

ОТЗЫВ

научного руководителя о работе аспиранта Хадиева А.Р., представившего диссертацию «Методика идентификации и контроля структурных параметров спиральных нанотрубок по картинам дифракции электронов» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий».

Свою научную деятельность Хадиев Азат Равилевич начал еще в 2011 году будучи студентом 4 курса Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева - КАИ (КНИТУ-КАИ), обучающимся по специальности «Нанотехнологии в электронике». Он принимал участие в совместных с группой профессора Р. Тенне (директор Центра наноразмерных наук им. Елены и Мартина Киммеля в Институте им. Вайцмана, Израиль) исследованиях структуры сульфидных нанотрубок методом микродифракции электронов, являлся автором одной из глав научного отчета.

Хадиев А.Р. поступил в аспирантуру в 2012 году после окончания КНИТУ-КАИ с отличием. За время обучения в аспирантуре Хадиев А.Р. проявил себя грамотным специалистом, способным участвовать в постановке научных задач и самостоятельно их решать. Для решения поставленных перед ним задач по исследованию структуры спиральных нанотрубок методом дифракции электронов в просвечивающем электронном микроскопе (ПЭМ) Азат Равилевич, как в рамках учебного плана подготовки аспирантов, так и самостоятельно освоил соответствующие разделы кристаллографии и теории дифракции.

Нанотрубки на сегодняшний день являются одним из перспективных материалов будущей электроники, свойства которых существенным образом зависят от их структуры. С целью обеспечения постоянства параметров устройств,

изготовленных на базе трубок, необходимо иметь возможность осуществлять контроль их структурных параметров с высокой точностью. Проблема отбора трубок с заданными параметрами структуры считается одним из основных факторов, сдерживающих развитие нанoeлектроники. Таким образом, актуальность диссертационной работы Хадиева А.Р. подчеркивается острой необходимостью развития методов идентификации и контроля структурных параметров трубок спирального типа, которые обычно составляют основную долю продуктов синтеза, для их дальнейших применений в электронике и других областях промышленности. Разработанная методика применима для широкого круга прикладных исследований, а также использования в качестве элемента технологического контроля на производствах с использованием нанотрубок. Предложенный метод решения этой проблемы основан на исследовании изображений и картин дифракции электронов на нанотрубках в ПЭМ. Путем разработки достоверной модели спиральной нанотрубки и математического анализа явления дифракции на ней возможно получение необходимого набора зависимостей, связывающих структурные параметры нанотрубки с параметрами ее дифракционной картины. Теоретическому обоснованию и развитию методики идентификации и контроля структурных параметров спиральных трубок и посвящена диссертация Хадиева А.Р.

В ходе работы над диссертацией Хадиев А.Р. продемонстрировал способность самостоятельно проводить как теоретические исследования, так и экспериментальные работы, направленные на достижение цели диссертационной работы. Аспирантом впервые была развита структурная модель спиральной нанотрубки произвольного химического состава и симметрии слоя, проведен математический анализ дифракции на ней и разработаны программные средства для моделирования дифракционных картин. Им получены необходимые математические соотношения, позволяющие расчет структурных данных спиральных нанотрубок из параметров их дифракционных картин и проведен значительный объем работ по их

моделированию. В исключительную заслугу Азата Равилевича можно поставить получение структурных условий деградации дифракционной картины спиральной нанотрубки как отражение ее политипной модификации, развитие аспектов точности измерения структурных параметров этих объектов. Полученные теоретические оценки были подтверждены анализом экспериментальных дифракционных картин.

Кроме указанной научной деятельности Хадиева А.Р. будучи студентом, в процессе обучения в аспирантуре участвовал в проведении НИР по анализу нанотрубок, синтезированных компанией OCSiAl RUS, в Центре нанотехнологий республики Татарстан. Исследования, представленные в диссертации, были также поддержаны грантом для молодых ученых от компании ОПТЭК в 2012-2013 году. В 2014 году при поддержке правительства республики Татарстан (грант «Алгарыш» в категории «Проектные группы», проект «Исследования по технической диагностике материалов, полученных в результате применения нанотехнологий») Азат Равилевич проходил стажировку в Хемницком университете в Германии (группа проф. М.Хитшольда). Результаты совместных с немецкими коллегами работ были представлены на Международной конференции немецкого физического общества DPG Spring Meeting 2014. При поддержке гранта Европейской кристаллографической ассоциации Азат Равилевич также принимал участие в международной школе-конференции «Fundamental Crystallography with application to Electron Crystallography», проходящей в Антверпенском университете в Бельгии в 2016 году.

Результаты исследований аспиранта Хадиева А.Р. нашли отражения в 7 статьях, из них 2 статей в журналах, рекомендованных ВАК, а также 5 статей в журналах из международной реферативной базы Scopus. Материалы диссертации также были опубликованы в виде 4 тезисов международных и всероссийских конференций, представлялись в виде докладов на школах и семинарах, проходящих в ведущих университетах, активно работающих по направлению темы диссертации,

