

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ФТИ 34.01.01  
на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе  
Российской академии наук  
по диссертации  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК  
аттестационное дело №\_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 02.02.2023 № 1

О присуждении Кидалову Сергею Викторовичу  
Гражданину Российской Федерации,  
ученой степени доктора физико-математических наук

Диссертация «Фазовые переходы графит-алмаз в углеродных наноструктурах при высоких давлениях и температурах» по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния» принята к защите 28 октября 2022 г., протокол №10, диссертационным советом ФТИ 34.01.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе Российской академии наук, расположенном по адресу: 194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул. д.26. Диссертационный совет утвержден приказом директора ФТИ им. А.Ф. Иоффе № 75, прил. 1 от 12 июля 2019 г., приказами Директора ФТИ им. А.Ф. Иоффе от № 15 от 19.01.2021 г. и № 13 от 21.01.2022 г. об изменении состава диссертационного совета ФТИ 34.01.01 и приказом Директора ФТИ им. А.Ф. Иоффе № 160 от 21.12.2021 г. о внесении изменений в шифры специальностей диссертационных советов.

Соискатель Кидалов Сергей Викторович, дата рождения - 02.01.1958, в 1981 году окончил специалитет Ленинградского электротехнического института им. Ульянова (Ленина) по специальности «Оптоэлектронные приборы». В 1987 году защитил диссертацию на соискание степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 - физика полупроводников. В настоящее время соискатель работает в должности ведущего научного сотрудника в лаборатории физики

кластерных структур Федерального бюджетного учреждения науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук.

Диссертация выполнена в лаборатории физики кластерных структур Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук.

Научный консультант – Вуль Александр Яковлевич, д.ф.м.н., заведующий лабораторией физики кластерных структур Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук.

Официальные оппоненты:

1. Кумзеров Юрий Александрович, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник, заместитель руководителя отделения, Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук, дал положительный отзыв на диссертацию, содержащий 4 замечания.

2. Окотруб Александр Владимирович, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией физикохимии наноматериалов, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт неорганической химии им. А. В. Николаева Сибирского отделения Российской академии наук, дал положительный отзыв на диссертацию, содержащий 4 замечания.

3. Чернозатонский Леонид Александрович, доктор физико-математических наук, профессор, лауреат Государственной премии, заслуженный деятель науки РФ, заведующий отделом новых методов биохимической физики, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт биохимической физики им. Н. М. Эмануэля Российской академии наук, дал положительный отзыв на диссертацию, содержащий 2 замечания.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого предоставила положительное заключение на диссертацию, содержащее 6 замечаний.

Заключение подготовлено доктором технических наук, профессором Института машиностроения, материалов и транспорта СПбПУ Петра Великого Толочко Олегом Викторовичем и кандидатом химических наук, ведущим научным сотрудником Института компьютерных наук и технологий СПбПУ Петра Великого Лещевым Дмитрием Владимировичем. В заключении указано, что содержание диссертации Кидалова С. В. соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям по специальности 1.3.8 – «физика конденсированного состояния», а соискатель Кидалов С. В. заслуживает присуждения степени доктора физико-математических наук.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что они имеют ученые степени докторов наук, работают в различных организациях, не имеют других ограничений, накладываемых п. 3.7 действующего Положения о присуждении ученых степеней. Выбранные оппоненты являются широко известными специалистами и обладают высоким уровнем компетентности в научной области, в которой выполнена диссертационная работа, что подтверждается их публикациями в рецензируемых научных журналах.

Выбор ведущей организации обосновывается тем, что СПбПУ Петра Великого ведет активные исследования в различных областях физики конденсированного состояния, в частности в области перспективных наноструктур на основе углерода. В СПбПУ Петра Великого действует диссертационный совет У.01.04.07 по специальности 1.3.8. – “физика конденсированного состояния”.

Основное содержание диссертации представлено в 25 научных статьях, опубликованных в журналах, индексируемых в международной системе цитирования Web of Science, получены 5 патентов.

На автореферат поступило 6 отзывов.

Отзыв помощника президента Центра Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» доктора физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников профессора Кашкарова Павла Константиновича положительный, замечаний не содержит.

Отзыв кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.17-химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества научного сотрудника отдела синхротронных исследований Центра коллективного пользования «Сибирский кольцевой источник фотонов» Федерального государственного бюджетного учреждения наук «Федеральный исследовательский центр «Институт катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук» Рубцова Ивана Андреевича положительный, замечаний не содержит.

Отзыв доктора физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния Санкт-Петербургского государственного университета профессора Шикина Александра Михайловича положительный и содержит 1 замечание:

- В работе часто используется термин «композитный материал». Однако не всегда объясняется, что имеется в виду в классическом понимании композитов- что является матрицей, а что наполнителем.

Отзыв доктора физико-математических наук начальника сектора нейронной оптики Объединенного института ядерных исследований Авдеева Михаила Васильевича положительный, замечания отсутствуют.

Отзыв доктора технических наук по специальности 05.17.08 – процессы и аппараты химической технологии, профессора, заслуженного деятеля науки РФ, заведующего кафедрой «Техника и технологии производства нанопродуктов» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» Ткачева Алексея Григорьевича положительный и содержит 1 замечание:

- В первой части работы указывается, что фуллерены при циклоприсоединении к краям решетки графита приводят к искажению решетки создавая адамантоподобные области, которые вызывают искажение всей решетки графита и приводят к акселерации фазового перехода графит-алмаз. Почему не исследовалась ситуация непосредственного добавления порошка адаманта в исходную шихту для проведения процесса синтеза?

Отзыв доктора технических наук по специальности 02.00.21 – химия твердого тела начальника научно-исследовательской лаборатории Федерального государственного унитарного предприятия «специального конструкторско-технологическое бюро «Технолог» Долматова Валерия Юрьевича положительный, замечания отсутствуют.

Диссертационный совет отмечает, что в рамках выполненных соискателем комплексных экспериментальных исследований, направленных на выявление фундаментальных закономерностей и механизмов фазовых переходов графит–алмаз с участием новых типов углеродных наноструктур при высоких давлениях и температурах были получены следующие основные результаты:

1. Впервые установлен механизм воздействия модификации графитовой смеси фуллеренами или детонационного наноалмаза (ДНА) на синтез алмаза в условиях высоких статических давлений и температур (НРНТ - High Pressure High Temperature) в присутствии металлических катализаторов.
2. Обнаружено, что спекание наночастиц ДНА в условиях НРНТ может в присутствии углеводородов приводить к формированию совершенных монокристаллов алмаза микронных размеров. Предложена модель роста алмазных кристаллов при спекании по механизму «ориентированного присоединения» без переноса вещества через жидкую фазу.
3. Показана связь между значительным уменьшением теплопроводности алмазных поликристаллов, полученных спеканием частиц ДНА в условиях НРНТ по сравнению с поликристаллами, полученными спеканием микрокристаллических алмазов, с рассеянием фононов на межзеренных границах при переносе теплового потока. Также установлена связь повышения теплопроводности поликристаллов алмаза с увеличением температуры спекания частиц ДНА в условиях НРНТ с ростом областей когерентного рассеяния рентгеновских лучей (размеров кристаллитов) и, соответственно, уменьшением числа межзеренных границ.

4. Выявлена существенная трансформация структуры и элементного состава поверхности микрокристаллических алмазов при спекании частиц ДНА в условиях НРНТ.
5. Установлена возможность внедрения атомов элементов 3d – 4f Gd и Eu в объем монокристаллов алмаза при спекании частиц ДНА в условиях НРНТ.
6. Показано, что монокристаллические алмазы, полученные спеканием частиц ДНА в условиях НРНТ, демонстрируют интенсивную фотолюминесценцию N-V-центров и представляют собой ориентированные системы с высокой когерентностью электронных спинов при комнатной температуре. Формирование высокой концентрации люминесцентных азот-вакансионных N-V-центров в монокристаллах алмаза при спекании частиц ДНА в условиях НРНТ происходит без облучения высокоэнергетическими частицами и последующего отжига.

Все научные результаты являются новыми и имеют фундаментальную значимость для развития физического материаловедения новых классов углеродных наноструктур. Практическая значимость работы состоит в разработке основ получения и применения углеродных наноматериалов и совершенствования технологий получения алмазных кристаллов.

Полученные результаты позволили соискателю сформулировать и защитить следующие положения:

1. Механизм, определяющий влияние фуллеренов на фазовый переход графит–алмаз при высоких давлениях и температурах, связан с реакцией циклоприсоединения на краях листов графита, приводящей к образованию адамантаноподобных структур, с последующей перестройкой всей структуры графита с  $sp^2$ -гибридизацией в решетку алмаза с  $sp^3$ -гибридизацией, при этом рост алмазов ускоряется за счет снижения энергии активации фазового перехода графит–алмаз.
2. Модификация шихты графит – металл-катализатор детонационными наноалмазами позволяет создать эффективные центры нуклеации микрокристаллов алмаза при статическом синтезе алмазов из графита в присутствии металла-катализатора.

3. Немонотонная зависимость теплопроводности синтезируемых алмазных поликристаллов от температуры отжига при высоких статических давлениях обусловлена первоначальным возрастанием теплопроводности из-за улучшения межкристаллических границ вследствие взаимной диффузии атомов углерода алмазных микрочастиц и последующим падением теплопроводности при дальнейшем росте температуры спекания из-за графитизации поверхности алмазных микрокристаллов, при этом положение максимума теплопроводности в координатах давление – температура (P-T) соответствует границе фазового равновесия алмаз-графит.
4. При спекании детонационных наноалмазов в условиях высоких статических давлений и температур теплопроводность синтезируемых алмазных нанокомпозитов определяется конкурирующими процессами. Повышение теплопроводности определяется увеличением размера кристаллитов и ростом теплопроводности межкристаллических границ наноалмаз–наноалмаз, а уменьшение – падением теплопроводности межкристаллических границ, связанным с образованием  $sp^2$ -гибридизованного углерода.
5. Механизмом, определяющим рост монокристаллов алмаза микронных размеров в условиях НРНТ спекания наночастиц ДНА в присутствии углеводородов, является ориентированное присоединение алмазных наночастиц.
6. Повышенная концентрация азота в алмазных наночастицах детонационного синтеза является причиной высокой концентрации люминесцентных азот-вакансионных N-V-центров в алмазных монокристаллах, полученных спеканием наноалмазов в условиях НРНТ без облучения высокоэнергетическими частицами и последующего отжига.

Достоверность представленных в диссертации результатов и обоснованность положений основывается на применении комплекса современных экспериментальных методик, включающих измерения в широком диапазоне температур и давлений, предложением и анализом моделей изучаемых процессов, рассмотрением результатов в свете современных представлений в данной области физики конденсированного состояния. Полученные результаты прошли апробацию на более чем 25

международных и российских конференциях, опубликованы в 25 оригинальных статьях в рецензируемых журналах по физике конденсированного состояния.

Выбор направления исследований, постановка задач и получение представленных в диссертации результатов осуществлены непосредственно автором или при его определяющем участии, что подробно указано в тексте автореферата.

Диссертация Кидалова С. В. является законченным научным исследованием, вносящим существенный вклад в развитие такого актуального направления современной физики конденсированного состояния, как физика углеродных наноструктур.

На заседании 2 февраля 2023 года диссертационный совет принял решение присудить Кидалову С. В. ученую степень доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8 – «физика конденсированного состояния».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 13 докторов по специальности 1.3.8 - «физика конденсированного состояния», участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали за – 14, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель  
диссертационного совета  
доктор физ.-мат. наук

Кусраев Юрий Георгиевич

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
PhD

Калашникова Александра Михайловна

2 февраля 2023 г.