

## ОТЗЫВ

**на автореферат диссертации Е.В. Якушко "Разработка основ технологии получения нанокомпозитов NiCo/C на основе солей металлов и полиакрилонитрила под действием ИК нагрева", представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.06 – "технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники".**

Для дальнейшего прогресса в направлении создания гетероструктур нанометрового диапазона размеров и систем на их основе требуются разработка и решение целого комплекса научных и научно-технических задач. К их числу относятся, прежде всего, развитие физико-химических основ технологии получения материалов и систем с низкоразмерным структурированием, а также разработка новых методов исследования и диагностики наноматериалов. Речь в первую очередь идет о функциональных металлоуглеродных нанокомпозитах, полученных с помощью термообработки полимеров.

Особый интерес представляют нанокомпозиты NiCo/C, которые являются перспективным материалом, как для фундаментальных исследований, так и для практического применения, в том числе для изготовления электродов рН-метров, сенсоров, катализаторов, материалов для спинтроники.

Важное место в диссертации уделяется технологии получения нанокомпозитов методом ИК нагрева полимеров, в частности это касается изучения кинетики и механизма химических превращений при получении нанокомпозитов на основе ПАН и солей металлов Co и Ni. С использованием математического моделирования и термодинамического расчета в работе разработаны и экспериментально обоснованы оптимальные технологические условия получения металлоуглеродных нанокомпозитов.

С помощью рентгенофазового анализа детально изучено влияние условий процесса синтеза на фазовый состав нанокомпозитов NiCo/C. С помощью КР-спектроскопии в углеродной матрице с ростом температуры синтеза был обнаружен переход от турбостратной графитоподобной структуры к нанокристаллической.

Анализ электрофизических и магнитных свойств нанокомпозитов NiCo/C показал, что с ростом температуры ИК-нагрева электропроводность и намагниченность насыщения увеличиваются в десятки раз, а эффективность применения в качестве радиопоглощающего материала в СВЧ-электронике характеризуется коэффициентом отражения 10 дБ при толщине слоя нанокомпозита равной 5 мм.

При описании кинетики гетерогенных химических реакций в прекурсорах автор утверждает, что формирование наночастиц NiCo происходит за счет восстановления хлоридов и оксидов соответствующих металлов. Однако ранее по результатам расчетов методом минимизации свободной энергии Гиббса показано, что соли металлов подвергаются разложению до соответствующих оксидов. Теоретические расчеты также подтверждаются рентгенофазовым анализом, результаты которого представлены на рисунке 4, где для образца нанокомпозита NiCo/C, полученного при температуре 350 °С, на рентгенограмме наблюдаются пики оксидов никеля и кобальта, а рефлексов, характерных для хлоридов указанных металлов не наблюдается. Химические аспекты превращения хлоридов никеля в оксиды при температурах синтеза нанокомпозитов в этой работе рассматриваются достаточно схематически, так как окончательного описания



химической кинетики этого процесса еще не развито. Стоит отметить, что в процессе выполнения работы в заключительной части «Основные результаты и выводы» п.2 автор приходит к однозначному пониманию, что формирование наночастиц сплава NiCo происходит за счет восстановления оксидов соответствующих металлов.

Работа выполнена на хорошем экспериментальном уровне. Личный вклад автора в практическую реализацию теоретических и экспериментальных исследований, а также многообразие применяемых методик исследования свойств полученных материалов свидетельствует о высокой квалификации специалиста.

Результаты представленной работы прошли хорошую апробацию на международных конференциях и опубликованы в реферируемых научных журналах. На прикладную часть работы получен патент и зарегистрировано НОУ-ХАУ. По актуальности решаемых проблем, современному уровню используемых методов и полученных результатов работа отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Автореферат, давая представление о диссертации, свидетельствует о законченной работе, сочетающей технику и технологию получения металлоуглеродных нанокompозитов с пониманием физико-химических основ процесса при ИК-нагреве полимеров.

Е.В. Якушко, по нашему мнению, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.06 – "технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники".

Зам. директора ИФТТ РАН по научной работе,  
доктор физ.-мат. наук

А.А. Левченко

Зав. лаб. ИФТТ РАН,  
кандидат техн. наук, доцент

Н.Н. Колесников

С.н.с. ИФТТ РАН,  
кандидат техн. наук

Д.Н. Борисенко

Подписи А.А. Левченко, Н.Н. Колесникова и Д.Н. Борисенко заверяю  
Ученый секретарь ИФТТ РАН, доктор физ.-мат. наук

Г.Е. Абросимова



Почтовый адрес: 142432, г. Черноголовка, Московская обл., ул. Академика Осипьяна д. 2

e-mail: bdn@issp.ac.ru

телефон: (8496) 522-82-53