

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Афзал Аси Мохаммадовны  
«Получение мелкозернистой керамики из композитных  
наноструктурированных порошков на основе графена и оксида циркония»,  
представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук  
по специальности 2.6.5 - Порошковая металлургия и композиционные  
материалы

**Целью диссертационной работы** Афзал А.М. было создание научных основ технологии нано- и субмикронных композитных порошков на основе бескислородного графена и  $ZrO_2$ , предназначенных для создания новых мелкозернистых керамических материалов широкого спектра назначения.

**Актуальность исследования** не вызывает сомнений, поскольку область создания функциональных мелкозернистых керамических материалов и композитных порошков, необходимых для их получения, можно охарактеризовать как находящуюся в стадии накопления экспериментальных данных. В промышленности реализован только метод Хаммерса, которым удается получить окисленный или восстановленный окисленный графен, состав которых не имеет определенной формулы и вследствие присутствия кислородсодержащих групп не обладает протяженной  $sp^2$ -электронной системой, а также содержит в своем составе большое количество дефектов. Тормозит развитие производства графен-содержащей керамики отсутствие надежных способов получения порошков с содержанием графена менее 2 масс. % и равномерным распределением этого малого количества в объеме композита без формирования углеродной фазы. Поэтому актуальной является задача разработки экономичного и экологически приемлемого отечественного метода получения бескислородного графена и использования его в синтезах композитных порошков без потерь.

**Научная новизна** полученных результатов обусловлена тем, что

- впервые получены наноструктурированные композитные порошки графен- $ZrO_2$  путем сочетания золь-гель и сонохимической техник, что позволило решить проблему равномерного распределения 2D форм графена в гибридной структуре и сохранить его  $sp^2$ -электронную систему, обеспечивающую уникальные электронные свойства в составе композитного материала;
- впервые изучена прессуемость и деформационные особенности графен-керамического порошка и показано, что введение менее 1 масс. % графена в нанопорошок  $ZrO_2$  способствует снижению его уплотняемости почти в 2 раза благодаря упругости графеновых листов;
- впервые исследован процесс кристаллизации  $ZrO_2$  на листах графена и установлено, что нанокристаллический  $ZrO_2$ , сформированный на листах

графена, по морфологии и фазовому составу отличается от  $ZrO_2$ , сформированного в объеме коллоида;

- установлено, что графен способствует формированию мелкозернистой керамики с высокой однородностью состава на наноуровне;
- впервые показано, что присутствие листов графена и способ их введения в нанопорошок оказывают влияние на энергию активации и механизм массопереноса при спекании  $ZrO_2$ .

**Теоретическая и практическая значимость** работы заключается в том, что:

- разработаны основы отечественной импортозамещающей технологии получения облегченных и одновременно упрочненных керамических материалов на основе бескислородного графена и  $ZrO_2$ ;
- разработанные наноструктурированные композитные порошки содержат листы бескислородного графена, сохраняющего уникальные электронные свойства, что выгодно отличает их от используемых порошков на основе окисленного или восстановленного окисленного графена;
- предложенный способ решает на наноуровне проблему равномерного распределения графена в объеме графен-керамической гибридной структуры;
- предложенный способ аппаратурно доступен и является экологически приемлемым, так как не предполагает использования жестких окисляющих и токсичных реагентов, а отсутствие стадии промывки водой обеспечивает экономичность процесса в целом.

Результаты работы используются в специализированных организациях, приоритет авторов подтвержден двумя патентами РФ.

Работа представляет собой законченный цикл исследований, охватывающий операции от получения исходных растворов солей и суспензий графена до спекания керамических образцов с подробной характеристикой полученных объектов на каждом этапе. Автором также предложены основанные на результатах инструментальных методов исследования механизмы формирования суспензий графена, гибридных структур и керамических материалов, спеченных из разработанных порошков.

Автореферат диссертации в целом даёт полное представление о работе, написан грамотным литературным языком. В то же время можно отметить некоторые неудачные выражения. Например, на стр. 2 говорится о «результатах деформационных исследований». Наверное, речь идёт о результатах исследования деформационных свойств материала.

Не очень удачно утверждение на стр. 2, что «бескислородный графен защищен от окисления». Чем и как он защищён?

Приведенные замечания не влияют на положительную оценку проделанной работы. Диссертационная работа Афзал А.М. выполнена на

высоком научно-техническом уровне, соответствующем мировому уровню аналогичных материаловедческих исследований.

Об этом свидетельствуют большое количество публикаций в высокорейтинговых рецензируемых международных журналах и презентаций на российских и международных конференциях. Полученные результаты соответствуют мировому уровню развития науки в области композиционных материалов.

Автореферат отражает полностью содержание диссертации, подача материала и оформление соответствуют требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

По актуальности, научной новизне, объему выполненных исследований, практической значимости полученных результатов диссертация является завершенной научно-квалификационной работой и соответствует требованиям ВАК, изложенным в пп. 9-14 Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 и паспорту специальности 2.6.5. - Порошковая металлургия и композиционные материалы. Ее автор, Афзал Ася Мохаммадовна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5 - Порошковая металлургия и композиционные материалы.

*Лисер*

Беренгартен Михаил Георгиевич,

*12.03.2018г.*

профессор кафедры «Аппаратурное оформление  
и автоматизация технологических производств  
имени проф. М.Б. Генералова»  
ФГАОУ «Московский политехнический университет»  
Кандидат химических наук (специальность  
2.6.7 Технология неорганических веществ),  
Лауреат Премии Правительства РФ  
E-mail: [berengarten@mail.ru](mailto:berengarten@mail.ru)?  
Телефон +7-903-728-97-87  
Москва, 107023. Большая Семеновская, дом 38

Я, Беренгартен Михаил Георгиевич, *Лисер* даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета 24.1.078.02 и их дальнейшую обработку, необходимую для процедуры защиты диссертации Афзал Аси Мохаммадовны.

Подпись профессора Беренгартена М.Г. заверяю:

