

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию **Никитина Дмитрия Сергеевича**
«Плазмодинамический синтез ультрадисперсного карбида кремния»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.09.02 – Электротехнические материалы и изделия.

1. Актуальность избранной темы

Одним из наиболее востребованных материалов в различных областях науки и техники является карбид кремния. Благодаря высокой температуре разложения, высокой твердости, хорошим механическим характеристикам, малому значению коэффициента термического расширения, химической пассивности, карбид кремния представляет собой основной и важный компонент функциональных и конструкционных материалов для изделий машиностроения, двигателестроения, авиационной и космической техники, атомной промышленности. Карбид кремния является полупроводником, который по своим характеристикам превосходит большинство материалов современной электроники, что делает его перспективным для применения в области электротехники, так как он пригоден для изготовления полупроводниковых устройств, применяемых в жестких средах. Наночастицы карбида кремния используются как армирующий компонент для улучшения свойств керамики и композитов, а также как материал для нанoeлектроники. При этом существующие методы получения ультрадисперсного карбида кремния как в порошковом, так и в объемном виде до сих пор недостаточно эффективны. В связи с изложенным, тема диссертации, несомненно, является актуальной.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается использованием большого количества экспериментальных данных и применением современных методов исследования свойств веществ.

3. Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается всесторонним анализом выполненных ранее исследований по смежным направлениям с темой диссертации, применением в исследованиях апробированных методов диагностики и современного оборудования, воспроизводимостью результатов исследования.

4. Научная новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

1. Разработан метод прямого плазмодинамического синтеза карбида кремния на основе импульсного высоковольтного коаксиального магнитоплазменного ускорителя с графитовыми электродами, обеспечивающий получение в гиперсверхзвуковой струе электроразрядной плазмы ультрадисперсного продукта с монокристаллическим строением частиц.

2. Установлены основные закономерности влияния условий инициирования дугового разряда в ускорительном канале и энергетических параметров импульсного электропитания ускорителя на процесс плазмодинамического синтеза и на характеристики дисперсного продукта.

3. Определено влияние параметров газообразной среды на фазовый состав, параметры кристаллической структуры, морфологию и размеры частиц порошка карбида кремния, формирующихся при высокоскоростном распылении материала плазменной струи.

5. Значимость для науки и практики полученных автором результатов.

1. Полученные автором результаты способствуют выявлению физических особенностей и закономерностей синтеза кристаллического ультрадисперсного карбида кремния в потоке гиперсверхзвуковой электроразрядной плазмы.

2. Определены режимные параметры и спекающие добавки для получения высокоплотных керамических образцов с высокими физико-механическими свойствами и теплопроводностью.

Результаты и выводы диссертации востребованы специалистами в области получения, исследования и использования сверхтвердых ультрадисперсных материалов и могут быть использованы в учреждениях высшего образования и науки, а также на предприятиях, которые занимаются производством таких материалов.

6. Оценка содержания диссертации, ее завершенность

Диссертационная работа изложена на 154 страницах и состоит из введения, пяти глав, заключения и списка использованной литературы, содержащего 183 наименования.

Во введении рассмотрена актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи научного исследования, научная новизна, практическая значимость и основные положения, выносимые на защиту. Приведены сведения о личном вкладе автора, реализации и апробации работы.

В первой главе представлен обзор литературы по тематике исследования. Приведены сведения о свойствах и применении карбида кремния, в том числе и в области электротехнических материалов и изделий. Основное внимание уделено проблеме синтеза и использования ультрадисперсного порошка SiC. Рассмотрены разнообразные методики получения карбида кремния, отмечены их преимущества и недостатки.

Во второй главе рассматриваются оборудование и методики проведения исследований. Описывается экспериментальный стенд с емкостным накопителем энергии и коаксиальным магнитоплазменным ускорителем. Для получения ультрадисперсного карбида кремния используется плазмодинамический метод, основанный на применении коаксиального магнитоплазменного ускорителя как источника гиперсверхзвуковой плазменной струи, в которой осуществляется синтез карбида кремния. Рассмотрена методика проведения экспериментов по плазмодинамическому синтезу ультрадисперсного карбида кремния. Описаны методы исследования фазового состава и дисперсности получаемых порошкообразных материалов, а также методика получения объемных продуктов путем искрового плазменного спекания.

Третья глава посвящена исследованию влияния условий зажигания дугового разряда, который используется как предионизатор, на процесс плазмодинамического синтеза и на получаемый с его помощью продукт. Показано, что в высокоскоростной струе углерод-кремниевой электроразрядной плазмы возможно осуществить процесс получения наноразмерных частиц карбида кремния. Рассмотрены различные варианты инициирования дугового разряда: с помощью углеродных волокон и графитизацией внутренней поверхности канала формирования плазменной структуры. Выполнена серия экспериментов по исследованию влияния сопротивления разрушаемой углеродной перемычки на процесс и результат плазмодинамического синтеза. Сравнение вариантов проводилось по результатам рентгеноструктурного анализа, сканирующей электронной микроскопии и просвечивающей электронной микроскопии. В результате выявлен вариант процесса, при котором содержание кристаллического карбида кремния в продукте плазмодинамического синтеза составило 98,7%.

В четвертой главе приводятся результаты исследований влияния соотношения прекурсоров, энергетических параметров плазменной струи и условий внешней газообразной среды камеры-реактора на фазовый и гранулометрический состав продукта синтеза. Получены гistogramмы распределения частиц по размерам при различных значениях исследованных параметров. Установлены условия для максимального выхода ультрадисперсного карбида кремния. Методом оптической спектрофотометрии исследована ширина запрещенной зоны, характеризующая полупроводниковые свойства порошковых материалов. Установлено, что при варьировании параметров плазмодинамического синтеза возможно получение ультрадисперсного карбида кремния с различной шириной запрещенной зоны.

В пятой главе представлены результаты исследований по получению объемных образцов карбида кремния. Рассмотрено несколько вариантов приготовления объемных образцов и исследованы их микроструктура, плотность, твердость, коэффициент теплопроводности. Показано, что использование продукта плазмодинамического синтеза позволяет получать максимально плотный материал с высокими твердостью и коэффициентом теплопроводности.

В заключении приведены основные выводы диссертации.

В приложении представлен акт внедрения.

В диссертации представлены достаточно полно и подробно результаты выполненных исследований, работа оформлена в соответствии с ГОСТ. На сторонние источники информации, использованные в диссертации, даны необходимые ссылки. Основные положения и результаты диссертации обсуждены на международных и всероссийских конференциях. Научные положения и выводы, представленные в работе, достаточно полно отражены в опубликованных научных статьях. Личный вклад автора подтверждается наличием публикаций, представлением результатов на международных и российских конференциях. Практические рекомендации подтверждены патентом на изобретение. Полученные результаты соответствуют заявленным целям диссертации.

Содержание автореферата соответствует диссертации и даёт полное представление о ней.

Содержание диссертации соответствует паспорту научной специальности 05.09.02 – «Электротехнические материалы и изделия», а именно:

П.1. Изучение на стадиях разработки, исследования, изготовления, эксплуатации и утилизации физико-химических процессов, определяющих свойства электротехнических и

радиотехнических материалов и изделий в связи с их химическим составом, структурой и внешними условиями эксплуатации с целью обеспечения их высокого качества.

П.2. Оптимизация параметров электротехнических, радиотехнических материалов и изделий, технологии их производства, эксплуатации и утилизации.

П.4. Разработка методов повышения долговечности и надежности электротехнических и радиоэлектронных материалов и изделий на их основе.

7. Достоинства и недостатки диссертации

Среди полученных в работе результатов хотелось бы особо отметить следующие достоинства:

1. Экспериментальные данные о влиянии условий инициирования плазменного потока на синтезируемый ультрадисперсный карбид кремния, в результате которых определено, что наилучшие результаты синтеза получаются при использовании графитизации внутренней поверхности канала.

2. Экспериментальные данные о влиянии давления и температуры газовой среды камеры-реактора на результат синтеза ультрадисперсного карбида кремния и его полупроводниковые свойства.

3. Применение искрового плазменного спекания для компактирования синтезированного продукта.

К диссертации имеются следующие замечания:

1. В первой главе приведен обзор методов синтеза карбида кремния с указанием их достоинств и недостатков. В результате выполненных исследований в диссертации показана возможность получения ультрадисперсного монокристаллического карбида кремния, однако не проведено сравнение со свойствами карбида кремния, полученного другими методами.

2. На стр. 45 приведена ссылка на работу [124], в которой не рассматриваются вопросы спекания керамических образцов при высоком давлении.

3. В тексте диссертации используется большое число аббревиатур, однако список использованных условных обозначений и сокращений отсутствует, что затрудняет чтение работы. В частности, используется обозначение $P(5)$, которое нигде в диссертации не расшифровывается.

4. В четвертой главе приводятся данные о скорости истечения плазменной струи (рис. 4.4.1), однако методика измерения скорости не описана.

Отмеченные недостатки не снижают научной и практической значимости диссертационной работы. В диссертации детально исследованы свойства синтезированного ультрадисперсного карбида кремния и компактированного материала при различных условиях синтеза и убедительно показана возможность получения высокоплотной субмикронной керамики с высокими физико-механическими свойствами. Результаты экспериментальных исследований доведены до практического приложения.

9. Заключение

Диссертационная работа «Плазмодинамический синтез ультрадисперсного карбида кремния» является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей значение для развития отрасли материаловедения электротехнических материалов и изделий. Диссертационная работа отвечает требованиям п.п. 8 и 9 Порядка присуждения ученых степеней в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (Приказ № 93/од от 06.12.2018). Работа выполнена автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения. Приводятся сведения о возможном практическом использовании полученных автором диссертации научных результатов. Основные научные результаты диссертации опубликованы, работа соответствует требованию указания ссылок.

Основываясь на вышеизложенном, считаю, что автор диссертации Никитин Дмитрий Сергеевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.02 – Электротехнические материалы и изделия.

Даю свое согласие на обработку персональных данных.

Официальный оппонент
профессор кафедры «Плазмохимические и нанотехнологии высокомолекулярных материалов»
ФГБОУ «Казанский национальный исследовательский технологический университет»,
доктор физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, доцент

Желтухин Виктор
Семенович

Сведения:

Полное наименование организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет».

Почтовый адрес: 420015, Российская Федерация, Республика Татарстан, Казань, ул. К.Маркса, д. 68.

Телефон: +7(843)231-41-40.

Эл. адрес: vzheltukhin@gmail.com

Должность: профессор кафедры «Плазмохимические и нанотехнологии высокомолекулярных материалов»

Ф.И.О.: Желтухин Виктор Семенович

