

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Казакова Валерия Алексеевича «Высокодозовое ионно-лучевое и химическое модифицирование структуры и свойств углеродных материалов и композитов», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

**Актуальность темы.** Композиционные материалы на основе углерода находят все большее применение в различных областях авиационной и космической промышленности для создания не только конструкционных материалов, но и составных частей диодов, датчиков, химических источников тока, лазеров. Благодаря уникальным механическим и электрическим свойствам, значительный интерес представляют наноразмерные углеродные материалы: графен, углеродные нанотрубки, наноалмазы, которые при использовании в качестве наполнителей могут улучшать эксплуатационные свойства композиционных материалов. Методы химического и высокодозового ионно-лучевого модифицирования приводят к существенному изменению свойств исходных углеродных материалов, позволяя создавать гибридные и композитные структуры с новыми уникальными свойствами. При этом, ввиду значительной чувствительности структуры углеродных материалов к условиям синтеза, необходимо развитие сопутствующих методов их анализа, одним из которых является метод комбинационного рассеяния света, активно применяемый автором в работе и позволяющий проводить анализ структуры углеродных материалов.

В работе проведен подробный анализ литературы по теме диссертации, в котором рассмотрены основные явления, возникающие при взаимодействии излучения с поверхностью углеродных материалов, а также радиационные разрушения, вызывающие ионно-индуцированную графитизацию алмаза, и указаны перспективы применения радиационных воздействий для получения новых материалов. Однако все вышесказанное практически не используется в промышленности, т.к. ионно-индуцированная графитизация до конца не изучена, и исследования в этой области продолжаются, включая и данную работу. Получение информации о проводимости, о качественном и количественном фазовом составе, о

кристаллической решетке и структурных дефектах дает возможность комплексной оценки параметров ионного модифицирования и свойств облученного алмаза.

Показано, что ионно-индуцированная графитизация может являться эффективным способом получения тонких проводящих слоев с различным типом проводимости на поверхности алмаза, способным найти применение в создании компонентной базы для экстремальной электроники, например, диодов, различных датчиков и изделий оптоэлектроники. Проведенный в диссертационной работе анализ проблем ионного и химического модифицирования углеродных материалов позволил автору сделать вывод об актуальности исследований по теме диссертации и сформулировать цель и основные задачи работы.

Автор при анализе фазового состава и структуры модифицированных материалов использовал метод комбинационного рассеяния света, который активно развивается. Однако важно сопоставлять результаты, полученные различными способами и взаимодополняемыми методами, например, термогравиметрией, рентгенофазовым анализом и электронной микроскопией, что и было сделано в диссертационной работе.

Завершая вышесказанное, можно отметить высокую актуальность темы диссертационной работы Казакова В.А., в которой исследуется модифицирование поверхности углеродных материалов с помощью высокодозового ионного облучения и композиционных материалов на основе графена химическим способом.

#### **Оценка научной новизны и практической значимости работы.**

Научная новизна работы состоит в установлении температурных закономерностей высокодозового ионного облучения ионами аргона ряда углеродных материалов: моно- и поликристаллического алмазов, стеклоуглерода, углеродного волокна. В результате комплекса исследований, проведенных различными методами, были определены структура и поверхностное сопротивление алмаза, модифицированного ионным облучением, которое приводило к ионно-индуцированной графитизации. Показаны возможности диагностики структуры  $sp^2$  углеродных материалов (стеклоуглерод, углеродное волокно) после ионного и термического воздействий методом спектроскопии комбинационного рассеяния света.



Практическая значимость работы заключается как в установлении конкретных способов и режимов высокодозового ионного облучения для получения новых композиционных материалов на основе углерода, так и в развитии методов неразрушающей диагностики методом комбинационного рассеяния света, позволяющим проводить оценку их структуры и свойств.

#### **Степень обоснованности и достоверности научных результатов.**

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием в работе различных видов аллотропных модификаций углеродных материалов и сопоставлением совокупности полученных экспериментальных данных с результатами других авторов, занимающихся решением аналогичных проблем.

Достаточная обоснованность результатов диссертационной работы подтверждается использованием взаимодополняющих методов исследования, современных методик анализа и приборов для изучения структуры, электрических и оптических свойств углеродных материалов.

#### **Степень завершенности работы и качество ее оформления.**

Диссертационная работа Казакова В.А. представляет собой целостную законченную научную работу, в которой поставлена актуальная научная цель и решены сложные научно-технические задачи. Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной проблемы и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследований. Стил изложения диссертационной работы и автореферата отражает способность автора лаконично и аргументировано излагать свои мысли.

#### **Замечания по диссертации и автореферату.**

1. В аналитическом обзоре было бы желательно дать более подробный сравнительный анализ различных методов химической модификации углеродных материалов, что позволило бы более обосновано подтвердить необходимость тех методов модифицирования, которые использовались в работе.

2. В автореферате, в отличие от диссертации, не отражены возможные причины перехода поверхностного слоя алмаза от кристаллического к нанокристаллическому углероду при повышении температуры в процессе облучения.

3. При определении типа электрической проводимости модифицированного слоя алмаза были получены температурные зависимости сопротивления, однако эти измерения проводились в ограниченном температурном интервале, что снижает точность определения механизма проводимости при интерпретации результатов.

4. Размерность приводимых в работе физических величин желательно давать в системе СИ, т.к., например, температура указывается то в единицах Кельвина, то в единицах Цельсия.

5. Отделение десятичной части числа пишется то через точку, то через запятую (например, см. страницы диссертации 146 и 158).

Отмеченные замечания носят дискуссионный характер и не снижают высокой оценки диссертации, выполненной на хорошем научном и методическом уровне.

#### **Заключение.**

Диссертация Казакова Валерия Алексеевича содержит новые результаты и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены научно обоснованные технические и технологические решения, касающиеся получения новых углеродных материалов с помощью химической или ионно-лучевой обработки.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, докладывались на 22 научно-технических конференциях, опубликованы в 15 печатных работах, в том числе 8 статей в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК. Полученные экспериментальные данные по облучению алмазов могут быть полезны при создании элементной электронной базы, датчиков, оптоэлектронных приборов, а результаты по изучению полимерных композиционных материалов - в области оптоволоконной лазерной техники.

Автореферат отражает содержание диссертации.

По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п.п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденном Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор Казаков Валерий Алексеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических

наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Официальный оппонент

кандидат физико-математических наук

заместитель директора Федерального

государственного бюджетного учреждения

науки Института физической химии и

электрохимии им. А.Н. Фрумкина

Российской академии наук

по научной работе

07.06.2018



Залавудинов Ринад Харисович

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Института физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук (ИФХЭ РАН)

Почтовый адрес: 119071, г. Москва, Ленинский проспект, дом 31, корпус 4.

Адрес электронной почты: [dir@phyche.ac.ru](mailto:dir@phyche.ac.ru)

Телефон: 8(495)995-46-01