

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Трофимука Андрея Дмитриевича  
«Формирование и структурные свойства двухкомпонентных систем  
"детонационный наноалмаз-оксид графена"», представленной на соискание ученой  
степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – физика  
конденсированного состояния

Интерес к углеродным наноматериалам, в частности – детонационным наноалмазам (ДНА), не ослабевает последние несколько десятков лет, что обусловлено их уникальными свойствами. Вручение в 2010 году Нобелевской премии, посвященной графену, привлекло повышенное внимание научной общественности к этому и родственным ему двумерным углеродным материалам. Создание же двухкомпонентных структур на основе этих наноматериалов до представленного диссертационного исследования было рассмотрено лишь в отдельных работах, не носящих комплексного и глубокого характера. Однако предложение использовать ДНА в качестве наночастиц, разделяющих листы графена, несомненно, перспективно для практических применений и интересно с точки зрения фундаментальной науки. В связи с этим актуальность представленной работы, посвященной созданию углеродных систем из наноразмерных частиц детонационных наноалмазов и протяженных двумерных частиц оксида графена (ОГ) и исследованию их структурных особенностей и физических свойств не вызывает сомнения.

Автореферат изложен довольно лаконично, но содержит всю необходимую информацию, давая полное представление об общем диссертационном исследовании. Хотелось бы отметить, что перед формулировкой цели работы автор кратко приводит имеющийся в научной литературе задел по выбранной теме, что помогает понять ее сложность и неразработанность.

В первой части диссертационного исследования изучены особенности взаимодействия частиц ДНА различного заряда с листами ОГ в гидрозольях. При этом впервые продемонстрирована самосборка двухкомпонентных наноструктур «детонационный наноалмаз-оксид графена» за счет кулоновского притяжения разноименно заряженных компонентов и взаимной компенсации зарядов. Диссертантом разработан экспериментальный метод получения таких самоорганизованных структур, определено соотношение компонентов –  $m_{\text{ДНА}}/m_{\text{ОГ}} = 3.5$  (в пересчете на сухое вещество), а также сделан важный вывод об однородном осаждении частиц ДНА на поверхности ОГ в виде плоских кластеров с сохранением планарности листов ОГ.

В следующей части диссертационной работы продемонстрированы возможности управления структурой материалов из ОГ и ДНА, полученных в результате удаления воды и формирования аэрогеля или в результате термообработки без доступа окислителя, а также в атмосфере  $\text{CO}_2$ . Здесь главным выводом является то, что листы восстановленного ОГ даже при деформации и скручивании остаются разделенными ДНА.

Еще один раздел работы посвящен такому важному параметру изучаемых структур, как максимальное значение удельной поверхности. Автором приведена и обоснована оценка сверху максимального значения удельной поверхности двухкомпонентной системы – 470 м<sup>2</sup>/г. Кроме того, предложен метод оценки количества слоев графена в двухкомпонентных структурах по данным сорбции при низких температурах.

Известной проблемой работы с ДНА является формирование в их гидрозолях вторичных кластеров довольно крупных размеров относительно отдельных частиц. В связи с этим в последней части диссертации автором предложены методы получения частиц ДНА из промышленного порошка с медианным размером менее 5 нм и качественная модель, объясняющая устойчивость части алмазной фракции к разработанным ранее процессам деагрегации.

В качестве замечания можно указать на отсутствие в автореферате информации об устойчивости во времени структуры разработанных двухкомпонентных систем. Однако это замечание носит рекомендательный характер и не снижает общей положительной оценки работы. Автореферат позволяет судить о надежности полученных результатов. Диссертация выполнена на высоком научном уровне, ее результаты перспективны в целом ряде фундаментальных и прикладных направлений.

На основании автореферата можно утверждать, что диссертационная работа А.Д. Трофимука в полной мере соответствует критериям Положения о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-техническом институте им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук, а её автор, безусловно, заслуживает присуждения искомой учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – физика конденсированного состояния.

Букреева Татьяна Владимировна,  
доктор химических наук (специальность 02.00.11 - коллоидная химия),  
доцент, ведущий научный сотрудник  
Лаборатории биоорганических структур  
Института кристаллографии им. А.В. Шубникова  
Курчатовского комплекса кристаллографии и фотоники  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»  
119333, г. Москва, Ленинский проспект, д. 59.  
E-mail: bukreeva@crys.ras.ru,  
тел. +7(499)135-40-20

05.06.2025

Т.В. Букреева

Подпись Т.В. Букреевой заверяю: