

Отзыв

на автореферат диссертации Истоминой Елены Иннокентьевны
«Кремнийсодержащие МАХ фазы и карбидные материалы в реакциях с участием
монооксида кремния»,
представленной на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальности 2.6.14 – Технология силикатных и тугоплавких неметаллических
материалов

Диссертационная работа Истоминой Елены Иннокентьевны посвящена получению кремнийсодержащих МАХ фаз и волокон карбида кремния с использованием в качестве прекурсоров оксидов металлов 4-5 группы и карбида кремния в качестве восстановителя для синтеза кремнийсодержащих МАХ фаз, и монооксид кремния в качестве силицирующего агента. Материалы на основе вышеперечисленных соединений составляют основу современного высокотемпературного материаловедения в таких важных сферах, как создание нового поколения энергетических установок, что обуславливает **актуальность** работы с **практической точки зрения**. Для формирования однофазных продуктов или продуктов строго контролируемого состава необходимо глубокое научное исследование процессов, приводящих к их образованию, что обуславливает **актуальность** работы с **фундаментальной точки зрения**. Автор поставил **цель** – разработать химико-технологические основы получения кремнийсодержащих МАХ фаз и волокон карбида кремния, а также керамических материалов на их основе, используя в качестве прекурсоров оксиды металлов 4-5 группы и карбид кремния в качестве восстановителя для синтеза кремнийсодержащих МАХ фаз, и монооксид кремния в качестве силицирующего агента для синтеза Ti_3SiC_2 и волокон SiC. Сформулированная цель потребовала выполнения сразу нескольких **научных задач**, наиболее важными из которых являются:

- разработка метода синтеза кремнийсодержащих МАХ фаз в объёме, в основе которого лежит совмещение в рамках одного химического процесса карбо- и силикотермическое восстановление оксидов переходных металлов 4–5 групп, с использованием в качестве восстановителя SiC;
- выявление концентрационных границ существования отдельных кремнийсодержащих МАХ фаз системы Ti – Zr – Si – C, их структурная устойчивость и кристаллографическое описание;
- исследование прочностных и термомеханических характеристик керамических материалов на основе кремнийсодержащих МАХ фаз;
- разработка метода синтеза композитных волокон C/SiC со структурой "сердцевина–оболочка" с применением высокотемпературной обработки углеволоконных материалов в газовой атмосфере SiO.

Среди основных результатов, составляющих **научную новизну** работы, можно выделить следующие:

– Синтезированы новые кремнийсодержащие *MAX* фазы Ti_4SiC_3 , Zr_3TiSiC_3 , Zr_2TiSiC_2 . Показано, что формирование этих *MAX* фаз происходит с участием газообразного реагента SiO . Изучена их микроструктура, кристаллографические параметры, а также прочностные и термомеханические свойства.

– Методом вакуумного карбосиликотермического восстановления оксидов получены высокоэнтропийные карбиды состава $(Ti, Zr, Hf, Nb, Ta)C$, установлены параметры процесса.

– Предложено использование газообразного монооксида кремния SiO в качестве силицирующего агента для синтеза Ti_3SiC_2 и карбидокремниевых материалов. Изучена высокотемпературная коррозия материалов на основе Ti_3SiC_2 в атмосфере газа CO .

Достоверность полученных результатов обеспечена обоснованным выбором методов аттестации материалов, использованием комплекса современных экспериментальных методов исследования физико-химических и функциональных свойств исследуемых объектов, а также согласованностью экспериментальных и расчетных результатов.

Результаты работы Е.И. Истоминой были опубликованы в виде 41 научной статьи в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК РФ и входящих в базу данных Scopus, Web of Science, а также были широко представлены на международных и российских конференциях.

При чтении автореферата диссертационной работы возникли некоторые замечания и пожелания, перечень которых приведен ниже.

1. На с. 4. автореферата Автор пишет, что «предложен новый способ синтеза непрерывных композитных волокон C/SiC со структурой "сердцевина-оболочка" и тканей из них путём силицирования углеродных материалов газообразным SiO ». Однако можно усомниться в новизне такого подхода. Попытки превратить углеродное волокно конструкционного назначения в карбидокремниевое путем силицирования монооксидом кремния впервые были сделаны MER Corporation примерно 30 лет назад (Kowbel, 1997). После силицирования монооксидом кремния было получено волокно с графитовой сердцевиной, окруженной оболочкой из карбида кремния. Низкая прочность таких волокон не позволила серьезно рассматривать их как армирующий компонент конструкционных материалов.

В этой связи утверждение Автора (см. с. 34 автореферата), что «композитные волокна C/SiC со структурой "сердцевина-оболочка".....по сути являются новым видом керамических волоконных материалов, которые могут найти широкое применение в

качестве армирующего компонента при создании высокотемпературных композиционных материалов конструкционного назначения», нуждается в существенной корректировке.

Тезис о «применении в качестве армирующего компонента ...материалов конструкционного назначения» в некоторой степени дезавуируется и данными, полученными самим Автором, по прочности модифицированных волокон (с.326 Диссертации). Так, прочность модифицированных волокон составила всего лишь 480 МПа, что значительно меньше не только прочности исходных конструкционных углеродных волокон, но и существующих марок SiC волокон конструкционного назначения.

2. Автор употребляет термин «непрерывное волокно». Однако экспериментальное оформление процесса в существующем виде допускает поверхностную модификацию лишь небольших отрезков волокон. Для того, чтобы этот метод можно было считать пригодным для поверхностной модификации именно непрерывных волокон, необходимо предусмотреть возможность непрерывной подачи волокна с катушки в зону силицирования и, по-видимому, существенно переработать конструкцию реактора.

3. В подписи к Рис. 6.27 текста диссертации полученный материал называется «микрочанальной керамикой на основе SiC, полученной выжиганием на воздухе при 900°C углеродной сердцевины». К сожалению, никаких доказательств того, что стенки микроканалов состоят именно из SiC, а не из продуктов его частичного или полного окисления (SiO₂) не приводится. Судя по тому, что стенки каналов после окисления стали стекловидными, частичное или полное окисление исключать нельзя.

4. Рисунки 25 автореферата и 3.53 диссертации, на которых представлены карты разориентации зерен, необходимо было дополнить изображением углов Эйлера для грамотной интерпретации полученного результата.

Высказанные замечания носят дискуссионный характер и не влияют на главные результаты и выводы работы. Диссертационная работа Е.И. Истоминой содержит целый набор очень интересных технических решений для получения высокотемпературных материалов различного назначения. Автор демонстрирует свободное владение большим количеством самых передовых методов исследования. Особенно хочется отметить стремление соискателя глубоко разобраться и осмыслить полученные результаты.

В целом, можно заключить, что диссертационная работа Е.И. Истоминой «Кремнийсодержащие МАХ фазы и карбидные материалы в реакциях с участием монооксида кремния» в полной мере отвечает требованиям, предъявляемым пунктом 9-11, 13, 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. №842 в действующей редакции, и требованиям ВАК,

предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Истомина Елена Иннокентьевна, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.14 – Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.

Бакланова Наталья Ивановна

Доктор химических наук по специальности 02.00.21 – химия твердого тела,
Ведущий научный сотрудник лаборатории химического материаловедения,
ФГБУН Институт химии твердого тела и механохимии
Сибирского отделения Российской академии наук

630090 г. Новосибирск, ул. Кутателадзе, 18

Т. +7(383)233 24 10*1132

Факс +7(383) 332 28 47

e-mail: baklanova@solid.nsc.ru

4 марта 2026 г.



Бакланова Наталья Ивановна

Подпись Н.И. Баклановой заверяю

Ученый секретарь ИХТТМ СО РАН

Д.х.н.



Т.П. Шахтшнейдер

Я, ниже подписавшаяся, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертационной работы Е.И. Истоминой, и их дальнейшую обработку.



/Н.И. Бакланова