

ОТЗЫВ
официального оппонента Крутского Юрия Леонидовича
на диссертацию **Павлова Александра Викторовича**
«Синтез и исследование свойств бериллиевой керамики, модифицированной
частицами диоксида титана», представленную на соискание учёной степени
кандидата технических наук
по специальности 2.6.5 – Порошковая металлургия и композиционные
материалы

Актуальность темы диссертации

В настоящее время усилия большинства ученых сконцентрированы на исследованиях структуры и электрофизических высокотемпературных керамик, модифицированных наночастицами. Высокий интерес, проявляемый к композиционной BeO-керамике с введенными примесями вызван потребностями новых областей специального приборостроения в разработке современных систем дальней связи, радиолокации и навигации, широкополосных систем специального назначения. Улучшение функциональных характеристик оксидно-бериллиевой керамики, расширение сферы ее применения в различных областях современной электронной техники возможны за счет ее модификации специальными добавками. В результате спекания в восстановительной водородной среде оксидно-бериллиевой керамики с добавкой микропорошков диоксида титана происходит увеличение ее плотности и электропроводности, появляется способность к поглощению электромагнитного излучения в широком частотном диапазоне. Наиболее эффективным является состав, в котором массовое содержание диоксида титана в керамике из оксида бериллия составляет 30 мас. %. Электрофизические свойства этой керамики могут быть улучшены. В настоящем научном исследовании показано, что способность к поглощению электромагнитных волн зависит от соотношения компонентов (BeO и TiO₂), размера частиц и степени восстановления, что позволяет улучшать электрофизические свойства и тем самым эксплуатационные характеристики керамики. Система (BeO + TiO₂) активно исследуется многими учеными, однако об исследованиях влияния диоксида титана на свойства бериллиевой керамики сведений в литературе очень мало. Публикации по влиянию наночастиц диоксида титана на физико-химические процессы физико-механические и импедансные характеристики механической смеси оксидов бериллия и титана до настоящего времени не

найдены, что может быть связано с уникальностью производства бериллиевой керамики, требующего специализированного оборудования и особых условий безопасности при работе с порошком оксида берилля. В настоящее время производство керамики на основе оксида берилля в России не налажено, поэтому анализ и актуализация знаний по ключевым технологическим переделам промышленного производства изделий с использованием этого стратегически важного материала представляется весьма значимой.

В связи с этим автор мотивированно выбрал **цель исследования**, заключающуюся в разработке технологии получения керамики на основе микропорошка оксида берилля с добавками микро- и нанопорошков диоксида титана и изучению физико-химических основ этих процессов. Для достижения этой цели поставлены следующие задачи.

1. Разработка способов введения наночастиц TiO_2 в микронную матрицу на основе микропорошков BeO и TiO_2 на основе исследований свойств компонентов шихты.

2. Исследование физико-химических процессов спекания керамики ($BeO + TiO_2$) с добавкой наночастиц TiO_2 от 0,1 до 2,0 масс. %.

3. Исследование влияния добавок наночастиц TiO_2 на структуру, физико-механические и электрофизические свойства керамики ($BeO + TiO_2$).

4. Обоснование теоретических и экспериментальных предпосылок для разработки технологических процессов создания нового материала на основе микропорошков BeO и TiO_2 с добавкой наночастиц TiO_2 , обладающего улучшенными электрофизическими свойствами.

Основная идея диссертации заключается в разработке технологии получения качественной керамики на основе оксида берилля (промышленное производство такой керамики в России не налажено) и изучения ее эксплуатационных характеристик. Идея добавления наночастиц TiO_2 в шихту для изготовления керамики ($BeO + TiO_2$) является оригинальной.

Наиболее значимыми результатами диссертации следует признать технологические решения, способствующие получению керамики на основе микропорошка оксида берилля с добавками микро- и нанопорошка диоксида титана, обладающие повышенной твердостью, плотностью, механической прочностью, электропроводностью и способностью поглощать электромагнитное излучение.

Новыми научными результатами, полученными автором, являются.

1. Установлено, что введение наночастиц TiO_2 в количестве от 0,1 до 2,0 масс. % приводит к изменению физических свойств шихты и реологических свойств термопластичных шликеров состава $BeO_{(MCM)} + TiO_{2(MCM)} + TiO_{2(\text{нано})}$.

2. Изучены закономерности массопереноса и формирования микроструктуры в ходе спекания системы ($BeO + TiO_2$), модифицированной наночастицами TiO_2 от 0,1 до 2,0 масс. %.

3. Установлено, что введение наночастиц TiO_2 приводит к повышению диффузионной подвижности TiO_2 по межфазным границам и частичному заполнению пор, снижению пористости и повышению плотности, микротвердости, механической прочности керамики.

4. Показано, что при введении наночастиц TiO_2 изменяются электрофизические свойства керамики.

5. Показано, что повышение температуры спекания синтезированной керамики на 30 °C приводит к частичной трансформации кристаллической структуры TiO_2 в электропроводящее соединение Ti_3O_5 .

6. Предложена модель трансформации кристаллической структуры BeO в икосаэдрическую форму с изменением плотности электронных состояний и появлению ферромагнетизма.

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием современных методов физико-химического анализа: рентгенофазовый анализ, метод определения удельной поверхности «Козени и Карман», растровая электронная микроскопия, методы определения вязкости, текучести, влажности, литейной способности термопластичного шликера, кажущейся плотности, микротвердости, а также разрушающие методы. Изучался также магнитный гистерезис.

Диссертация состоит из 148 страниц, включает 69 рисунков, 24 таблицы и содержит два приложения; список литературы включает 158 наименований.

По теме диссертации опубликовано 20 работ, в том числе восемь публикаций в периодических изданиях, рекомендованных ВАК, шесть публикаций в журналах, входящих в базы цитирования Web of Science и Scopus; опубликовано восемь докладов по итогам участия в научных семинарах и конференциях, получен патент на изобретение.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость работы заключается в создании научных

основ технологии получения керамики ($\text{BeO} + \text{TiO}_2$), модифицированной наночастицами TiO_2 включающих способ введения и равномерного распределения наночастиц TiO_2 в микронной матрице порошков BeO и TiO_2 , повышение температуры спекания керамики и трансформации кристаллической структуры TiO_2 в электропроводящее соединение Ti_3O_5 , увеличение физико-механических и электрических свойств синтезируемой керамики. Предложена новая закономерность поглощения электромагнитного излучения в присутствии слабого магнитного поля.

На основе установленных закономерностей разработана технология изготовления керамики ($\text{BeO} + \text{TiO}_2$) с добавкой наночастиц TiO_2 , рекомендованы режимы получения материала с заданными ихарактеристиками и свойствами, проведены опытно-промышленные испытания.

Выдан патент республики Казахстан № 34648 «Способ получения электропроводной керамики на основе оксида берилля с добавкой наночастиц диоксида титана» и получен акт внедрения результатов диссертационной работы на предприятии ТОО «ПФ BEST»».

Замечания.

1. На стр. 66 есть предложение: «Если напустить атмосферу в печь при более высокой температуре, велика вероятность окисления $\text{TiO}_2\dots$ ». Диоксид титана TiO_2 не может окисляться, так как это высший оксид титана.

2. В главе 2 приведены сведения о величине удельной поверхности порошка оксида берилля и микропорошка диоксида титана. Также на рисунке 2.1 приведен гранулометрический состав порошка оксида берилля. Аналогичная информация по микропорошку диоксида титана отсутствует. Вместе с тем на основе информации, приведенной в статье: (Blott, S. J. Gradistat: A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments / S. J. Blott, K. Pye. // Earth Surface Processes and Landforms. – 2001. – Vol. 26. – P. 1237–1248.) можно выполнять количественный седиментационный анализ порошков, включающий определение среднего размера частиц, стандартное отклонение и показатель асимметричности кривой распределения по размерам.

3. На стр. 67 и 68 написано: ...так как после операции выжига связки испарившаяся органика оставляет после себя дефекты.....». Термины «выжиг» и «испарение» являются разными по смыслу.

4. В таблице 3.8 приведены данные о механической прочности керамики. В ГОСТ 24409-80 «Материалы керамические электротехнические.

Методы испытаний» указывается, что для керамических образцов определяются пределы прочности при растяжении, на изгиб и на сжатие. Непонятно, какой из видов этих испытаний имел в виду автор.

Эти замечания не снижают высокое качество работы.

Общее заключение по диссертации:

Диссертация Павлова Александра Викторовича «Синтез и исследование свойств бериллиевой керамики, модифицированной частицами диоксида титана» соответствует специальности 2.6.5 – порошковая металлургия и композиционные материалы, имеет внутреннее единство и является завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные технологические решения по получению качественной керамики на основе микропорошка оксида берилля с добавками микро- и наночастиц диоксида титана, имеющие существенное значение для развития страны.

Диссертация соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» постановления Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, а ее автор Павлов Александр Викторович достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Выражаю свое согласие на обработку моих персональных данных, связанных с защитой диссертации.

Доцент кафедры химии и химической технологии

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Новосибирский государственный технический университет,

Доктор технических наук, доцент Крутской Юрий Леонидович/

14 апреля 2023 г.

Подпись Крутского Ю.Л. заверяю



Начальник отдела кадров НГТУ

/Пустовалова Ольга Константиновна/

Адрес: 630073, г. Новосибирск пр-т. Карла Маркса, д. 20,
8 (383) 346-06-32, +7-953-882-18-92, krutskii@yandex.ru