ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ДС.ТПУ.03, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ», МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ **КАНДИДАТА НАУК**

Решение диссертационного совета от 25 февраля 2020 г. № 7

О присуждении Бордулеву Юрию Сергеевичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Водород-индуцированные дефекты в сплаве Zr1%Nb» по специальности 01.04.07-физика конденсированного состояния принята к защите 20 декабря 2019 г., протокол №4, диссертационным советом ДС.ТПУ.03, созданным на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (далее - ТПУ), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, утверждённым приказом ректора ТПУ № 15895 от 06.12.2018 г.

Соискатель **Бордулев Юрий Сергеевич,** 1990 года рождения, в 2013 году окончил магистратуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет». В 2017 году окончил аспирантуру ТПУ.

Работает ассистентом в отделении экспериментальной физики Инженерной школы ядерных технологий ТПУ, Министерство науки и высшего образования РФ.

Диссертация выполнена в отделении экспериментальной физики Инженерной школы ядерных технологий ТПУ, Министерство науки и высшего образования РФ.

Научный руководитель – **Лидер Андрей Маркович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой - руководитель отделения экспериментальной физики на правах кафедры Инженерной школы ядерных технологий ТПУ.

Дополнительно введённые члены диссертационного совета ДС.ТПУ.03:

Тюрин Юрий Иванович, доктор физико-математических наук, профессор, профессор отделения экспериментальной физики Инженерной школы ядерных технологий ТПУ.

Пичугин Владимир Фёдорович, доктор физико-математических наук, профессор, профессор научно-образовательного центра Б.П. Вейнберга Инженерной школы ядерных технологий ТПУ.

Официальные оппоненты:

Грабовецкая Галина Петровна, доктор физико-математических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук», ведущий научный сотрудник;

Степанов Сергей Всеволодович, доктор физико-математических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт теоретической и экспериментальной физики имени А.И. Алиханова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», заместитель начальника отдела атомно-масштабных исследований.

Выбор официальных оппонентов и дополнительно введенных членов диссертационного совета обосновывается их высокой квалификацией в области физики конденсированного состояния, своими достижениями и публикациями

по исследованиям в данной области, отсутствием совместных проектов и печатных работ.

Соискатель имеет 72 опубликованных работы, в том числе по теме диссертации - 13, из них в рецензируемых научных изданиях - 13 работ, в том числе 9 в журналах, входящих в базы данных Scopus и Web of Science. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах. Общий объём научных изданий – более 13 печатных листов, авторский вклад не менее 60%.

Наиболее значимые научные работы (из числа рецензируемых изданий) по теме диссертации:

1. **Бордулев Ю.С.**, Лаптев Р.С., Гаранин Г.В., Лидер А.М. Оптимизация параметров спектрометра для исследования времени жизни позитронов в материалах // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – Т. 8, № 2. – С. 184–189.

2. Абзаев Ю.А., Лидер А.М., Клименов В.А., Лаптев Р.С., **Бордулев Ю.С.**, Садритдинова Г.Д., Михайлов А.А., Захарова М.А. Уточнение структуры водород-вакансионных комплексов в титане методом Ритвельда // Физика твердого тела. – 2016. – Т. 58, № 10. – С. 1873–1878.

3. **Бордулев Ю.С.**, Лаптев Р.С., Кудияров В.Н., Лидер А.М. Исследование структуры титанового сплава ВТ1-0 при накоплении и термостимулированном выходе водорода методом спектрометрии по времени жизни позитронов // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2013. – Т. 56, № 11/3. – С. 167–172.

4. Лаптев Р.С., Лидер А.М., Кудияров В.Н., Гаранин Г.В., **Бордулев Ю.С.** Временное и импульсное распределение аннигиляции позитронов в титановом сплаве ВТ1-0 при различном содержании водорода // Известия высших учебных заведений. Физика. –2013. – Т. 56, № 11/3. – С. 138–143.

5. **Bordulev Y.S.**, Laptev R.S., Kudiiarov V.N., Lider A.M. Investigation of commercially pure titanium structure during accumulation and release of hydrogen by

means of positron lifetime and electrical resistivity measurements // Adv. Mater. Res. – 2014. – V. 880. – P. 93–100.

6. **Bordulev Y.S.**, Lee K., Laptev R.S., Kudiiarov V.N., Lider A.M. Positron spectroscopy of defects in hydrogen-saturated zirconium // Defect Diffus. Forum. – 2017. – V. 373. – P. 138–141.

7. Kashkarov E., Nikitenkov N., Sutygina A., Laptev R., **Bordulev Y.**, Obrosov A., Liedke O., Wagner A., Zak A., Weiβ S. Microstructure, defect structure and hydrogen trapping in zirconium alloy Zr-1Nb treated by plasma immersion Ti ion implantation and deposition // J. Alloys Compd. – 2018. – V. 732. – P. 80–87.

8. Kudiiarov V.N. **Bordulev Yu.S.**, Laptev R.S., Pushilina N.S., Kashkarov E.B., Syrtanov M.S. The investigation of hydrogenation influence on structure changes of zirconium with nickel layer // IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. – 2016. – V. 135. – P. 012022.

9. Laptev R.S., **Bordulev Y.S.**, Kudiiarov V.N., Lider A.M., Garanin G.V. Positron annihilation spectroscopy of defects in commercially pure titanium saturated with hydrogen // Adv. Mater. Res. – 2014. – V. 880. – P. 134–140.

10. Laptev R.S., Lider A.M., **Bordulev Y.S.**, Kudiiarov V.N., Garanin G.V., Wang W., Kuznetsov P.V. Investigation of defects in hydrogen-saturated titanium by means of positron annihilation techniques // Defect Diffus. Forum. – 2015. – V. 365. – P. 232–236.

11. Laptev R.S., Lider A.M., **Bordulev Y.S.**, Kudiiarov V.N., Gvosdyakov D.V. The evolution of defects in zirconium in the process of hydrogen sorption and desorption // Key Eng. Mater. – 2016. – V. 683. – P. 256–261.

12. Lider A.M., Husaeva O.V., **Bordulev Y.S.**, Laptev R.S., Kudiiarov V.N. Investigation of defects accumulation in the process of hydrogen sorption and desorption // Adv. Mater. Res. – 2015. – V. 1085. – P. 328–334.

13. Laptev R.S., Lider A.M., **Bordulev Y.S.**, Kudiyarov V.N., Garanin G.V. Hydrogenation-induced microstructure changes in titanium // J. Alloys Compd. – 2015. – V. 645. – P. S193–S195.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

- **Ельниковой Лилии Вячеславовны**, кандидата физико-математических наук, научного сотрудника федерального государственного бюджетного учреждения "Институт теоретической и экспериментальной физики имени А.И.Алиханова Национального исследовательского центра "Курчатовский институт", г. Москва;
- **Кузнецова Павла Викторовича,** кандидата физико-математических наук, доцента, старшего научного сотрудника лаборатории физической мезомеханики и неразрушающих методов контроля федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук», г. Томск;
- **Клопотова Анатолия Анатольевича**, доктора физико-математических наук, профессора, профессора кафедры «Прикладная механика и материаловедение» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный архитектурно-строительный университет», г. Томск;
- **Старостенкова Михаила Дмитриевича**, доктора физико-математических наук, профессора, заведующего кафедрой «Физика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», г. Барнаул;
- **Маркелова Владимира Андреевича**, доктора технических наук, старшего научного сотрудника акционерного общества “Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара”, г. Москва;
- **Liedke Maciej Oskar**, PhD, научного сотрудника Института радиационной физики, Отделение ядерной физики Исследовательского центра Дрезден-Розендорф, г. Дрезден, Германия.

Все отзывы - положительные, замечания являются рекомендательными и касаются вопросов моделирования исследуемых систем, влияния ниобия на

результаты исследования, отсутствия результатов механических испытаний и взаимодействия водорода с уже сформированной дефектной структурой, предложений по расширению экспериментального исследования систем Zr-H, замечаний по отсутствию объяснений влияния температуры на образование дефектов, наличию опечаток и некорректно использованных терминов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана новая экспериментальная методика подготовки образцов, позволившая выявить методами позитронной аннигиляции качественно новые закономерности формирования дефектной структуры систем металл-водород;

предложены оригинальные суждения о характере возникновения неравновесных водород-индуцированных вакансий и влиянии локализации водорода в междоузлиях решетки сплава Zr1%Nb на изменение параметров решётки на различных уровнях концентрации водорода, а также объяснения экспериментальной зависимости вклада источника позитронов на основе изотопа 44Ti в спектр времени жизни позитронов от атомного номера исследуемого материала;

доказана перспективность использования метода аннигиляции позитронов для исследования эволюции дефектной и кристаллической структуры сплава Zr1%Nb при насыщении водородом;

новые понятия и термины не вводились.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны положения о том, что водород, растворяясь в циркониевом сплаве создаёт водород-вакансионные комплексы с одним и двумя атомами водорода, локализованными преимущественно в тетраэдрическом междоузлии в окрестности вакансии; а также дефекты типа «дислокация-водород»;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов)

использован комплекс существующих базовых методов исследования, в том числе методов моделирования (расчёты из первых принципов),

экспериментальных методик (позитронная спектроскопия, рентгеноструктурный анализ, просвечивающая электронная микроскопия) для исследования водород-индуцированных дефектов;

изложены стадии эволюции дефектной и кристаллической структуры сплава Zr1%Nb после технологического отжига и насыщения до различных концентраций водорода из газовой фазы;

раскрыты особенности захвата водорода структурными дефектами, а также влияния его локализации в бездефектной решётке и в окрестности дефектов на характеристики позитронной аннигиляции;

изучены причинно-следственные связи формирования гидридной фазы циркония и роста концентрации дислокаций;

проведена модернизация математической модели поведения позитронов в кристаллической решётке циркония, обеспечивающая получение новых результатов по зависимости времени жизни позитронов в системах Zr-H и Zr-v-H.

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

разработана и внедрена методика определения вклада источника позитронов на основе изотопа 44Ti в спектр времени жизни позитронов в зависимости от атомного номера исследуемого материала;

определены пределы и перспективы практического использования результатов (полученных значений характеристик позитронной аннигиляции в дефектных структурах циркония) на практике;

создана система практических рекомендаций по использованию характеристик позитронной аннигиляций в простейших типах структурных дефектов (вакансии, дислокации, атомы внедрения, комплексы типа «дефект-водород») для исследования эволюции дефектной структуры в системах металл-водород;

представлены методические рекомендации по подготовке образцов для исследования водород-индуцированных дефектов методами позитронной аннигиляции.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ данные получены с использованием комплекса современного сертифицированного оборудования, показана воспроизводимость результатов исследования в различных условиях, а также их взаимная непротиворечивость;

теория построена на известных представлениях и классических моделях физики конденсированного состояния, согласуется с экспериментальными данными, опубликованными в отечественной и зарубежной литературе;

идея базируется на анализе практики и обобщении передового опыта по исследованию свойств различных систем металл-водород;

использованы сравнения авторских данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике;

установлено качественное и количественное совпадение полученных результатов с результатами, представленными в независимых источниках литературы;

использованы современные методики сбора и обработки исходной информации.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в подготовке исследуемого материала, настройке оборудования, проведении экспериментов, обработке и интерпретации полученных экспериментальных данных, их анализе на основе теоретических моделей аннигиляции позитронов в твердых телах, а также существующих представлений физики конденсированного состояния.

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится полноценное исследование дефектов водородного происхождения в сплаве Zr1%Nb, что имеет существенное значение для ядерных материалов на основе циркония и применении методов аннигиляции позитронов при исследовании систем металл-водород и соответствует требованиям п. 8 Порядка присуждения учёных степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете.

На заседании 25 февраля 2020 года диссертационный совет принял решение присудить Бордулеву Юрию Сергеевичу учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 6 человек, из них 6 докторов наук по защищаемой специальности, участвовавших в заседании, из 3 человек, входящих в состав совета и 4 человек дополнительно введённых в состав совета, проголосовали: за - 6, против - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель
диссертационного совета Кривобоков Валерий Павлович
ДС.ТПУ.03.

Учёный секретарь
диссертационного совета Гынгазов Сергей Анатольевич
ДС.ТПУ.03.

25 февраля 2020 г.