

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспертной комиссии диссертационного совета ДС.ТПУ.11 на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национального исследовательского Томского политехнического университета» по предварительному рассмотрению диссертации Никитина Дмитрия Сергеевича «Плазмодинамический синтез ультрадисперсного карбида кремния», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.02 – «Электротехнические материалы и изделия»

«13» марта 2019 г.

Комиссия диссертационного совета ДС.ТПУ.11 в составе:

председатель – д.т.н., профессор ИШЭ ТПУ Завьялов В.М.;

член комиссии – д.т.н., в.н.с. ИШНПТ ТПУ Лебедев С.М.;

член комиссии – д.т.н., доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ Леонов А.П.;

член комиссии – д.т.н., с.н.с, профессор ОЭЭ ИШЭ ТПУ Сивков А.А.

рассмотрела диссертационную работу Никитина Дмитрия Сергеевича на тему «Плазмодинамический синтез ультрадисперсного карбида кремния», выполненную в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальном исследовательском Томском политехническом университете» (ФГАОУ ВО НИ ТПУ).

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка используемой литературы из 183 наименований. Объем диссертации составляет 154 страниц, включая 95 рисунков, 19 таблиц, приложений на 1 страницу.

Комиссия провела проверку и установила идентичность текста диссертации, представленной в диссертационный совет на бумажном носителе, тексту диссертации в электронном варианте в формате \*.pdf. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты.

Комиссия, предварительно рассмотрев диссертацию Никитина Дмитрия Сергеевича на тему: «Плазмодинамический синтез ультрадисперсного карбида кремния», пришла к выводу о соответствии

указанной диссертации требованиям п.п. 8-12 «Порядок присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете», утвержденного приказом ФГАОУ ВО НИ ТПУ от 6 декабря 2018 г. № 93/од.

## **1. Соответствие темы и содержания диссертации научной специальности и отрасли науки**

Диссертация посвящена решению проблемы получения ультрадисперсного карбида кремния путем использования плазмодинамического способа синтеза с помощью коаксиального магнитоплазменного ускорителя с графитовыми электродами. Актуальность проблемы для темы электротехнических материалов и изделий определяется тем, что данный материал может применяться для создания на его основе устройств нанoeлектроники с улучшенными эксплуатационными свойствами, в том числе нано- и микроэлектромеханических систем.

Целью диссертационной работы является разработка плазмодинамического метода получения ультрадисперсного карбида кремния на основе коаксиального магнитоплазменного ускорителя с графитовыми электродами.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе решены следующие задачи:

– Анализ проблемы синтеза ультрадисперсного карбида кремния по современным литературным данным.

– Разработка метода плазмодинамического синтеза на основе импульсного высоковольтного коаксиального магнитоплазменного ускорителя с графитовыми электродами, обеспечивающего генерацию импульсных сверхзвуковых струй кремний-углеродной электроразрядной плазмы.

– Исследование влияния условий инициирования дугового разряда в ускорительном канале и энергетических параметров импульсного электропитания ускорителя на процесс плазмодинамического синтеза и характеристики продукта.

– Исследование влияния параметров состояния внешней газообразной среды на фазовый состав и дисперсность синтезируемого продукта.

– Получение объемного керамического материала на основе синтезируемого продукта и изучение его физико-механических и теплофизических свойств.

В диссертации информация представлена логично и структурировано, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты в области электротехнических материалов и изделий. Работа имеет прикладную составляющую и содержит сведения о практическом использовании полученных научных результатов. Текст диссертации оригинален и полностью написан автором. В материалах диссертации и автореферате не содержится сведений ограниченного распространения, работа может быть опубликована в открытой печати.

В результате проведенных исследований в диссертации изложены новые научно обоснованные технические решения и разработки. Название диссертации, ее цель и задачи содержат ключевые понятия и слова из паспорта заявленной научной специальности.

По тематике, объектам и области исследования, разработанным автором новым научным положениям, научной и практической значимости представленная диссертация соответствует научной специальности 05.09.02 – «Электротехнические материалы и изделия», согласно следующим пунктам паспорта:

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.

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

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

**2. Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем ученой степени и выполнение требований к публикации основных научных результатов диссертации,**

### **предусмотренных пунктами 10 и 11 Порядка присуждения ученых степеней в НИ ТПУ**

Основные материалы диссертации опубликованы в 16 печатных работ, в том числе 10 статей в журналах, рекомендованных ВАК, 6 статей в журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, 1 из которых относится к первому (Q1) квартилю, которые отражают основные результаты и выводы диссертации. Получен один патент РФ на изобретение.

По представленному библиографическому списку и перечню собственных публикаций автора можно сделать заключение о том, что основные положения диссертации достаточно полно изложены в опубликованных соискателем работах и апробированы на научных конференциях. Требования к публикации основных научных результатов диссертации выполнены полностью.

### **3. Выполнение соискателем пункта 12 Порядка присуждения ученых степеней в НИ ТПУ**

Анализ текстов диссертации, публикаций соискателя и списка использованных источников позволяет сделать вывод, что в диссертации заимствованные материалы и отдельные результаты приводятся со ссылками на источники заимствования или их соавторов.

Требования п. 12 (*ссылаться на автора (авторов) и (или) источник заимствования материалов или отдельных результатов. При использовании в диссертации результатов научных работ, выполненных соискателем ученой степени лично и (или) в соавторстве, соискатель ученой степени обязан отметить в диссертации это обстоятельство*) полностью соблюдены.

Ссылки на библиографические источники, включая собственные публикации автора, оформлены в соответствии с требованиями стандарта, а библиографический список характеризует серьезную глубину изучения автором рассматриваемого в работе научного направления.

### **4. Основные публикации, раскрывающие положения, выносимые на защиту**

**4.1. Разработан метод прямого плазмодинамического синтеза карбида кремния на основе импульсного высоковольтного**

**коаксиального магнитоплазменного ускорителя с графитовыми электродами, обеспечивающий получение в гиперскоростной струе электроразрядной плазмы ультрадисперсного продукта с монокристаллическим строением частиц.**

– Патент на изобретение № 2559510 РФ. 7F41B 6/00. Способ синтеза нанокристаллического карбида кремния / Сивков А.А., Никитин Д.С., Пак А.Я., Рахматуллин И.А. Заявка № 2014114078. Приор. 09.04.2014.

– Сивков А.А., Никитин Д.С., Пак А.Я., Рахматуллин И.А. Прямой плазмодинамический синтез ультрадисперсного карбида кремния // Письма в журнал технической физики. – 2013. – Т. 39, Вып. 2. – С. 15-20.

– Sivkov A.A., Nikitin D.S., Pak A.Y., Rakhmatullin I.A. Direct plasmadynamic synthesis of ultradisperse silicon carbide // Technical Physics Letters. – 2013. – V. 39(1). – P. 105-107.

– Сивков А.А., Пак А.Я., Никитин Д.С., Рахматуллин И.А., Шаненков И.И. Синтез ультрадисперсных фаз на основе углерода и азота // Нанотехника. – 2012. – № 4(32). – С. 39-44.

– Никитин Д.С., Сивков А.А., Пак А.Я., Рахматуллин И.А. Плазмодинамический синтез нанодисперсного карбида кремния // Международная научная конференция «Плазменные технологии в исследовании, модификации и получения материалов различной физической природы». – Казань: Изд-во КНИТУ, 2012 – С. 339-34.

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

– Сивков А.А., Никитин Д.С., Пак А.Я., Рахматуллин И.А. Влияние энергетики плазмодинамического синтеза в системе Si-C на фазовый состав и дисперсность продукта // Российские нанотехнологии. – 2015. – Т. 10, № 1-2. – С. 34-39.

– Сивков А.А., Никитин Д.С., Пак А.Я., Рахматуллин И.А. Ультрадисперсный карбид кремния: плазмодинамический синтез и управление характеристиками продукта // Химическая технология. – 2015. – № 6. – С. 321-325.

– Никитин Д.С., Сивков А.А. Плазмодинамический синтез нанодисперсного карбида кремния и управление характеристиками продукта // Известия вузов. Физика. – 2014. – Т. 57. – № 12/3. – С. 299-303.

– Никитин Д.С., Сивков А.А. Плазмодинамический синтез нанодисперсного карбида кремния и возможность изменения характеристик продукта // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2013. – № 3(25). – С. 80-82.

– Никитин Д.С., Сивков А.А., Пак А.Я., Рахматуллин И.А. Плазмодинамический синтез нанодисперсного карбида кремния и влияние уровня энергии на характеристики продукта синтеза // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15, № 24. – С. 65-67.

– Никитин Д.С., Сивков А.А., Пак А.Я., Рахматуллин И.А. Влияние энергетических параметров процесса плазмодинамического синтеза в системе Si-C на характеристики ультрадисперсного продукта [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6. – С. 1-4. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/106-7761>.

– Sivkov A.A., Nikitin D.S., Pak A.Y., Rakhmatullin I.A. Influence of plasmodynamic synthesis energy in Si-C system on the product phase composition and dispersion. – 2015. – Nanotechnologies in Russia. – V. 10(1-2). – P. 34-41.

**4.3. Определен характер влияния параметров состояния внешней газообразной среды на фазовый состав, параметры кристаллической структуры, морфологию и размеры частиц порошка карбида кремния, формирующихся при высокоскоростном распылении материала плазменной струи.**

– Sivkov A.A., Nikitin D.S., Pak A.Y., Rakhmatullin I.A. Production of ultradispersed crystalline silicon carbide by plasmodynamic synthesis // Journal of Superhard Materials. – 2013. – V. 35(3). – P. 137-142.

– Никитин Д.С., Сивков А.А. Плазмодинамический синтез нанодисперсного карбида кремния и возможность изменения характеристик продукта // Физическое материаловедение: сборник материалов VI Международной школы с элементами научной школы для молодежи. – Тольятти: ТГУ, 2013. – С. 66-68.

– Насырбаев А.Р., Погорелова С.О., Никитин Д.С. Зависимость состава продукта плазмодинамического синтеза в системе Si-C от давления среды

камеры-реактора // Современные технологии и материалы новых поколений: сборник трудов Международной конференции с элементами научной школы для молодежи. – Томск: Изд-во ТПУ, 2017. – С. 324-325.

– Sivkov A.A., Nassyrbayev A.R., Pogorelova S.O., Nikitin D.S. Plasmadynamic synthesis in the Si-C-N-O system // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – V. 1115, I. 3. – P. 032091.

**4.4. Получена высокоплотная ( $\rho = 98,5 \%$ ) субмикронная керамика с высокими физико-механическими свойствами, отличающаяся высокой твердостью ( $H = 25,9$  ГПа)**

– Sivkov A., Nikitin D., Shanenkov I., Ivashutenko A., Rakhmatullin I., Nassyrbayev A. Optimization of plasma dynamic synthesis of ultradispersed silicon carbide and obtaining SPS ceramics on its basis // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. – 2019. – V. 79. – P. 123-130.

– Sivkov A., Gerasimov D., Evdokimov A., Rakhmatullin I., Nikitin D. Spark plasma sintering of ceramics based on silicon nitride and titanium nitride // Proceedings – 11th International Forum on Strategic Technology, IFOST. – 2016. – P. 173-177.

– Pogorelova S. O., Nikitin D. S., Shanenkov I. I. Plasmadynamic synthesis of nanodispersed Ti-B phases and obtaining Ti-B ceramics // Интеллектуальные энергосистемы труды V Международного молодёжного форума. – 2017. – Т. 2. – С. 209-211.

### **Заключение**

Тема и содержания диссертационной работы Никитина Дмитрия Сергеевича на тему «Плазмодинамический синтез ультрадисперсного карбида кремния» соответствуют научной специальности 05.09.02 – «Электротехнические материалы и изделия». Материалы диссертации в полной мере изложены в работах, опубликованных соискателем ученой степени. Выполнены требования к публикациям основных научных результатов диссертационной работы, предусмотренные пунктами 10 и 11 Порядка присуждения ученых степеней, утвержденного приказом Национального исследовательского Томского политехнического университета от 6 декабря 2018 г. № 93/од. В диссертации отсутствуют материалы, заимствованные без ссылки на авторов и источники

заимствования, результаты научных работ, выполненных соискателем ученой степени в соавторстве, без ссылок на соавторов.

На основании вышеизложенного комиссия считает возможным принять диссертацию Никитина Дмитрия Сергеевича «Плазмодинамический синтез ультрадисперсного карбида кремния» к защите в совете ДС.ТПУ.11 на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.02 – «Электротехнические материалы и изделия».

Председатель комиссии

Профессор Отделения

электроэнергетики и электротехники

Инженерной школы энергетики

Национального исследовательского

Томского политехнического университета,

д.т.н.

В.М. Завьялов

Члены комиссии:

Ведущий научный сотрудник

Инженерной школы новых

производственных технологий

Национального исследовательского

Томского политехнического университета,

д.т.н.

С.М. Лебедев

Доцент Отделения

электроэнергетики и электротехники

Национального исследовательского

Томского политехнического университета,

к.т.н.

А.П. Леонов

Профессор Отделения

электроэнергетики и электротехники

Национального исследовательского

Томского политехнического университета,

д.т.н., с.н.с.

А.А. Сивков