

## Отзыв официального оппонента

на диссертационную работу **Топчиёва Анатолия Андреевича**  
**«Влияние модификаторов на диэлектрические свойства и формирование  
структуры керамики на основе цирконата-титаната свинца»,** представленную  
на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по  
специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния

Диссертационная работа Топчиёва Анатолия Андреевича посвящена исследованию роли модифицирующих добавок в пьезоэлектрической керамике на основе цирконата-титаната свинца. Именно такие материалы являются основой промышленного производства сегнетокерамики. Понимание механизмов их поведения в состав керамики в процессе спекания, а также их влияние на сегнетоэлектрические свойства, может быть полезным и в поиске бессвинцовых материалов с оптимальными для практического применения свойствами. Данный подход широко обсуждается в последние годы в современной научной литературе, в связи с поиском альтернативы содержащим свинец материалам, например, системы на основе ниобатов щелочных металлов. Таким образом, следует считать, что тема представленной к защите диссертационной работы Топчиёва Анатолия Андреевича является **актуальной и практически значимой**.

Диссертация состоит из введения и четырех глав, включает обзор литературы (глава 1); содержит описание методики исследования и теоретических основ анализа и обработки результатов (глава 2); изложение основных экспериментальных результатов исследования и их анализ (главы 3 и 4); заключение (выводы) и список цитируемой литературы, включающий 115 наименования. Диссертация изложена на 131 страницах, включает 81 рисунок и 19 таблиц.

*Во введении* автором обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи работы, описаны научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, выносимые на защиту научные достижения, перечислены объекты и методы исследования, выделен **личный вклад** автора. Сформулированные цель и задачи работы отвечают **критериям новизны**,

*Первая глава* представляет собой обзор литературных источников с

подробным описанием особенностей микроструктуры поликристаллических твердых растворов и свойств керамики цирконата-титаната свинца. Он отражает современные основные идеи и тенденции, имеющие непосредственное отношение к работе. Особое место в обзоре занимает рассмотрение способов металлизации образцов пьезоэлектрических керамик, используемых автором в основной части диссертации, что необходимо для сравнительного анализа свойств пьезокерамических образцов, с различным способом нанесения электродов. Проведено подробное сравнение метода промышленной металлизации с развиваемым в последнее время методом СВЧ–металлизации.

**Вторая глава** диссертации содержит описание методов исследований структуры керамики, используемых в работе – методы растровой электронной и атомно-силовой микроскопии. Особое внимание уделяется таким возможностям электронного микроскопа, как определение элементного состава, поскольку именно эти исследования лежат в основе большинства выводов диссертации. Подробно обсуждаются методы исследования и анализа дисперсии диэлектрической проницаемости, что актуально для оценки пьезокерамических образцов с точки зрения практического применения. В конце главы перечислены исследуемые в диссертации промышленные составы керамик цирконата–титаната свинца, представлен технологический регламент спекания образцов, согласно которому проводились исследования влияния температуры спекания на особенности вхождения модифицирующих добавок в состав образцов.

Основные результаты работы и их обсуждение представлены в **третьей** и **четвертых** главах диссертации.

**Третья глава** диссертации А.А. Топчиёва посвящена анализу влияния модификаторов на структурные особенности промышленных составов керамики ЦТС, особое внимание уделено исследованию равномерности их распределения в объеме образцов. К общим закономерностям, полученным в результате исследований, следует отнести нарушение отношения кислород/свинец, по сравнению с химической формулой, а также отсутствие ряда элементов модифицирующих добавок, или их присутствие только в отдельных зернах готовых образцов.

В этой же главе подробно рассмотрен вопрос по выявлению влияния способа

металлизации образцов пьезоэлектрической керамики ЦТС на ее диэлектрические свойства и особенности структуры зерен. Здесь интересными для практического использования представляются два результата: отсутствие атомов серебра от электродов в межзеренном пространстве в поверхностном слое образцов керамики и независимость низкочастотных диэлектрических характеристик от способа металлизации, не смотря на разогрев поверхностного слоя образца в процессе СВЧ-металлизации.

Для проверки особенностей поведения модифицирующих добавок в процессе спекания образцов керамики были поставлены специальные эксперименты, которым посвящена *четвертая глава* диссертации.

В данной главе автором проведены исследования и сравнительный анализ физических свойств образцов сегнетоэлектрической керамики системы цирконат-титанат свинца (ЦТС-46), спеченных при различных температурах. При этом оказалось, что модифицирующие добавки присутствуют в образцах, спеченных при температурах более чем на 50 градусов ниже промышленной температуры спекания данного состава, и исчезают (испаряются, по мнению автора диссертации) при спекании при более высоких температурах.

Кроме этих исследований, в четвертой главе представлены результаты показывающие, что основной процесс рекристаллизации зерен начинается на 100 градусов ниже температуре спекания, соответствующей технологическому процессу получения керамики ЦТС-46, и уже при этой температуре в образцах формируется сегнетоэлектрическое состояние, что подтверждают исследования доменной структуры в зернах.

Интересным, с точки зрения практики, результатом этой главе следует признать обнаруженный А.А. Топчиёвым факт, что модифицирующие добавки не распределены по поверхности равномерно, а концентрируются в отдельные структуры, у которых отсутствуют сегнетоэлектрические свойства.

Последний раздел диссертации посвящён описанию наиболее важных результатов и формулировке основных выводов.

Материалы третьей и четвертой глав взаимно дополняют друг друга, что отражено в положениях, выносимых на защиту, и, соответственно выводов по диссертации. Основной итог третьей и четвертой глав отражен в первом положении,

а именно, что большинство модифицирующих добавок испаряются в процессе спекания, но, тем не менее, их присутствие в заготовке влияет на конечные свойства пьезоэлектрической керамики.

Диссертационная работа, к сожалению, имеет ряд замечаний:

1. Имеется ряд грамматических ошибок, так диссертант пишет термин «цирконат-титанат свинца», то с «тире», то с «дефисом», то, вообще отдельно, далее (страница 51) термин «диаграмма Коула-Коула» автор пишет как с «тире», так и с «дефисом».
2. Наличие в тексте диссертации «научного сленга»: «экспериментальные данные «ложаться» на полуокружность» (страница 50), «сырая пленка» (страница 55), «сильное «спекание» зерен» (страница 58), «толщина «спёка» (страница 76) и т.д.
3. По существу работы, хотелось бы сделать следующее замечание – в работе недостаточно уделено внимание теоретическому обобщению, полученных экспериментальных результатов, что, естественно, затрудняет их практическое использование.

Указанные выше замечания не снижают положительную оценку диссертации.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертационная работа А.А. Топчиёва является завершённой квалификационной работой, в ней получены ценные в научном и прикладном отношении результаты, и по ним сделаны вполне обоснованные выводы. **Достоверность** результатов и **обоснованность выводов** диссертации, обеспечена хорошим научно-методическим уровнем проведенных исследований – применением современных методов получения и анализа экспериментальных данных.

Основные результаты работы опубликованы в 9 статьях, в том числе в 3-х статьях в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК. Результаты работы доложены на 10 всероссийских и международных научных конференциях. Публикации достаточно полно отражают содержание диссертации. Автореферат отражает содержание диссертации. Диссертационная работа по объему решенных задач, актуальности, достоверности, научной новизне и практической значимости отвечает критериям «Положения о присуждении ученых степеней» (п.п. 9-14) утвержденного постановлением Российской Федерации № 842 от 24.09. 2013г. и

соответствует паспорту специальности «Физика конденсированного состояния», а ее автор, Топчиёв Анатолий Андреевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

Согласен на обработку персональных данных.

Официальный оппонент  
Главный научный сотрудник  
отдела Разработок и исследований  
микро- и наносистем  
Федерального государственного бюджетного  
учреждения науки  
Институт нанотехнологий микроэлектроники  
Российской академии наук  
д.ф.-м.н., профессор, профессор РАН

/ В.Б. Яковлев/

Адрес: г. Москва, Нагатинская ул., 16а,  
стр. 11, ФГБУН ИНМЭ РАН

27.10.2021

e-mail: [yakvb@mail.ru](mailto:yakvb@mail.ru)

телефон: +7 916 1288169

Подпись Виктора Борисовича Яковлева заверяю.

Заместитель директора ИНМЭ РАН по научной работе

А.А.Павлов