

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 003.051.01 НА БАЗЕ
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института неорганической химии имени А.В. Николаева
Сибирского отделения Российской академии наук, ФАНО России
ПО ДИССЕРТАЦИИ **Комаровских Андрея Юрьевича**
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 21 декабря 2016 года №16

О присуждении *Комаровских Андрею Юрьевичу*, гражданину Российской Федерации ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Исследование структуры и электронного состояния парамагнитных центров в алмазе, связанных с вхождением фосфора, кислорода, водорода, кремния и германия» в виде рукописи по специальности 02.00.04 – физическая химия (физико-математические науки) принята к защите *12 октября 2016 г.*, протокол № 11 диссертационным советом Д 003.051.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института неорганической химии им. А.В. Николаева Сибирского отделения Российской академии наук (ИНХ СО РАН), ФАНО (630090, г. Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева, д. 3, действующего на основании приказа Минобрнауки РФ от 11.04.2012 № 105/нк).

Соискатель *Комаровских Андрей Юрьевич*, 1990 года рождения, в 2013 году соискатель окончил ФГБОУ ВПО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет» по специальности – физика, обучался в очной аспирантуре ИНХ СО РАН в период с 2013 по 2016 г. На момент защиты диссертации работает младшим научным сотрудником в лаборатории физико-химических методов исследования газовых сред ИНХ СО РАН.

Диссертация выполнена в лаборатории физико-химических методов исследования газовых сред в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте неорганической химии им. А.В. Николаева Сибирского отделения Российской академии наук.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук *Надолинный Владимир Акимович*, работает в лаборатории физико-химических методов исследования газовых сред ИНХ СО РАН в должности главного научного сотрудника.

Официальные оппоненты:

– *Кулик Леонид Викторович*, гражданин России, доктор физико-математических наук, профессор РАН, ведущий научный сотрудник лаборатории химии и физики свободных радикалов Федерального государственного бюджетного учреждения

науки Института химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск;

– *Володин Александр Михайлович*, гражданин России, доктор химических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории исследования наноструктурированных катализаторов и сорбентов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск; дали **положительные** отзывы на диссертацию.

Ведущая организация, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова, г. Новосибирск, в своем **положительном заключении**, утвержденном директором д.ф.-м.н., академиком РАН Латышевым А.В. и составленным заведующим лабораторией физических основ материаловедения кремния д.ф.-м.н. Поповым В.П. и заместителем директора ИФП СО РАН чл.-к. РАН, д.ф.-м.н., профессором Двуреченским А.В. указала, что: «Работа... является логически завершенным исследованием и удовлетворяет требованиям пункта №9 Положения ВАК о порядке присуждения ученых степеней, утвержденных постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г., №842, а ее автор Комаровских Андрей Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 02.00.04 – физическая химия.

Отзыв на диссертационную работу А. Ю. Комаровских одобрен Ученым советом ФГБУН ИФП СО РАН протокол №7 от 31 октября 2016 г.»

По теме диссертации соискатель имеет 7 работ, из них 2 статьи опубликованы в отечественных рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ, 5 статей – в зарубежных рецензируемых журналах; все публикации входят в перечень журналов, индексируемых в международной информационно-аналитической системе научного цитирования Web of Science. Общий объем опубликованных работ составляет 30 стр. (1,9 печ. л.), 16 работ опубликованы в материалах всероссийских и международных конференций и симпозиумов; публикаций в электронных научных изданиях нет.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Nadolinny V., Komarovskikh A., Pal'yanov Y., Kupriyanov I. EPR of new phosphorus-containing centers in synthetic diamonds // *Phys. Status Solidi A*. – 2013. – V. 210. – P. 2078-2082.

2. Komarovskikh A., Nadolinny V., Palyanov Y., Kupriyanov I. EPR study of impurity defects in diamonds grown in carbonate medium // *Phys. Status Solidi A* – 2013. – V. 210. – P. 2074-2077.

3. Надолинный В.А., Комаровских А.Ю., Пальянов Ю.Н., Куприянов И.Н., Борздов Ю.М., Рахманова М.И., Юрьева О.П., Вебер С.Л. Исследование методом ЭПР германий-вакансионного дефекта в алмазе // *Журн. структур. химии*. – 2016. – Т. 57. – С. 1092-1094.

На диссертацию и автореферат диссертации поступило 11 отзывов. Все отзывы положительные, 4 – с замечаниями, 7 – без замечаний. Отзывы поступили от: *д.г.-м.н. Пальянова Ю.Н.*, заведующего лабораторией экспериментальной минералогии и кристаллогенезиса ФГБУН Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (г. Новосибирск); *д.ф.-м.н. Машковцева Р.И.*, старшего научного сотрудника той же лаборатории ФГБУН Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (г. Новосибирск); *д.ф.-м.н. Винса В.Г.*, директора ООО «ВЕЛМАН» (г. Новосибирск); *д-ра Шамеса А.И.*, старшего научного сотрудника лаборатории магнитного резонанса Университета Бен-Гуриона в Негеве (г. Беэр-Шева, Израиль); *к.ф.-м.н. Сукачева Д.Д.*, научного сотрудника физического факультета Гарвардского университета (г. Кембридж, США); *к.ф.-м.н. Вебера С.Л.*, старшего научного сотрудника лаборатории магнитного резонанса ФГБУН Института «Международный томографический центр» СО РАН (г. Новосибирск); *к.ф.-м.н. Стася Д.В.*, старшего научного сотрудника лаборатории быстропротекающих процессов ФГБУН Института химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского СО РАН (г. Новосибирск); *д.ф.-м.н., профессора Мартыновича Е.Ф.*, заведующего Иркутским филиалом Института лазерной физики СО РАН (г. Иркутск); *к.ф.-м.н. Романова Н.Г.*, старшего научного сотрудника лаборатории микроволновой спектроскопии кристаллов ФГБУН Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН (г. Санкт-Петербург), *к.ф.-м.н. Ральченко В.Г.*, заведующего лабораторией алмазных материалов ФГБУН Института общей физики им. А.М. Прохорова РАН (г. Москва), *д.ф.-м.н. Елисеев А.П.*, ведущий научный сотрудник лаборатории минералов высоких давлений и алмазных месторождений ФГБУН Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (г. Новосибирск).

Большинство замечаний к автореферату носят уточняющий характер и посвящены методологии спектроскопии электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) в определении структуры и зарядового состояния парамагнитных центров в алмазе; отмечается важность исследования оптически активных кремний-вакансионного и германий-вакансионного дефектов. Все отзывы заканчиваются выводом, что диссертационная работа А.Ю. Комаровских **полностью соответствует** требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а её автор А.Ю. Комаровских заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 02.00.04 – физическая химия.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается компетентностью оппонентов как в области общих вопросов применения различных методов ЭПР для исследования структуры и электронного состояния парамагнитных соединений, так и конкретной осведомленностью в исследовании парамагнитных дефектов в кристаллах с помощью ЭПР. Важен и значим вклад ведущей организации в обсуждении природы и строения точечных дефектов в

алмазе. Данные компетенции подтверждаются наличием публикаций оппонентов и сотрудников ведущей организации в данной области исследований.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- *установлено, что* в результате отжига при высоких давлении и температуре (НРНТ-отжига) при 2300°C происходит трансформация азотно-фосфорных парамагнитных центров NP1, NP2, NP3 в соответствующие центры NP4, NP5, NP6, в которых атом фосфора находится в двойной полувакансии;

- *показано, что* фосфорсодержащие центры NP4, NP5 и NP6 являются эффективными центрами захвата вакансий: облучение с последующим отжигом алмазов, содержащих центры NP4, NP5 и NP6, приводит к образованию нового парамагнитного центра NP7 со структурой восьмивакансионной цепочки, в центре которой расположен атом фосфора;

- *обнаружено* два новых фосфорных парамагнитных центра NP8 и NP9 в НРНТ-алмазах, синтезированных в системе P–C с высоким содержанием фосфора и добавлением Al в качестве геттера азота. Для кристаллов алмаза с высоким содержанием примеси фосфора впервые обнаружено проявление в спектрах ЭПР линии Дайсона, обусловленной электронами проводимости;

- *показано, что* кислород входит в алмазную кристаллическую решётку с образованием парамагнитных центров OX1, OX2, OX3 в результате синтеза алмаза при НРНТ-условиях в карбонатной системе;

- *установлено, что* в результате синтеза алмаза при НРНТ-условиях в карбонатной системе с добавлением воды, образуется новый парамагнитный дефект VОН, для которого предложена модель в виде вакансии, в структуре которой находятся атомы кислорода и водорода;

- *показано, что* в результате синтеза алмаза при НРНТ-условиях в системе Mg–C с добавлением Si и B образуется новый парамагнитный центр SiB, в котором атом кремния и атом бора находятся в соседних узлах кристаллической решётки. Впервые показано, что оптическая система с бесфононной линией (БФЛ) 720 нм в спектрах фотолюминесценции алмаза является проявлением парамагнитного центра SiB в алмазе;

- *показано, что* примесь германия входит в алмазную кристаллическую решётку с образованием нейтрального дефекта в виде атома германия в двойной полувакансии. Данный центр имеет электронное состояние со спином $S=1$ и характеризуется симметрией дефекта D_{3d} .

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- *установлена* структура фосфор-азотных агрегационных дефектов в алмазе, причем формирование таких комплексов препятствует получению алмаза *n*-типа проводимости;

- *показано, что* кислород входит в алмазную кристаллическую решетку в виде дефектов, содержащих атомы кислорода как в межузельной конфигурации, так и в

структуре вакансии. Для центра OX1 вхождение кислорода в алмаз подтверждается наблюдением неразрешённой сверхтонкой структуры (СТС) от ^{17}O для образцов, синтезированных в изотопно-обогащенной среде;

- *обнаружено*, что примесь бора при отсутствии примесного азота эффективно взаимодействует при росте кристаллов с примесью кремния, образуя дефекты в виде пары Si-B в соседних углеродных положениях;

- впервые методом ЭПР *изучены* алмазы, легированные изотопом германия ^{73}Ge . На основании данных о СТС изотопа ^{73}Ge в спектрах ЭПР однозначно установлено, что германий формирует дефект – атом германия в двойной полувакансии.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- *полученные* результаты по дефектообразованию с участием примесного фосфора позволят предсказать наличие или отсутствие полупроводниковых свойств при легировании фосфором алмаза в зависимости от его примесного состава. Как было показано, наличие примеси азота препятствует формированию *n*-типа проводимости при легировании алмаза фосфором;

- *обнаруженные* парамагнитные центры SiB и GeV, проявляющиеся в спектрах люминесценции, расширяют область применения оптически активных центров в алмазе. Такие центры представляет интерес в связи с их перспективностью в квантово-оптических приложениях.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

для получения экспериментальных данных использовался комплекс высокочувствительных спектральных физико-химических методов исследования (ЭПР, инфракрасная спектроскопия и фотолюминесценция), отработанных ранее на других дефектах в алмазе. Полученные различными методами данные согласуются между собой, формируя непротиворечивую картину свойств изучаемых парамагнитных центров. Результаты получены на достаточном количестве образцов и не противоречат известным литературным данным. Апробация результатов диссертационной работы проведена на 12 научных конференциях различного уровня, включая специализированные международные, результаты опубликованы в 7 статьях в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК.

Личный вклад соискателя состоит в том, что: он непосредственно участвовал в постановке задач, представленных в диссертации, а также составлении плана экспериментальных и теоретических исследований. Соискатель лично получил большинство спектров электронного парамагнитного резонанса. Соискателем было проведено моделирование всех полученных экспериментальных спектров ЭПР. Полученные результаты интерпретировались лично соискателем и обсуждались совместно с соавторами публикаций и научным руководителем. Диссертант

участвовал в подготовке публикаций по теме диссертации и представлял лично результаты своей работы на многочисленных российских и международных конференциях.

Диссертационный совет Д 003.051.01 на базе ИНХ СО РАН на заседании *21 декабря 2016 г., протокол №16*, пришел к выводу о том, что диссертация соответствует п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», т.е. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой проведено изучение структуры и электронного состояния парамагнитных центров в алмазе, связанных с вхождением фосфора, кислорода, водорода, кремния и германия, принято решение присудить *Комаровских Андрею Юрьевичу* ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 02.00.04 – физическая химия.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 25 (двадцать пять) человек, из них 12 (двенадцать) докторов наук по специальности 02.00.04 – физическая химия, участвовавших в заседании и голосовании, из 33 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение учёной степени – 24 (двадцать четыре), против присуждения учёной степени – 0 (нет), недействительных бюллетеней – 1 (один).

Председатель диссертационного совета
чл.-к. РАН



Федин Владимир Петрович

Ученый секретарь диссертационного совета
д.ф.-м.н.
21.12.2016 г.

Надолинный Владимир Акимович