

## 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.** Актуальность темы диссертационной работы Казакова В.А. определяется потребностью ядерной, авиационной и космической промышленности в использовании различных видов углеродных материалов для разработки и создания новых композиционных материалов. Углеродные материалы входят в состав нанокерамики, полимерных нанокомпозитов, катализаторов, электродов литий-ионных аккумуляторов, изделий экстремальной и радиационно-стойкой электроники. Развитие новых методов модификации позволяет создавать как новые углеродные материалы, так и улучшать эксплуатационные свойства уже применяемых материалов.

Перспективными являются методы химической и высокодозовой ионно-лучевой модификации. Интерес к таким исследованиям связан с развитием технологии фокусированных ионных пучков, позволяющей создавать микроструктуры для оптоэлектронных приборов, создавать структуры алмаз-графит. Развитие технологий синтеза алмазов и алмазоподобных пленок позволяет существенно снизить их стоимость и расширить промышленное использование. Наряду с алмазом перспективными представляются исследования по высокодозовому ионно-лучевому модифицированию армирующих углеродные композиты углеродных волокон и получению химическими методами графеновых аэрогелей, способных найти применение в качестве материалов электродов суперконденсаторов.

В связи с вышеизложенным, диссертационная работа Казакова В.А., посвященная исследованию процессов модифицирования высокодозовыми потоками ионов аргона и неона поверхности алмаза, стеклоуглерода, углерод-углеродного композиционного материала, изучению структуры и свойств материалов на основе графена: полимерного композита графен-

карбоксиметилцеллюлоза и графеновых аэрогелей, полученных различными химическими методами, является весьма актуальной.

### **Общая характеристика работы**

Используемые способы и режимы обработки углеродных материалов позволили получить ряд перспективных композиционных структур: алмаз-графит, полимерные графеновые материалы, графеновые аэрогели, которые могут найти применение в различных областях техники.

Следует отметить качественный анализ научно-технической литературы по теме комбинационного рассеяния света углеродными материалами. Особое внимание этому методу анализа углеродных материалов уделено в связи с тем, что он использовался при анализе структуры всех углеродных материалов, исследуемых в диссертации. Такой основательный подход позволил автору создать методический задел для анализа любых углеродных материалов и может представлять самостоятельную прикладную ценность.

Выделяется многосторонний подход автора к исследованию ионно-стимулированной графитизации при высокодозовом ионном облучения алмаза. Исследование широкого ряда свойств модифицированного слоя различными методами исследований позволило глубже понять это явление.

**К наиболее научно значимым и новым результатам работы можно отнести следующие результаты**

1. Определение закономерностей изменения структуры и электрического сопротивления поверхности синтетических алмазов в зависимости от температуры высокодозового облучения в широком диапазоне температур. В частности, найдено, что при температурах облучения  $\leq 220$  °С наблюдается полупроводниковый характер проводимости, а при более высоких температурах – металлический характер проводимости. В интервале температур облучаемого алмаза от 200 до 500 °С микроструктура поверхностного слоя соответствует поликристаллическому графиту. При  $T_{обл} < 200$  °С – аморфному углероду, при  $T_{обл} > 500$  °С – нанокристаллическому графиту.

2. Определение изменения микроструктуры оболочки углеродного волокна при термо- и ионно-лучевой обработках, позволяющих

контролировать процессы модификации углеродного волокна. Найдено, что доля аморфной фазы при ионно-индуцированной рекристаллизации является минимальной при ионно-лучевом гофрировании (травлении). Обнаружено, что уменьшение уровня радиационных нарушений при уменьшении энергии ионов или при увеличении угла падения ионов подавляет аморфизацию.

3. Определение взаимосвязи основных параметров спектров комбинационного рассеяния света со структурой графеновых аэрогелей, позволяющей проводить дальнейшую оптимизацию методов их получения. В частности, показано, что гидротермальный метод синтеза аэрогелей приводит к наибольшему размеру кристаллитов графена в аэрогеле.

#### **Оценка практической значимости диссертационной работы**

Практическая значимость работы состоит в разработке конкретных композиционных материалов: структуры алмаз-графит, графеновых аэрогелей, композита графен-карбоксиметилцеллюлоза, полученных на основе высокодозового и химического модифицирования углеродных материалов, а также метода анализа их структуры, позволяющего проводить диагностику в процессе их синтеза и модификации, в том числе на производстве.

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

Положения и выводы, сформулированные в диссертации, в достаточной степени обоснованы и экспериментально проверены. Достоверность и обоснованность результатов диссертационной работы подтверждаются большим объемом экспериментальных данных, полученных с использованием различных методов, их корректной обработкой и глубоким анализом полученных результатов.

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

Диссертация написана с соблюдением ГОСТ 7.0.11–2011, ее основные выводы обоснованы и соответствуют тексту и содержанию. Постановка задач исследования, методика их реализации, полученные результаты отвечают поставленной цели работы. Стиль изложения и общее качество оформления работы соответствует требованиям к материалам, предназначенным для публикации в научной печати.

По тексту диссертационной работы и автореферата можно сделать следующие замечания:

1. Для графеновых аэрогелей не приведены значения их площади удельной поверхности, электрические и механические характеристики, что не позволяет более полно оценить пригодность этих материалов и методов их модифицирования для конкретного применения.

2. В работе отсутствует объяснение факта изменения структуры углеродного волокна (появление «гофрирования») в зависимости от условий облучения.

3. В личном вкладе автора не указан вклад по химическому модифицированию углеродных материалов.

4. Имеются небрежности в оформлении диссертации. В подписи к рисункам со спектрами комбинационного рассеяния света наблюдается разный стиль написания («сдвиг», «сдвиг КР» или  $\Delta k$ ). Целесообразно использовать единый стиль подписей. В работе встречается разное название одного прибора: «рамановский спектрометр» или «спектрометр КРС», целесообразно использование только одного из названий прибора.

5. Недостаточно проработанным представляется вопрос влияния высокодозового облучения на структуру поверхности стеклоуглерода, ввиду выбора для исследования стеклоуглерода только с одной температурой термообработки. Возможно на других марках стеклоуглерода структура поверхности изменялась бы и при других температурах облучения.

Сделанные замечания не снижают общий высокий уровень оценки диссертации.

### **Заключение**

В целом, представленная диссертация Казакова В.А. выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены научно обоснованные технические решения по получению различных углеродных материалов и композитов для авиационно-космической техники, радиационно-стойкой электроники и лазерной техники и анализу их структурных изменений при ионно-лучевом и химическом модифицировании.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на 22 научно-технических конференциях, опубликованы в 15 печатных работах, в том числе 8 статей в ведущих рецензируемых журналах,

входящих в перечень ВАК. Результаты работы могут быть полезны при создании при анализе структуры углеродных материалов в процессе их модификации, а разработанные углеродные материалы в различных областях промышленности, при создании датчиков, химических источников тока.

Автореферат полностью 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**

Овчинников Виктор Васильевич

доктор технических наук, профессор, академик Международной академии информатизации, начальник лаборатории сварочных процессов АО «Российская самолетостроительная корпорация «МиГ», профессор кафедры «Материаловедение» ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет»

Подпись Овчинникова В.В. удостоверяю.

Начальник Управления по  
личному составу и трудовым  
отношениям



Калиничева Н.Ю.

Акционерное общество "Российская самолетостроительная корпорация "МиГ". Почтовый адрес: 125284, г. Москва, 1-й Боткинский проезд, д.7. Телефон: +7(495)721-81-00. Адрес электронной почты: mig@migavia.ru