

Заключение диссертационного совета МГУ.014.8  
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

Решение диссертационного совета от «29» ноября 2024 г. № 167.

О присуждении Ломакину Макарию Сергеевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата химических наук.

Диссертация «Формирование, строение, свойства соединений со структурой пирохлора в системе  $\text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{WO}_3$  и функциональные материалы на их основе» по специальности 1.4.15 – Химия твердого тела принята к защите диссертационным советом 27.09.2024, протокол № 159.

Соискатель Ломакин Макарий Сергеевич 1997 года рождения, в 2024 году соискатель окончил аспирантуру в Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете «ЛЭТИ» (сроки обучения 2020 – 2024 гг.).

Соискатель работает в должности младшего научного сотрудника лаборатории Новых неорганических материалов ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН (основное); в должности младшего научного сотрудника лаборатории Низкотемпературной химии тугоплавких оксидов филиала НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ – ИХС (совместитель); в должности ассистента кафедры Физической химии СПбГТИ (ТУ) (совместитель).

Диссертация выполнена в лаборатории Новых неорганических материалов ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН; на кафедре Физической химии СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Научный руководитель – кандидат химических наук, доцент Проскурина Ольга Венедиктовна, заведующая кафедрой Физико-химического конструирования функциональных материалов, СПбГТИ (ТУ).

Официальные оппоненты:

Егорышева Анна Владимировна, доктор химических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук, лаборатория Синтеза функциональных материалов и переработки минерального сырья, главный научный сотрудник;

Казин Павел Евгеньевич, доктор химических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский

государственный университет имени М.В. Ломоносова», Химический факультет, кафедра неорганической химии, профессор;

Пийр Ирина Вадимовна, доктор химических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» (ФИЦ Коми НЦ УрО РАН), Институт химии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН – обособленное подразделение ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, лаборатория Керамического материаловедения, главный научный сотрудник

дали положительные отзывы на диссертацию.

Выбор официальных оппонентов обосновывался компетентностью в соответствующей отрасли науки и наличием публикаций в соответствующей сфере исследования.

Соискатель имеет 25 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 23 работы, из них 7 статей и 2 патента РФ. Все 7 статей опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности и отрасли наук.

#### Статьи:

1. **Lomakin M.S.**, Proskurina O.V., Danilovich D.P., Panchuk V.V., Semenov V.G., Gusarov V.V. Hydrothermal Synthesis, Phase Formation and Crystal Chemistry of the pyrochlore/ $\text{Bi}_2\text{WO}_6$  and pyrochlore/ $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  Composites in the  $\text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{WO}_3$  System // Journal of Solid State Chemistry – 2020. – Vol. 282. – P. 121064. (JIF – 2.726 (WoS), Q2 по WoS; 1.38 п.л.; доля участия – 60%)

2. **Lomakin M.S.**, Proskurina O.V., Gusarov V.V. Influence of Hydrothermal Synthesis Conditions on the Composition of the Pyrochlore Phase in the  $\text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{WO}_3$  system // Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics – 2020. – Vol. 11. – № 2. – P. 246–251. (Импакт-фактор РИНЦ – 0.884; 0.38 п.л.; доля участия – 70%)

3. **Lomakin M.S.**, Proskurina O.V., Sergeev A.A., Buryanenko I.V., Semenov V.G., Voznesenskiy S.S., Gusarov V.V. Crystal Structure and Optical Properties of the Bi-Fe-W-O Pyrochlore Phase Synthesized via a Hydrothermal Method // Journal of Alloys and Compounds – 2021. – Vol. 889. – P. 161598. (JIF – 6.371 (WoS), Q1 по WoS; 1.63 п.л.; доля участия – 60%)

4. **Ломакин М.С.**, Проскурина О.В., Левин А.А., Сергеев А.А., Леонов А.А., Неведомский В.Н., Вознесенский С.С. Формирование в условиях гидротермально-

микроволнового синтеза и оптические свойства фазы пирохлора в системе  $\text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{WO}_3 - (\text{H}_2\text{O})$  // Журнал неорганической химии – 2022. – Том 67. – № 6. – С. 750–760. (JIF – 2.100 (WoS), Q3 по WoS; 0.69 п.л.; доля участия – 60%)

5. **Lomakin M.S.**, Proskurina O.V., Gusarov V.V. Pyrochlore Phase in the  $\text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{WO}_3 - (\text{H}_2\text{O})$  System: its Formation by Hydrothermal Synthesis in the Low-Temperature Region of the Phase Diagram // Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics – 2023. – Vol. 14. – № 2. – P. 242–253. (JIF – 0.800 (WoS), Q3 по WoS; 0.75 п.л.; доля участия – 70%)

6. **Lomakin M.S.**, Proskurina O.V., Abiev R.Sh., Nevedomskiy V.N., Leonov A.A., Voznesenskiy S.S., Gusarov V.V. Pyrochlore Phase in the  $\text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{WO}_3 - (\text{H}_2\text{O})$  System: Physicochemical and Hydrodynamic Aspects of its Production Using a Microreactor with Intensively Swirled Flows // Journal of Advanced Powder Technology – 2023. – Vol. 34. – № 7. – P. 104053. (JIF – 4.200 (WoS), Q1 по WoS; 1.88 п.л.; доля участия – 50%)

7. **Lomakin M.S.**, Proskurina O.V., Levin A.A., Nevedomskiy V.N. Pyrochlore phase in the  $\text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{WO}_3 - (\text{H}_2\text{O})$  system: its stability field in the low-temperature region of the phase diagram and thermal stability // Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics – 2024. – Vol. 15. – № 2. – P. 240–254. (JIF – 0.800 (WoS), Q3 по WoS; 0.94 п.л.; доля участия – 60%)

#### Патенты:

8. Абиев Р.Ш., **Ломакин М.С.**, Проскурина О.В., Гусаров В.В. Способ получения порошка сложного оксида висмута, железа и вольфрама со структурой фазы пирохлора с использованием микрореактора с интенсивно закрученными потоками // Патент РФ № 2802703 от 31.08.2023 (доля участия – 30%).

9. **Ломакин М.С.**, Проскурина О.В., Гусаров В.В. Способ получения порошка сложного оксида висмута, железа и вольфрама со структурой фазы пирохлора // Патент РФ № 2825757 от 29.08.2024 (доля участия – 70%).

На диссертацию и автореферат поступило 12 дополнительных отзывов, все положительные.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований сделано заключение о перспективности внедрения полученных автором диссертации новых научных результатов в критически важные для развития страны сферы наукоёмких технологий, таких как неуглеродная энергетика и твердотельная электроника.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1. В системе  $\text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{WO}_3$  формируются в гидротермальных условиях ( $T = 90 - 200 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $P \leq 7 \text{ МПа}$ ) новые соединения переменного состава  $(\text{Bi}, \square)_2(\text{Fe}, \text{W})_2\text{O}_6\text{O}'_\delta$  со структурой пирохлора (пр. гр.  $Fd\bar{3}m$ , № 227); разработана методика их синтеза без примесей других кристаллических фаз, включающая в себя соосаждение реагирующих компонентов и гидротермальную обработку образующейся суспензии аморфного предшественника.

2. pH суспензии аморфного предшественника ключевым образом влияет на процессы фазообразования в системе  $\text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{WO}_3$ , определяя химический и фазовый состав продуктов гидротермального синтеза, а также морфологию и размерные параметры частиц и кристаллитов соединений переменного состава  $(\text{Bi}, \square)_2(\text{Fe}, \text{W})_2\text{O}_6\text{O}'_\delta$  со структурой пирохлора; скорости роста кристаллитов и их агрегирования значительно превышают скорость зародышеобразования.

3. В структуре соединений переменного состава  $(\text{Bi}, \square)_2(\text{Fe}, \text{W})_2\text{O}_6\text{O}'_\delta$  катионы  $\text{Fe}^{3+}$  и  $\text{W}^{6+}$  располагаются в не имеющей вакансий подрешетке  $B_2\text{O}_6$ , в то время как катионы  $\text{Bi}^{3+}$  располагаются в подрешетке  $A_2\text{O}'$ , имеющей значительное количество катионных вакансий; в подрешетке  $A_2\text{O}'$  катионы  $\text{Bi}^{3+}$  и анионы кислорода смещены в общие кристаллографические позиции Вайкоффа –  $96g$  и  $32e$ , соответственно.

4. Концентрационная область устойчивости соединений переменного состава  $(\text{Bi}_{2-z}\square_{2-z})(\text{Fe}_{2-y}\text{W}_y)\text{O}_6\text{O}'_\delta$  со структурой пирохлора при  $T = 200 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $P \sim 7 \text{ МПа}$  находится в границах:  $0.60 \leq z \leq 1.35$ ;  $1.32 \leq y \leq 1.96$ ;  $\delta \sim 1$ ; верхний температурный предел устойчивости соединений составляет  $\sim 725 \text{ }^\circ\text{C}$ .

5. Соединения переменного состава  $(\text{Bi}, \square)_2(\text{Fe}, \text{W})_2\text{O}_6\text{O}'_\delta$  со структурой пирохлора являются широкозонными полупроводниками, в которых ширина запрещённой зоны для непрямых разрешённых электронных переходов, а также энергетическое положение максимума валентной зоны и минимума зоны проводимости относительно энергии вакуума практически не зависят от химического состава указанных соединений.

6. Соединения переменного состава  $(\text{Bi}, \square)_2(\text{Fe}, \text{W})_2\text{O}_6\text{O}'_\delta$  со структурой пирохлора являются парамагнетиками с преимущественно антиферромагнитным взаимодействием ближнего порядка и относятся к классу геометрически фрустрированных магнетиков;

температура перехода в состояние спинового стекла, температура Кюри-Вейсса и параметр фрустрации, а также остаточная намагниченность и коэрцитивная сила при 2 К зависят от химического состава указанных соединений, а именно, степени магнитного разбавления позиции В.

На заседании 29.11.2024 диссертационный совет принял решение присудить Лوماкину М.С. ученую степень кандидата химических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 10 докторов наук по специальности 1.4.15. Химия твёрдого тела, участвовавших в заседании, из 29 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 20, против - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Зам. председателя  
диссертационного совета МГУ.014.8  
д.х.н., проф.

Лазорьяк Б.И.

Ученый секретарь  
диссертационного совета, МГУ.014.8  
к.х.н.

Е.А. Еремина  
29.11.2024