

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Казакова Валерия Алексеевича  
«Высокодозовое ионно-лучевое и химическое модифицирование структуры и свойств углеродных материалов и композитов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – порошковая металлургия и композиционные материалы.

Большие перспективы промышленного использования углеродсодержащих композиционных материалов, обладающих уникальными физико-механическими и химическими характеристиками, стимулируют детальное изучение свойств и методов модификации и диагностики различных форм углерода.

Диссертация Казакова В.А. направлена на исследование физических свойств и структурных изменений в различных углеродных материалах и композитах на их основе при высокодозовом ионно-лучевом и химическом модифицировании их поверхности для создания композиционных материалов для техники новых поколений. Тема исследований актуальна и имеет практическую направленность.

Проведенные систематические экспериментальные исследования позволили автору определить характер ионно-индуцированной проводимости поли- и монокристаллического алмаза при высокодозовом облучении при повышенных температурах, показать формирование нанокристаллического графита на стеклогуглероде при повышенных температурах, установить изменение микроструктуры углеродного волокна при термической и ионно-лучевой обработке, изучить термическую стабильность композиций углеродных материалов в процессе нагрева в кислородсодержащей атмосфере, проанализировать структуру и свойства 3D графеновых аэрогелей.

Достоинством работы является большое количество данных, полученных с использованием широкого спектра современных экспериментальных методик и их логическая интерпретация на основе существующих научных представлений.

На основании автореферата можно сделать вывод о том, что диссертационная работа выполнена на достаточно высоком профессиональном уровне и является логически связным, законченным научным трудом. Результаты работы апробированы на профильных научных мероприятиях. Имеется достаточно публикаций в ведущих журналах из Перечня ВАК, соответствующих тематической направленности диссертационного исследования.

Вместе с тем по материалу, изложенному в автореферате, имеются следующие вопросы и замечания:

1. Отсутствуют данные о точности определения удельного сопротивления модифицированного слоя поликристаллического алмаза, которое вычисляется через измеренное поверхностное сопротивление и расчетную толщину этого слоя. Используемый в работе поликристаллический алмаз имеет достаточно шероховатую поверхность, поскольку представляет собой случайно ориентированные кристаллиты размером до 200 мкм.

Основное условие применения используемого в работе четырехзондового метода измерения сопротивления – наличие плоской поверхности, линейные размеры которой превосходят линейные размеры системы зондов. При имеющейся поверхности поликристаллического алмаза это условие не выполняется для используемого в работе



прибора ИУС-3. Метод Ван-дер-Пау, так же используемый в работе, применим для однородных по толщине образцов. При случайной ориентации кристаллитов практически невозможно получить однородный по толщине ионно-модифицированный слой. Поэтому возникает вопрос о точности измерения поверхностного сопротивления с помощью используемых в работе методик.

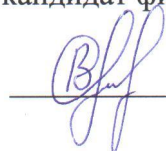
Толщину модифицированного поверхностного слоя в работе получали из расчета профилей первичных радиационных нарушений выполненных с помощью программы SRIM-2013. Поскольку расчет такой профиля для поверхностного слоя, содержащего случайно ориентированные кристаллиты различных размеров, является довольно сложной задачей, то, вероятно, автор использовал упрощенный подход – расчет для плоского однородного слоя. Что также вносит значительные погрешности в определение толщины модифицированного слоя.

Поскольку удельное сопротивление модифицированного слоя поликристаллического алмаза определяется через две эти величины, то возникает вопрос о корректности и точности полученных значений.

2. Температура облучаемой мишени, определяется термопарой расположенной на передней (облучаемой) поверхности мишени. Однако температура тонкого (40-50 нм) поверхностного слоя мишени, в котором происходит выделение энергии пучка и структурные изменения материала может существенно отличаться от показаний термопары. Наиболее сильно это будет сказываться, когда размер пучка (~ 6 мм) меньше размера подложки (15x15 мм<sup>2</sup>), а также при малых временах облучения.

Данные замечания не влияют на общее положительное впечатление от диссертационной работы. Судя по автореферату, диссертация Казакова Валерия Алексеевича представляет собой законченное научное исследование, удовлетворяющее требованиям Положения о присуждении ученых степеней. Считаю, что ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – порошковая металлургия и композиционные материалы.

Старший научный сотрудник сектора наноструктурированных композиционных углеродных материалов ФГБУН Омский научный центр СО РАН,  
кандидат физико-математических наук



Ковивчак Владимир Степанович

644024, г. Омск, проспект К. Маркса, 15,  
тел. (3812) 56-01-74, e-mail: kvs@obisp.oscsbras.ru

Подпись Ковивчака В.С. удостоверяю:

Заместитель председателя ОНЦ СО РАН  
по научной работе, д.э.н.



Миллер М.А.