

## Отзыв

на автореферат диссертации Лозанова Виктора Васильевича на тему: «Синтез и физико-химическое исследование тугоплавких соединений, образующихся в системах на основе гафния, тантала и иридия», представленной на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 02.00.21 – химия твердого тела

Область применения высокотемпературной керамики на основе тугоплавких карбидов, боридов и нитридов переходных металлов включает получение износостойких покрытий, инструментальных сплавов, а также огнеупорных материалов. Отдельной областью является разработка материалов для экстремальных условий эксплуатации, одновременно сочетающих большие механические нагрузки, сверхвысокие ( $\geq 2000$  °C) температуры и агрессивную газовую среду, что определяет жёсткие физико-химические критерии отбора исходных компонентов по температуре плавления, твёрдости и прочности, трещиностойкости, теплопроводности, термоэмиссионным свойствам, каталитической способности, окислительной и эрозивной стойкости, плотности. В качестве материалов для экстремальных условий эксплуатации предполагается использовать вещества, обладающие исключительно низкой скоростью рецессии в кислороде, такие как иридий (при 2260 °C скорость испарения иридия  $5 \cdot 10^{-6}$  см/с). Вследствие этого, иридий рассматривается как перспективный высокоэффективный диффузионный барьер для кислорода при экстремальных условиях эксплуатации. В рамках диссертационной работы в качестве объектов исследования выбраны системы на основе Hf–C–Ir и Ta–C–Ir. К сожалению, пути и механизмы химических превращений в данных системах до сих пор остаются малоизученной областью, также не освещены вопросы твердофазного взаимодействия компонентов вышеуказанных систем (карбидов Ta и Hf с иридием) и взаимодействия через газовую фазу с участием транспортных агентов. Отсутствует исследование структуры и фазового состава продуктов в зависимости от метода и условий получения, понимание фундаментальной связи «состав – структура – свойства», отсутствуют сведения об окислительной и абляционной стойкости. Изучение данных систем, свойств материалов на их основе и поиск решений поставленных проблем является **актуальной темой работы**.

Диссертационная работа В.В. Лозанова представлена цельным, логичным исследованием. Автор убедительно показывает возможности, связанные с синтезом, разработкой технологии покрытий на углеродные материалы и испытанием окислительной и абляционной устойчивости материалов. Тщательно проведенный анализ научно-технической и справочной литературы, позволил автору систематизировать имеющуюся информацию и подробно описать преимущества от использо-

вания соединений Hf, Ta и Ir. В работе автор применял разные методы синтеза материалов систем Hf–C–Ir и Ta–C–Ir и покрытий на их основе (осаждение из газовой фазы и высокотемпературный твердофазный синтез). Для получения тугоплавких соединений переходных металлов и иридия разработаны способы, основанные на последовательном осаждении карбидов или интерметаллидов гафния или тантала методом реакционного осаждения из газовой фазы (RCVD) и осаждении иридия методом химического осаждения из паровой фазы летучих металлоорганических соединений-предшественников (MOCVD) на углеродную подложку. Для характеристики полученных соединений автор использовал комплекс современных методов исследования, включающий: рентгенофазовый анализ с использованием программного комплекса для качественного и количественного определения фаз, а также определение структурных параметров фаз на основе полнопрофильного анализа дифрактограмм; сканирующую электронную микроскопию высокого разрешения с элементным анализом, проводимым с использованием метода энергодисперсионной спектроскопии; спектроскопию комбинационного рассеяния. Изучение абляционных свойств полученных систем в работе проводилось с использованием плазмотрона.

Всё вышесказанное позволяет сделать вывод, что **научные положения и Заключение** хорошо обоснованы, логично вытекают из материала диссертационной работы.

**Практическая значимость** работы неоспорима и подтверждена получением патента РФ № 2631080 (приоритет от 24.03.2016) «Способ получения монокристаллов моноклинного диоксида гафния».

Работа выполнена в соответствии с государственным заданием ФАНО России, а также при поддержке гранта РФФИ № 16-33-00613 «мол\_а», гранта РНФ № 18-19-00075, гранта Президента РФ для государственной поддержки ведущих научных школ РФ № НШ-2938.2014.3, программы фундаментальных исследований Отделения химии и наук о материалах РАН № И-5.2.1, программы фундаментальных исследований РАН № И-38, договоров между АО «ЦНИИСМ» и ИХТТМ СО РАН шифр «Прочность», АО «ЦНИИСМ» и ИХТТМ СО РАН шифр «Бурьян».

Яркость научным исследованиям в работе придает использование автором современных методов анализа и подходов к синтезу твердых растворов, в частности, проведение термодинамического моделирования гетерогенных систем M–C–F и M–C–Si–O–F (M = Hf, Ta) в широком интервале температур (1100–1600 К) и давлений (1–1000 торр), использование методов осаждения из газовой фазы и высокотемпературного твердофазного синтеза, изучение морфологии образцов методом сканирующей электронной микроскопии, проведение подробного рентгенофазового анализа,

уточнение параметров элементарных ячеек и размеров кристаллитов по полнопрофильному методу Ритвельда, анализ спектров комбинационного рассеивания и др.

### **Общая оценка работы**

Автореферат диссертации написан хорошим научным языком, грамотно, орфографических ошибок и опечаток нет. Обращает на себя внимание информативность представленных рисунков и таблиц. В целом работа В.В. Лозанова производит хорошее впечатление. Диссертация является цельным и завершенным исследованием на актуальную тему, отличающимся новизной, имеющим научную и практическую значимость. Результаты диссертации достоверны, а заключение и рекомендации – научно обоснованы.

По теме диссертации опубликовано 26 работ, из них 7 статей в российских и зарубежных рецензируемых изданиях, входящих в список ВАК РФ и международную систему научного цитирования Web of Science, и 19 тезисов и статей в сборниках трудов российских и международных конференций. Получен патент РФ № 2631080 (приоритет 24.03.2016).

В процессе прочтения текста автореферата возникли следующие вопросы и замечания:

1) автор упоминает, что в работе проводил вычисления параметров элементарных ячеек и размеров кристаллитов по методу Ритвельда, однако полученные результаты в автореферате не приводятся;

2) на рис. 14а в образце системы HfC–Ir обнаружен HfO<sub>2</sub>, автор объясняет это наличием кислородсодержащих фаз в Si, взаимодействующих с карбидом гафния, однако такое большое количество кислорода не может быть примесью кремния;

3) как автор может объяснить, что на рис. 14б фазы IrSi (точка 3) и TaC (точка 2) одного цвета – тёмно серого, а TaIr<sub>3</sub> (точка 4) и TaIr<sub>3</sub> (точка 6) разного цвета – серого и светло-серого?

4) чем можно объяснить отсутствие на изображении СЭМ (рисунок 16б) фазы, соответствующей Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>? С чем связано образование структуры, похожий на дендритную (рисунок 16б)?

5) исходя из пункта «структура и объем работы» можно заключить, что автору необходимо было бы немного сократить диссертационную работу, также это относится и большому объему автореферата.

Несмотря на возникшие вопросы и замечания в ходе прочтения автореферата диссертации, которые можно воспринимать как рекомендации, они не влияют на получение конечного результата, соответствующего запланированным цели и задачам

и не снижают общего хорошего впечатления о работе, которая, несомненно, может быть оценена только положительно. По моему мнению, работа, по своему научному и техническому уровню, соответствует требованиям п. 9–14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Лозанов Виктор Васильевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата химических наук по специальности 02.00.21 – химия твердого тела.

И.о. старшего научного сотрудника лаборатории  
Кремнийорганических соединений и материалов  
Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Ордена Трудового Красного Знамени Института химии силикатов  
им. И.В. Гребенщикова Российской академии наук,  
доктор технических наук, по специальности 05.17.11 – Технология  
силикатных и тугоплавких неметаллических материалов

Сергей Николаевич Перевислов

Адрес ИХС РАН: 199034, г. Санкт-Петербург, наб. Макарова, д. 2  
Тел. отд. кадров ИХС РАН: 8(812) 328-85-78  
Тел. сот.: 8(904) 551-49-55  
E-mail: [perevislov@mail.ru](mailto:perevislov@mail.ru)

Подпись Перевислова С.Н. заверяю,  
ВРИО Заместителя директора по научной работе, к.х.н.

Н.Г. Тюрнина

