

## ОТЗЫВ

**на автореферат диссертации А.А. Хрущевой «Золь-гель синтез композитных наночастиц на основе оксидов алюминия, церия и циркония», представленной на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 02.00.01 – неорганическая химия.**

Нанопорошки сложных оксидов Al, Ce и Zr являются основой керамических материалов, имеющих широкий спектр применений – это, прежде всего, материалы медицинского назначения (имплантаты), носители катализаторов и материалы для электродов и электролитов твердооксидных топливных элементов. К сожалению, в настоящее время коммерчески доступными являются, в основном, порошки и керамика импортного производства. Поэтому разработка новых технологических процессов получения нанопорошков сложных оксидов и мелкозернистой керамики на их основе является актуальной задачей импортозамещения.

Целью диссертационной работы А.А. Хрущевой является разработка методов и подходов для получения нанодисперсных порошков, отвечающих составам твердых растворов  $\text{Ce}_x\text{Zr}_{1-x}\text{O}_2$  ( $0,03 \leq x \leq 0,16$ ), а также композитных нанопорошков  $\text{Ce}_{0,09}\text{Zr}_{0,91}\text{O}_2/\text{MgAl}_6\text{O}_{10}/\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$ , которые были бы пригодны для получения плотной мелкозернистой керамики. Для достижения цели была предложена стройная программа, которую диссертант с успехом выполнила. Несомненной научной новизной отличается прием использования, наряду с обычно применяемыми прекурсорами – нитратами Ce, Zr и Al или оксихлоридом Zr, ряда низкомолекулярных азотсодержащих органических соединений (моноэтаноламин, тетраэтиламмоний гидроксид и N,N-диметилноктиламин). При этом А.А. Хрущева детально изучила влияние каждого из прекурсоров и каждой из добавок на свойства получаемых порошков и керамики на их основе.

Достоверность результатов исследований подкреплена представленным фактическим материалом и использованием современных взаимодополняющих методов исследования.

Помимо использования разнообразных методов исследования физико-химических свойств порошков и керамики, можно отметить применение высокотехнологичных методов прессования и спекания для получения высокоплотной керамики – магнитно-импульсного прессования и горячего спекания, что в том числе, позволило получить мелкозернистую (размер зерна  $\leq 3$  мкм) высокоплотную (98,8-98,9 %) керамику на основе композитного порошка сложного состава.

Практическая значимость результатов диссертации А.А. Хрущевой не вызывает сомнения. Российские потребители нуждаются в коммерчески доступных отечественных нанодисперсных порошках сложных оксидов Zr, Ce, Al и в высокоплотной твердой керамике на их основе, которая была бы пригодная для использования в стоматологии, хирургии, а также в качестве функциональных материалов для устройств альтернативной энергетики.

В целом, материал диссертации хорошо и логично изложен в автореферате, однако в нем все-таки присутствуют неудачные фразы. Например, на стр. 5: «Предварительное исследование спекания нанопорошков ... проводили в дилатометре», когда обычно говорят – с помощью дилатометра. Трудно понять, о каком составе идет речь, если написано: «Величина мольного отношения (МО) Ст/ΣМе составляла  $0,5 \div 3,0$ ».

Кроме того, по содержанию автореферата можно сделать следующие замечания:

1. Из описания на стр. 9 автореферата совершенно не понятно, как формировался композитный порошок  $\text{Ce}_{0,09}\text{Zr}_{0,91}\text{O}_2/\text{MgAl}_6\text{O}_{10}/\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$ , и почему технология его формирования позволяет ему соответствовать европейскому стандарту ISO 6474-2? Не понятно, как «твердый раствор  $\text{Ce}_{0,09}\text{Zr}_{0,91}\text{O}_2$  был нанесен на наночастицы оксида алюминия»? и как формировалась «Mg-содержащая поверхностная фаза»?
2. Из автореферата не понятно, на чем основывается диссертант, когда приводит формулы промежуточных соединений (интермедиатов), которые образуются в результате взаимодействия солей металлов с органическими добавками и водой?
3. Один из прекурсоров для получения порошка оксида циркония не хлорид, как написано на стр. 8, а оксихлорид  $\text{ZrOCl}_2$ , если верить надписи на рис. 4.
4. Массовые проценты диссертант везде обозначает весовыми, как принято не в отечественной, а в зарубежной научной литературе.
5. Не везде могу согласиться с некоторыми терминами, которые употребляет автор диссертации. Неудачным считаю склонность диссертанта называть прекурсоры оксидов (соли металлов) – источниками металлов, поскольку металлы ни на одной из стадий технологического процесса не образуются. Точно также не совсем правильно, с моей точки зрения, называть низкомолекулярные азотсодержащие органические соединения стабилизаторами золя, поскольку они стабилизируют не золь, а лишь способствуют уменьшению размера сформированных наночастиц оксидов.

Несмотря на вышеуказанные замечания, автореферат диссертация А.А. Хрущевой производит хорошее впечатление. Нельзя не похвалить очень хорошие иллюстрации, дополняющие представленные результаты исследований. Диссертационная работа представляет собой цельное, законченное исследование на актуальную тему, которое вносит существенный вклад в неорганическую химию оксидных материалов.

Судя по автореферату, учитывая актуальность, научную новизну, практическую значимость и достоверность полученных результатов, считаю, что диссертационная работа А.А. Хрущёвой полностью отвечает требованиям ВАК РФ (п.9 Положения о присуждении ученых степеней), предъявляемым к кандидатским диссертациям, и соответствует паспорту специальности 02.00.01 - Неорганическая

химия в части Формулы специальности: «Фундаментальные основы получения объектов исследования неорганической химии и материалов на их основе», «Дизайн и синтез новых неорганических соединений и особо чистых веществ с заданными свойствами», «Химическая связь и строение неорганических соединений», «Реакционная способность неорганических соединений в различных агрегатных состояниях и экстремальных условиях», «Взаимосвязь между составом, строением и свойствами неорганических соединений», «Неорганические наноструктурированные материалы», «Реакции координированных лигандов», а ее автор, Хрущёва Анастасия Александровна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата химических наук по специальности 02.00.01 - Неорганическая химия.

Заведующая лабораторией неорганического синтеза  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Ордена Трудового Красного Знамени Института химии силикатов  
им. И.В. Гребенщикова Российской академии наук (ИХС РАН),  
доктор химических наук по специальности 05.17.11 – технология силикатных  
и тугоплавких неметаллических материалов, профессор Шилова Ольга Алексеевна  
Рабочий адрес: 199034, Россия, Санкт-Петербург, наб. Макарова, д.2, ИХС  
РАН.

Телефон: 7 812 325 21 13 (сл.), +7 921 324 41 71 (моб.)

e-mail: [olgashilova@bk.ru](mailto:olgashilova@bk.ru)

Подпись руки О.А. Шиловой удостоверяю:

Зам. директора по научной работе, д.т.н.

И.Ю. Кручинина

