

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 КАНДИДАТА НАУК
аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 24.02.2022 № _____

О присуждении Могуну Ярославу Александровичу
гражданину Российской Федерации,
ученой степени кандидата физико-математических наук

Диссертация «Пикосекундные импульсы деформации в наноструктурах диоксида ванадия со сверхбыстрым фазовым переходом» по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния» принята к защите 23 декабря 2021 г., протокол №13, 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 Могун Ярослав Александрович, 1992 г.р., в 2015 году окончил магистратуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» по специальности «Прикладные физика и математика». В 2019 году окончил аспирантуру Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе по направлению 03.06.01 - «Физика и астрономия». Экзамены по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния» успешно сданы соискателем в Физико-техническом институте им. А. Ф. Иоффе. В настоящее время работает в должности исполняющего обязанности младшего научного сотрудника в лаборатории физики ферроиков Федерального бюджетного

учреждения науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук.

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

Научный руководитель – Калашникова Александра Михайловна, PhD (признаваемая в Российской Федерации как кандидат физико-математических наук), исполняющий обязанности ведущего научного сотрудника - заведующий лабораторией физики ферроиков Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук.

Научный консультант – Акимов Андрей Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор Школы физики и астрономии Университета Ноттингема (Nottingham University), Великобритания.

Официальные оппоненты:

1. Гиппиус Николай Алексеевич, доктор физико-математических наук, профессор Центра фотоники и квантовых материалов, Сколковский институт науки и технологий, Москва, дал положительный отзыв на диссертацию, содержащий 3 замечания.

2. Кирилук Андрей Иванович, PhD (приравниваемая в РФ к степени кандидата физико-математических наук), профессор, руководитель направления физики конденсированного состояния, Лаборатория FELIX, Университет им. св. Радбода Утрехтского (Radboud University), Нидерланды, Заведующий лабораторией "Спинфотоника", Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова, Москва, Россия, дал положительный отзыв на диссертацию, содержащий 3 замечания.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА — Российский технологический университет» предоставила положительное заключение на диссертацию, содержащее 4 замечания. Заключение подготовлено доктором физико-математических наук по специальности 05.27.01, профессором, профессором кафедры нанoeлектроники, заведующим специализированной

учебно-научной лабораторией фемтосекундной оптики для нанотехнологий, Мишиной Еленой Дмитриевной и подписано Мишиной Е. Д. и доктором физико-математических наук по специальности 01.04.07, профессором, академиком РАН, заведующим кафедрой наноэлектроники Сиговым Александром Сергеевичем. В заключении указано, что содержание диссертации Могунова Я. А. соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния», а соискатель Могунова Я. А. заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что один из них имеет ученую степень доктора наук, а второй - степень PhD, приравняваемую к степени кандидата наук, они 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 МИРЭА — Российский технологический университет ведет активные исследования в различных областях физики конденсированного состояния, в частности в области сверхбыстрых лазерно-индуцированных процессов в ферроиках, стрейнтроники, сегнетоэлектричества. Научная группа, возглавляемая д.ф.-м.н. Мишиной Е. Д. ведет активные исследования в областях лазерно-индуцированных процессов магнитных, сегнетоэлектрических и мультиферройных материалах, в полупроводниках. В МИРЭА работают ведущие специалисты в России по физике, технологии и применениям наноструктур, в которых важную роль играют механические напряжения. В МИРЭА работают диссертационные советы по специальностям радиофизика, твердотельная электроника.

Основное содержание диссертации представлено в 3 научных статьях, опубликованных в журналах, индексируемых в международной системе цитирования Web of Science, а также в 1 конференционной статье в периодическом издании, индексируемом в международной системе цитирования Web of Science:

1. Photoelasticity of VO₂ nanolayers in insulating and metallic phases studied by picosecond ultrasonic / Ia. A. Mogunov, S. Lysenko, F. Fernández, A. Rúa, A. V. Muratov, A. J. Kent, A. M. Kalashnikova and A. V. Akimov // Phys. Rev. Materials. — 2020. — Dec. — Vol. 4, issue 12. — P. 125201. — DOI: 10.1103/PhysRevMaterials.4.125201.
2. Large nonthermal contribution to picosecond strain pulse generation using the photoinduced phase transition in VO₂ / Ia. A. Mogunov, S. Lysenko, A. E. Fedianin, F. E. Fernández, A. Rúa, A. J. Kent, A. V. Akimov and A. M. Kalashnikova // Nature Communications. — 2020. — Apr. — Vol. 11. — P. 1690. — DOI: 10.1038/s4146702015372z.
3. Ultrafast Insulator Metal Transition in VO₂ Nanostructures Assisted by Picosecond Strain Pulses / Ia. A. Mogunov, F. Fernández, S. Lysenko, A. J. Kent, A. V. Scherbakov, A. M. Kalashnikova and A. V. Akimov // Phys. Rev. Applied. — 2019. — Jan. — Vol. 11, issue 1. — P. 014054. — DOI: 10.1103/PhysRevApplied.11.014054.
4. A role of a picosecond strain in an ultrafast optically driven phase transition in VO₂ nanostructures / Ia. A. Mogunov, S. Lysenko, A. E. Fedianin, A. J. Kent, A. V. Akimov and A. M. Kalashnikova // Journal of Physics: Conference Series. — 2020. — Mar. — Vol. 1461. — P. 012108. — DOI: 10.1088/17426596/1461/1/012108

На автореферат поступило 6 отзывов.

1. Отзыв к.ф.-м.н. Линник Татьяны Леонидовны, старшего научного сотрудника Отдел теоретической физики Института Физики Полупроводников им. В. Е. Лашкарёва НАНУ (Украина), положительный, замечаний не содержит.
2. Отзыв к.ф.-м.н. Перцева Николая Андреевича, заведующего лабораторией динамики материалов Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе РАН положительный, замечаний не содержит.
3. Отзыв проф. РАН, д.ф.-м.н. Пятакова Александра Павловича, профессора Физического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова, положительный, замечаний не содержит.
4. Отзыв к.ф.-м.н. Садовникова Александра Владимировича, доцента кафедры физики открытых систем СГУ имени Н.Г. Чернышевского положительный, замечаний не содержит.

5. Отзыв проф., к.ф.-м.н. Турчиновича Дмитрия Борисовича, профессора Билефельдского Университета (Германия), положительный, замечаний не содержит.
6. Отзыв проф., д.ф.-м.н. Яковлева Дмитрия Робертовича, профессора Факультета физики Технического Университета Дортмунда (Германия) положительный, замечаний не содержит.

Диссертационный совет отмечает, что в рамках выполненных соискателем работ по экспериментальному изучению пикосекундных акустических явлений в наноструктурах VO_2 , демонстрирующих фазовые переходы металл-диэлектрик и структурный, индуцированные фемтосекундными лазерными импульсами, были получены следующие основные результаты:

1. Была впервые осуществлена генерация пикосекундных импульсов деформации при сверхбыстром лазерно-индуцированном фазовом переходе в оптоакустическом преобразователе на основе VO_2 . Проведённый анализ показал, что сверхбыстрый фазовый переход ответственен за нетермическую генерацию деформации амплитудой $+4.5 \cdot 10^{-3}$ в первые 10 пикосекунд с момента фотовозбуждения. Величина этого вклада сравнима с другими, ранее известными вкладами в генерацию деформаций при лазерном возбуждении. Знак и величина вклада в генерируемую деформацию от фазового перехода свидетельствуют о сложной динамике решетки в первые пикосекунды после возбуждения VO_2 лазерным импульсом.
2. Впервые продемонстрировано влияние импульсов деформации на сверхбыстрый фазовый переход в nanoостровках VO_2 . Экспериментально показано, что изменение доли nanoостровков, трансформируемых в металлическую фазу, определяется мгновенным значением средней деформации в момент возбуждения сверхбыстрого фазового перехода. Таким образом, была экспериментально продемонстрирована концепция «сверхбыстрой деформационной инженерии», позволяющая управлять знаком и величиной дополнительной доли nanoостровков, трансформируемых при сверхбыстром фазовом переходе, за счёт изменения задержки импульса деформации относительно оптического импульса, возбуждающего фазовый переход.
3. Методом пикосекундной акустики впервые определены эффективные фотоупругие параметры наноразмерных пленок VO_2 и показано

существенное изменение этого параметра при фазовом переходе, как равновесном, так и сверхбыстром лазерно-индуцированном.

Все научные результаты являются новыми и имеют фундаментальную значимость для более глубокого понимания динамики решетки при сверхбыстрых лазерно-индуцированных переходах. Полученные результаты по генерации импульсов деформации при сверхбыстром фазовом переходе металл-диэлектрик и по влиянию пикосекундных импульсов деформации на сверхбыстрый фазовый переход могут быть применены в широком классе материалов, демонстрирующих такие фазовые переходы. Кроме того, полученные экспериментальные данные по изменению фотоупругих параметров VO_2 являются существенным дополнением к данным по этому практически важному материалу, так как фотоупругие свойства VO_2 остаются неизученными даже в случае объемного материала. Практическую значимость представляет результат по реализации нового оптоакустического преобразователя для пикосекундной акустики, основанного на относительно простой наноструктуре $\text{VO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ и превосходящий по эффективности большинство используемых преобразователей на основе металлических пленок.

Полученные результаты позволили соискателю сформулировать и защитить следующие положения:

1. Значение эффективной фотоупругой постоянной наноразмерных слоёв диоксида ванадия изменяется при фазовом переходе диэлектрик-металл. Нанослой VO_2 с различной морфологией поверхности демонстрируют различные фотоупругие свойства. В диэлектрической фазе для сплошной гранулированной плёнки VO_2 на $(001)\text{Al}_2\text{O}_3$ эффективная фотоупругая постоянная равняется двум с пренебрежимо малой мнимой частью, в металлической фазе её значение имеет существенную мнимую часть и находится в согласии с типичными значениями данной величины для других металлов.
2. Оптоакустический преобразователь, представляющий собой плёнку диоксида ванадия толщиной 100 нм на подложке $(112)\text{Al}_2\text{O}_3$, находящуюся либо в диэлектрической, либо в металлической фазе, позволяет осуществлять фотогенерацию пикосекундных импульсов деформации с высокой начальной амплитудой $7-8 \cdot 10^{-3}$ при падающей плотности потока

энергии лазерных импульсов 12 мДж/см^2 . Данная величина на порядок превышает амплитуду импульсов деформации, генерируемых в типичных металлических оптоакустических преобразователях при таком же уровне лазерного возбуждения.

3. Сверхбыстрая трансформация кристаллической решётки при лазерно-индуцированном фазовом переходе в плёнке диоксида ванадия толщиной 100 нм на подложке $(112)\text{Al}_2\text{O}_3$ приводит к вкладу в оптически генерируемую деформацию растяжения, численно равному $4.5 \cdot 10^{-3}$. Благодаря наличию данного вклада, фотоиндуцированная генерация динамической деформации амплитудой $\sim 8 \cdot 10^{-3}$ осуществляется с сопутствующим нагревом VO_2 всего на 28 К, что в три раза меньше по сравнению с нагревом, сопутствующим генерации деформации той же амплитуды в плёнке VO_2 , изначально находящейся в металлической фазе.
4. Воздействие пикосекундных импульсов деформации приводит к изменению доли наностроек диоксида ванадия, эпитаксиально выращенных на подложке $(001)\text{Al}_2\text{O}_3$, трансформируемых в неравновесное металлическое состояние фемтосекундным лазерным импульсом. Величина и знак данного изменения определяются мгновенным значением деформации, присутствовавшим в наностройках VO_2 в момент лазерного возбуждения.

Достоверность представленных в диссертации результатов и обоснованность положений подтверждена применением современного экспериментального метода фемтосекундной оптической накачки-зондирования, а также вспомогательных методик характеризации наноструктур, воспроизводимостью и согласованностью полученных результатов, а также системностью проводимых исследований. Полученные результаты прошли апробацию на 15 международных и российских конференциях, опубликованы в 3 статьях в рецензируемых журналах по физике конденсированного состояния и в 1 конференционной статье.

Все представленные в диссертации результаты получены непосредственно автором или при его активном участии, что подробно указано в тексте автореферата.

Диссертация Могунова Я. А. является законченным научным исследованием, вносящим существенный вклад в развитие таких актуальных направлений

современной физики конденсированного состояния, как сверхбыстрые лазерно-индуцированные процессы в сильно-коррелированных материалах и пикосекундная акустика.

На заседании 24 февраля 2022 года диссертационный совет принял решение присудить Могунову Я. А. ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – «физика конденсированного состояния».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 13 докторов по специальности 1.3.8 - «Физика конденсированного состояния», участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета (при 1 члене совета, временно выведенном из состава), проголосовали за – 12, против – 0, недействительных бюллетеней – 1.

Заместитель Председателя
диссертационного совета
доктор физ.-мат. наук

Соколов Игорь Александрович

Временно исполняющий обязанности
Ученого секретаря
диссертационного совета
доктор физ.-мат. наук

Павлов Виктор Владимирович

24 февраля 2022 г.