

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Корусенко Петра Михайловича  
«Структура азотсодержащих многостенных углеродных нанотрубок,  
подвергнутых облучению импульсным ионным пучком наносекундной длительности»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Как одно из направлений нанотехнологии синтез графитоподобных углеродных наноматериалов (УНМ) интенсивно развивается, и на сегодняшний день накоплен большой объем знаний в этой области. Актуальность исследований УНМ обусловлена высоким потенциалом их практического применения в нанoeлектронике, катализе, создании новых композитных материалов, газовых и биологических сенсоров и т.д. Эффективным методом контроля электрофизических и химических свойств УНМ представляется модифицирование углеродной структуры гетероатомом – азотом (N-УНМ), и в настоящее время основное внимание при разработке методов синтеза и путей использования N-УНМ уделяется допированным азотом углеродным нанотрубкам (N-УНТ). Кроме того, предпринимаются попытки изменения свойств синтезированных N-УНТ с использованием различных физических факторов, в частности, облучением потоками заряженных частиц. Исследованию результатов кратковременного воздействия на массивы N-УНТ потоков ионов посвящена работа П.М.Корусенко «Структура азотсодержащих многостенных углеродных нанотрубок, подвергнутых облучению импульсным ионным пучком наносекундной длительности».

Диссертационная работа П.М.Корусенко состоит из введения, обзора литературных данных о методах модифицирования пространственной и электронной структуры УНТ и N-УНТ, описания использованных экспериментальных методов, анализа полученных результатов и заключения. Объекты исследования были синтезированы методом CVD из смеси ацетонитрила как источника углерода и ферроцена как прекурсора железосодержащего катализатора роста N-УНТ. Радиационное воздействие пучком ионов  $H^+$  и  $C^+$  производилось импульсами с энергией ионов 250 кэВ и длительностью 120 нс однократно и с десятикратным повторением. Исследование пространственной и электронной структуры исходных образцов и образцов, подвергшихся облучению ионными пучками, проводилось с применением современного лабораторного оборудования, а также инфраструктуры Центра синхротронного излучения BESSY II, Берлин, Германия. Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений.

Третья глава диссертации, в которой содержится основной фактический материал работы, разделена на четыре части. В первой представлены результаты анализа морфологии и структуры исходных массивов N-УНТ. Вторая, третья и четвертая части сконцентрированы на анализе локального окружения и электронной структуры углерода, азота и железа, соответственно. Отмечается, что даже при однократном облучении пучком ионов с плотностью энергии  $0.5 \text{ Дж/см}^2$  резко снижается содержание в N-УНТ пиридиновой и пиррольной форм азота, в то время как количество графитоподобного азота даже возрастает. К сожалению, автор не приводит на Рис.8 оценку точности полученных значений, хотя, например, на Рис.4 такая оценка сделана. Тем не менее, этот факт может быть использован для разработки методов очистки получаемых различными способами N-УНТ от пиридиновых и пиррольных азотных групп.

В целом работа производит хорошее впечатление, результаты диссертационной работы прошли апробацию на всероссийских форумах и в полном объеме опубликованы в статьях в профильном российском журнале «Физика твердого тела», а также в зарубежных журналах. Автореферат оформлен безукоризненно, тем не менее, по содержанию автореферата можно сделать следующие замечания:

- 1) На Рис.6 не приведены данные о межплоскостных расстояниях в N-УНТ до и после облучения, на Рис.8 не указаны оценки точности полученных значений;
- 2) В тексте автореферата не объяснены механизмы окисления N-УНТ при облучении импульсным ионным пучком.

Отмеченные недостатки не умаляют научной новизны, актуальности и практической значимости работы в целом. Диссертационная работа является завершенным исследованием, выполнена на высоком экспериментальном уровне с привлечением современных, в том числе, уникальных физических методов. Работа удовлетворяет всем требованиям ч. II п. 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор, Корусенко Петр Михайлович, заслуживает присуждения ему степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Д.ф.-м.н., в.н.с. лаб. структурных  
методов исследования

 А.Н.Шмаков

6.12.2017

Шмаков Александр Николаевич  
Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки Институт катализа  
им. Г.К. Борескова Сибирского отделения  
Российской академии наук.  
630090, г. Новосибирск, пр. им. Академика Лаврентьева, д. 5  
Тел. +7(383) 3269-547  
E-mail: A.N.Shmakov@inp.nsk.su

Подпись Шмакова А.Н. удостоверяю:

Ученый секретарь ИК СО РАН,  
д.х.н., проф. РАН



 Д.В. Козлов