

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.074.04 НА БАЗЕ  
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования «Иркутский государственный университет»  
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации  
по диссертации на соискание учёной степени  
кандидата физико-математических наук

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета  
от «20» апреля 2021 г. № 4

О присуждении Софичу Дмитрию Олеговичу, гражданину РФ, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Спектроскопия редкоземельных ионов в двойных молибдатах» по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния принята к защите 18 февраля 2021 г., протокол №2, диссертационным советом Д 212.074.04 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (664003, г. Иркутск, бульвар Гагарина, д. 20, приказ Рособнадзора о создании диссертационного совета № 1634–894 от 13.07.2007 г.).

Соискатель, Софич Дмитрий Олегович, 1993 года рождения. В 2015 году окончил с отличием специалитет Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» по специальности «Наноматериалы». В 2019 году окончил обучение в очной аспирантуре Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт геохимии им. А.П. Виноградова» Сибирского отделения Российской академии наук по специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния. Сдал кандидатские экзамены по этой специальности. Работает на должности младшего научного сотрудника лаборатории физики монокристаллов в

Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт геохимии им. А.П. Виноградова» Сибирского отделения Российской академии наук.

Диссертация выполнена в лаборатории физики монокристаллов Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт геохимии им. А.П. Виноградова» Сибирского отделения Российской академии наук.

**Научный руководитель** - кандидат физико-математических наук, Шендрик Роман Юрьевич, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт геохимии им. А.П. Виноградова» Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория физики монокристаллов, старший научный сотрудник.

**Официальные оппоненты:**

Полисадова Елена Федоровна, доктор физико-математических наук, Инженерная школа новых производственных технологий, отделение материаловедения, подразделение Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ФГАОУ ВО НИ ТПУ), профессор;

Кузнецов Андрей Викторович, кандидат физико-математических наук, Иркутский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук (ИФ ИЛФ СО РАН), старший научный сотрудник

дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»), г. Екатеринбург, - в своём положительном заключении, подписанным Ивановым Владимиром Юрьевичем, заведующим кафедрой экспериментальной физики, кандидатом

физико-математических наук, доцентом, и утверждённым Германенко Александром Викторовичем, доктором физико-математических наук, проректором по науке ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», указала, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям пунктов 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г., а её автор, Софич Дмитрий Олегович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния.

Соискатель имеет 10 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 5 работ общим объёмом 2,89 печ. л.: из них 5 статей в журналах, включённых ВАК РФ в «Перечень ведущих рецензируемых журналов», и 5 в тезисах докладов всероссийских и международных конференций и других изданиях. В работах представлены результаты исследований спектральных свойств двойных молибдатов, содержащих ионы редкоземельных элементов. В диссертации не обнаружены недостоверные сведения об опубликованных соискателем учёной степени работах, авторском вкладе и объеме научных изданий.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Софич Д.О., Доржиева С.Г., Чимитова О.Д., Базаров Б.Г., Тушинова Ю.Л., Базарова Ж.Г., Шендрик Р.Ю. Гиперчувствительный переход  $^5D_0-^7F_2$  трехвалентного европия в двойных молибдатах // Известия РАН. Серия Физическая. —2019.—Т.83, №3.—С. 384–387.
2. Sofich D., Tushinova Y.L., Shendrik R., Bazarov B.G., Dorzhieva S.G., Chimitova O.D., Bazarova, J.G. Optical spectroscopy of molybdates with composition  $Ln_2Zr_3(MoO_4)_9$  (Ln: Eu, Tb) // Optical Materials. - 2018. - 81, 71-77.
3. Софич Д., Доржиева С.Г., Чимитова О.Д. и др. Люминесценция ионов  $Pr^{3+}$  и  $Nd^{3+}$  в двойных молибдатах // Физика твердого тела.—2019.—Т.61, №5.

4. Базаров Б.Г., Шендрик Р.Ю., Тушинова Ю., Софич Д.О., Базарова Ж.Г. Спектрально-люминесцентные свойства тербийсодержащих циркономолибдатов // Конденсированные среды и межфазные границы. — 2020. — 22(2), 27-33.

5. Доржиева С.Г., Софич Д.О., Базаров Б.Г., Шендрик Р.Ю., Базарова Ж.Г. Оптические свойства молибдатов с комбинацией редкоземельных элементов // Неорганические материалы. — 2021. — Т. 57, № 1. — С. 1—6.

**На диссертацию и автореферат поступили отзывы:**

Официальный оппонент *Полисадова Елена Федоровна*, доктор физико-математических наук, Инженерная школа новых производственных технологий, отделение материаловедения, подразделение Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ФГАОУ ВО НИ ТПУ), профессор. Замечания: 1) Обзор литературы охватывает в основном прикладные аспекты использования молибдатов, рассматриваются физические основы переноса энергии возбуждения в материалах с РЗИ. Мало внимания уделяется описанию научной проблемы, на которой основано исследование. 2) Системный подход к исследованию каждого из выбранных образцов не прослеживается. Для одного образца приведены спектры при 7,7 К, для ряда образцов при 77 К, для некоторых образцов обсуждаются спектры, измеренные при 77 и 298 К. Для образца  $\text{Pr}_2\text{Zr}_3(\text{MoO}_4)_9$  приведена и проанализирована температурная зависимость, однако подобных экспериментов не выполнено для других типов молибдатов, что было бы весьма ценным для диссертационного исследования. 3) В работе не прозвучало обоснования выбора именно такой оксидной системы  $\text{Ln}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2\text{-MoO}_3$  для синтеза и дальнейшего исследования спектроскопических свойств. 4) Не уделено должного внимания анализу результатов по временам затухания, измеренным при 77 и 298 К для ионов тербия и европия. Результаты показывают, что чувствительность  $\tau$  к изменению температуры в различных полосах значительно изменяется,

однако автор не обсуждает данный факт. 5) На рисунках, содержащих спектры возбуждения не указано, для какой (каких) полос люминесценции приведен спектр. 6) В п.3.6. говорится, что для расчета параметров Джадда-Офельта использовался спектр, измеренный при  $T=7,7$  К, однако в работе этот спектр не приведен. Также не ясно, как оценивалась интегральная интенсивность полос и всего спектра. 7) При оценке параметров Джадда-Офельта использовано довольно грубое приближение в оценке показателя преломления. Не совсем корректно называть схожими показатели преломления 1,8 и 2. Было бы более корректно воспользоваться дисперсионными формулами для оценки показателя преломления в определённом спектральном диапазоне. 8) Автору не удалось избежать использования жаргонизмов в тексте диссертации: «подгоночная кривая», «излучает узкую полосу».

Официальный оппонент *Кузнецов Андрей Викторович*, кандидат физико-математических наук, Иркутский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук (ИФ ИЛФ СО РАН), старший научный сотрудник.

Замечания: 1) В работе исследуется  $\text{La}_2\text{Zr}_3(\text{MoO}_4)_9$ . Однако в разделе 2.1, где перечислены объекты исследования и описан их способ получения, данное вещество не указано среди прочих. По всей видимости, оно упущено по ошибке. 2) В первом пункте раздела о научной новизне записано, что впервые получены спектры свечения, поглощения и возбуждения двойных молибдатов нескольких составов, включая вышеупомянутый. Однако, в разделе 3.1 автор пишет о сравнении полученных им спектров с известными из литературы спектрами для этого же вещества. Таким образом, есть определенное противоречие в тексте. При этом спектры в диссертации отличаются от спектров в литературе (по неизвестным причинам), поэтому новизна в полученном результате фактически имеется. Критика здесь относится только к формулировке новизны. 3) Автор не вполне ясно

показывает последовательность рассуждений, через которую он идет от полученных им и известным из литературы фактов к защищаемым положениям. В частности, в тексте глав 3-5, где содержится исследовательская часть работы, нет явных отсылок к соответствующим утверждениям в защищаемых положениях, что затрудняет анализ работы. Данное замечание относится к стилю изложения. Фактически необходимые исходные данные, в том числе ссылки на литературу, в работе приводятся. 4) Не везде ясна логика исследования, выбор некоторых действий кажется непоследовательным. Например, в разделе 3.2 исследованы спектроскопические свойства  $\text{Pr}_2\text{Zr}_3(\text{MoO}_4)_9$  при комнатной и азотной температурах. При этом спектры свечения получены при обеих температурах, спектр поглощения – только при комнатной, а спектр возбуждения – только при азотной. Не приводится какой-либо аргументации, почему не зарегистрирован спектр поглощения при азотной температуре и возбуждения при комнатной. Аналогичным образом, в разделе 3.1 показаны спектры возбуждения и свечения  $\text{La}_2\text{Zr}_3(\text{MoO}_4)_9$  при температуре 7.7К, однако спектр поглощения не регистрируется и не упоминается, тогда как для других составов он регистрировался. 5) Чувствуется нехватка выводов в части исследования, относящейся к возможным применениям исследуемых материалов для создания источников света. В работе вычислены цветовые координаты люминесценции молибдатов пяти составов на диаграмме цветности. Однако нет интерпретации данного результата, из которой была бы понятна перспективность применения данных материалов. Например, появляются следующие вопросы. Какой из пяти составов наилучшим образом подходит для того или иного применения (в цветных дисплеях или источниках белого света)? Как соотносится расположение найденных цветовых координат с координатами известных, широкоиспользуемых источников? Можно ли, комбинируя в некоторой пропорции исследованные составы с различным содержанием примесей, получить источник белого света с высоким индексом цветопередачи CRI, то есть с формой спектра, близкой к дневному свету?

Ведущая организация – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»), г. Екатеринбург.

Замечания: 1) Литературный обзор в работе следовало бы больше ориентировать на спектроскопические свойства молибдатов с РЗИ нежели на спектроскопические свойства самих РЗИ как таковых. 2) Объектом исследования в работе являются новые материалы, которые синтезированы не так давно. Следовало бы добавить в диссертацию больше информации о физических параметрах и свойствах этих материалов, которые известны на сегодняшний день, например, ширина запрещенной зоны, показатель преломления, плотность, гигроскопичность и.т.д. 3) В работе исследуются процессы тушения люминесценции ионов РЗИ в двойных молибдатах, однако никаких выводов о механизмах тушения не сделано. 4) В работе проводятся расчеты параметров Джадда-Офельта для ионов  $\text{Eu}^{3+}$  в двойных молибдатах, однако никаких оценок результатов этих расчетов не приводится. Следовало бы с теоретической и экспериментальных точек зрения оценить полученные значения и сравнить их с таковым для других материалов. 5) Защищаемое положение 4 требует уточнения о конкретном виде второго центра люминесценции. В каком кристаллическом окружении может находиться центр люминесценции  $\text{Eu}^{3+}$  второго вида?

Отзывы на автореферат:

1. *Дунаева Елизавета Эдуардовна*, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории Нелинейно-оптических материалов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН». Замечаний нет.

2. *Малаховский Александр Валентинович*, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник Институт физики им. Л.В. Киренского, Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр

Сибирского отделения Российской академии наук». Замечания: 1) Рис. 3 и 5: не указано при каком возбуждении получен спектр люминесценции, и при какой люминесценции получен спектр возбуждения. 2) Рисунок 9 не указан кристалл. 3) Таблица 3. В таблице фактически показаны разные параметры Джадда-Офельта:  $\Omega_2$  и  $\Omega_4$ , относящиеся ко всем переходам, но конкретно указанные переходы зависят только от одного из них – каждый от своего, а из таблицы это не понятно. Каково происхождение разных значений  $n$ ?

3. *Тимур Сезгирович Шамирзаев*, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения РАН. Замечания: в качестве замечания хочу отметить, что и название диссертации, и цель работы сформулированы слишком «общими» фразами, которые создают впечатления о заметно большем объеме исследований, чем реально имеют место в рецензируемой работе.

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации** обосновывается широкой известностью их достижений в области физики конденсированного состояния, наличием публикаций по данному направлению, а также способностью определить научную и практическую значимость диссертационной работы. Официальный оппонент доктор физико-математических наук, Полисадова Е.Ф. – известный учёный в области исследования люминесцентных свойств стекол и кристаллов, активированных редкоземельными ионами, имеет более 60 научных работ, в том числе в высокорейтинговых российских и зарубежных журналах. Официальный оппонент кандидат физико-математических наук, доцент, Кузнецов А.В. – высококвалифицированный специалист в области лазерной физики и дефектообразования в кристаллах фторидов имеет более 50 научных публикаций, большинство из них в авторитетных российских и зарубежных изданиях. Ведущая организация – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» – научное

учреждение, известное в области создания и исследования спектроскопических свойств кристаллов, активированных редкоземельными ионами, а доктор технических наук Германенко А.В. и кандидат технических наук Иванов В.Ю. – высококвалифицированные учёные в области физики конденсированного состояния.

**Диссертационный совет** отмечает, что диссертация выполнена на актуальную тему, связанную с поиском и исследованием люминофоров нового состава. На основании выполненных соискателем исследований: экспериментально **установлено**, что в изученных двойных молибдатах, наблюдается 4f-4f люминесценция редкоземельных ионов при межзонном возбуждении комплекса молибден-кислород в области ближнего ультрафиолета; **показано**, что сильная температурная зависимость интенсивности свечения в  $\text{Pr}_2\text{Zr}_3(\text{MoO}_4)_9$  обусловлена процессом кросс-релаксации между ионами  $\text{Pr}^{3+}$ .

**Теоретическая значимость исследования** обусловлена расчетом параметров Джадда-Офельта по спектру люминесценции  $\text{Eu}_2\text{Zr}_3(\text{MoO}_4)_9$ ; вычислены коэффициенты ветвления люминесценции, вероятности излучательных переходов и квантовый выход; **применительно к проблематике диссертации результативно использованы** методы люминесцентной спектроскопии при возбуждении монохроматичным светом ВУФ, УФ и видимого диапазонов, а также, методы измерения температурных и временных зависимостей свечения; **изложены** аргументы, касающиеся причин тушения люминесценции ионов  $\text{Tb}^{3+}$  в европий-тербиевых молибдатах; люминесцентными методами по расщеплению гиперчувствительного перехода  ${}^5\text{D}_0$ - ${}^7\text{F}_2$  **обнаружен** второй тип центров свечения в  $\text{Eu}_2\text{Zr}_3(\text{MoO}_4)_9$ ; **предложены** возможные конфигурации кристаллического окружения ионов  $\text{Eu}^{3+}$  у второго типа центров.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики** подтверждается тем, что: **определены** перспективы практического использования исследованных образцов двойных молибдатов в качестве

люминесцентных материалов; **представлены** рекомендации по увеличению квантового выхода изученных люминофоров.

**Оценка достоверности результатов исследования** выявила: **для экспериментальных работ** результаты обладают воспроизводимостью и получены с использованием апробированных методов анализа и современного сертифицированного оборудования; **выводы базируются** на обобщении результатов исследований молибдатов содержащих редкоземельные ионы; **проведено** сравнение экспериментальных данных с данными других авторов по рассматриваемой тематике; **использованы** современные методики сбора, обработки и визуализации данных.

**Личный вклад соискателя** состоит в его непосредственном участии в выполнении анализа литературных данных, в исследовании спектральных свойств двойных молибдатов, содержащих редкоземельные ионы, в обработке, систематизации и интерпретации большинства полученных экспериментальных данных, в подготовке публикаций по выполненной работе, а также в представлении результатов исследований на различных международных и всероссийских научных мероприятиях.

Диссертационный совет пришёл к выводу, что диссертация Софича Д.О. является законченным научным исследованием, выполненным по актуальной тематике, результаты которого имеют высокую научную и практическую значимость. Работа соответствует специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния и пункту 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г. с последующими дополнениями, а также отвечает требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

На заседании 20 апреля 2021 г. диссертационный совет принял решение присудить Софичу Дмитрию Олеговичу учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 9 докторов по специальности 01.04.07 – физика

конденсированного состояния, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в совет, проголосовали: за – 16, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Зам. председателя

диссертационного совета Д 212.074.04,  
доктор физико-математических наук,  
профессор

Афанасьев Николай Тихонович

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 212.074.04,  
доктор физико-математических наук,  
профессор



Аграфонов Юрий Васильевич

20 апреля 2021 г.