

## ОТЗЫВ

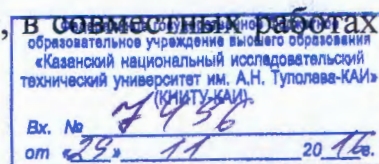
на автореферат диссертации Хадиева Азата Равилевича  
«Методика идентификации и контроля структурных параметров спиральных нанотрубок по картинам дифракции электронов»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 - «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий»

Развитие нанотехнологий открыло ряд метрологических проблем, обусловленных малыми размерами элементов и структур, от решения которых существенным образом зависит широкое промышленное использование достижений данной отрасли. К одной из таких проблем относится идентификация структурных параметров нанотрубок, находящихся применение в наноэлектронике, композиционных материалах, микроэлектромеханических системах. Вследствие сильной зависимости электрических свойств нанотрубок от их структуры проявилась задача повышения достоверности и точности контроля структурных параметров нанотрубок. Таким образом, очевидна актуальность создания методик контроля структурных параметров нанотрубок, обладающих меньшими, по сравнению с существующими методиками, погрешностями.

Решению данной научно-практической задачи посвящена диссертационная работа Хадиева А.Р. В качестве метода контроля Хадиев А.Р. использует просвечивающую электронную микроскопию (метод микродифракции электронов), которая, как показал многолетний практический опыт, позволяет производить контроль наиболее полного набора структурных параметров нанотрубок. В своей диссертационной работе автор ограничился рассмотрением нанотрубок спирального типа, метрология которых, находится на этапе становления.

Развитый автором диссертации подход, основанный на достоверных структурных моделях спиральных нанотрубок и математическом рассмотрении дифракции, позволил впервые определить некоторые характерные особенности обратного пространства этих объектов. Обнаруженные особенности легли в основу разработанного им метода дифракционного контроля, применение которого позволило снизить методическую погрешность определения угла хиральности в 2-2,5 раза, и угла конусности примерно в 3 раза.

Стоит отметить, что разработанная методика нашла практическое применение при анализе углеродных нанотрубок фирмы OCSiAl в Центре нанотехнологий Республики Татарстан (ООО «ЦТТ»),



с группой профессора Тенне в Институте им. Вайцмана (Израиль) при анализе нанотрубок  $WS_2$ . Исследования, представленные в диссертации, были также поддержаны грантом компании поставщика электронных микроскопов ООО «ОПТЭК», грантом правительства Республики Татарстан «Алгарыш» (проект «Исследования по технической диагностики материалов, полученных в результате применения нанотехнологий»).

Обоснованность сформулированных в диссертации научных положений и выводов обеспечивается корректностью используемых автором диссертации математических методов и структурных моделей, их адекватностью реальным физическим объектам, соответствием результатов математического моделирования и экспериментальных исследований.

Результаты диссертационной работы успешно прошли апробацию на международных и всероссийских конференциях, были опубликованы в ведущих международных журналах, посвященных методам структурного анализа кристаллической материи.

На основании текста автореферата считаю, что по актуальности и новизне изученных вопросов, научной и практической значимости она соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Хадиев А.Р заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий».

«25» ноября 2016 г.

И.о.зав.каф. Физики твердого тела  
Института Физики КФУ,  
д.ф.-м.н. Воронина Е.В.

тел. раб: (843)233-74-68  
e-mail: evoronina2005@yandex.ru

Почтовый адрес:  
420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18,  
Учебное здание № 09  
(Кафедра физики твердого тела).

