nanotrimming of functional microelectronics layers. Sleptsov V.V., Bizyukov A.A., Bizyukov I.A., Girka O.I., Sereda K.N., Gutkin M., Mishin S. // *Problems of Atomic Science and*

	<p><i>Technology</i> 2011. №1, p.p. 110-112.</p> <p>11. Control of planar magnetron sputtering system operating modes by additional anode magnetic field. Sleptsov V.V., Bizyukov A.A., Girka O.I., Sereda K.N., Chunadra A.G. // <i>Problems of Atomic Science and Technology</i> №6, 2010. Cited 2 times. p.p. 144-146</p>
Почтовый адрес	121552, г. Москва, ул. Оршанская, д. 3
Телефон/факс:	(495) 417-68-00 / (495) 788-32-67
Телефон (рабочий):	(495) 915-33-27
Телефон (мобильный):	(916) 591-13-38
E-mail:	08fraktal@inbox.ru

Официальный оппонент:

Заведующий кафедрой «Радиоэлектроника,
телекоммуникации и нанотехнологии»
д.т.н., профессор

Слепцов В.В.

Подпись Слепцова В.В. удостоверяю:
Начальник отдела ДС МАТИ,
д.т.н., профессор

Силуянова М.В.