

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Али Майс «Особенности диэлектрических свойств сегнетоэлектрической керамики ниобата натрия», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния

Диссертация Али Майс «Особенности диэлектрических свойств сегнетоэлектрической керамики ниобата натрия» посвящена комплексному исследованию структуры и сегнетоэлектрических свойств керамики ниобата натрия. Керамика данного состава занимает особое место среди соединений кислородно-октаэдрического типа, широко исследуемых и находящихся в последнее время все большее применение. Переключение спонтанной поляризации внешним электрическим полем используется для создания энергонезависимых запоминающих устройств; высокая диэлектрическая проницаемость – для конденсаторных элементов запоминающих устройств с произвольной выборкой в СВЧ интегральных микросхемах; пироэлектрическая активность — для создания неохлаждаемых матричных приемников ИК-излучения. Таким образом, тема представленной к защите диссертационной работы Али Майс, является **актуальной и практически значимой** в поиске новых функциональных материалов с особыми электрическими свойствами

Цель диссертационной работы: нахождение условий создания образцов бессвинцовых керамических материалов ниобата натрия, обладающих сегнетоэлектрическими свойствами.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Работа содержит 138 страниц основного текста, 70 рисунков, 11 таблиц, список литературы из 173 наименований.

Во введении дана общая характеристика работы, обоснована актуальность темы, определена цель исследований, поставлены задачи работы. Показана научная новизна и практическая значимость полученных результатов. Сформулированы основные научные положения, выносимые на защиту. Приведены сведения об апробации работы, публикациях по теме диссертации, личном вкладе автора, структуре и объеме работы.

Первая глава посвящена обзору литературы. Рассмотрены общие сведения о сегнетоэлектричестве. Приведен обзор имеющихся в литературе исследований ниобата натрия, а также физических характеристик материалов

на его основе. Подробно рассмотрены возможные кристаллические структуры и соответствующие структурные фазовые переходы материала ниобата натрия.

Во второй главе рассмотрены технологии получения керамики и методы исследования. Описан общий подход к производству ниобатов щелочных и щелочноземельных металлов методом твердофазного синтеза, а также дается информация об используемых в работе современных экспериментальных методиках по исследованию структуры – сканирующей зондовой микроскопии, в частности силовой микроскопии пьезоэлектрического отклика (PFM) и растровой электронной микроскопии (РЭМ); диэлектрических свойств – метод диэлектрической спектроскопии, метод макроскопического исследования петель диэлектрического гистерезиса и метод динамического пироэлектрического эффекта.

В третьей и четвертой главах диссертации представлены основные результаты работы и их обсуждение.

Глава 3 посвящена исследованию структуры и диэлектрических свойств образцов NN700-700, спеченных при температурах от 700 до 1400 °С. Методом РЭМ показано, что уплотнение частиц порошка и рост зерен происходит в температурном интервале от 700 до 1100 °С. Результаты сканирующей зондовой микроскопии в режиме PFM показали наличие доменной структуры в зернах керамики NN700-700, спеченной при температуре 1400 °С. На основании проведенных исследований температурных и частотных зависимостей диэлектрической проницаемости, сделан вывод, что образец керамики NN700-700, спеченный при 1100 °С, не уступает по своим структурным свойствам образцу, спеченному при 1400 °С, а по величине диэлектрической проницаемости даже его превосходит.

В главе 4 представлены исследования свойств керамик ниобата натрия, спеченных при температуре 1100 °С, при этом материал NN синтезировался по трем разным технологиям. Методом СЭМ установлено, что исключение повторного синтеза привело к достаточно сильному укрупнению зерен керамики NaNbO_3 . Получены изображения доменной структуры свежевывращенной керамики, получены петли диэлектрического гистерезиса в зависимости от температуры измерения. Уделяется большое внимание исследованию комплексной диэлектрической проницаемости в широком частотном и температурном интервалах. Раздел 4.2.3 диссертации посвящен температурным и частотным исследованиям проводимости и ее влиянию на процессы переключения. В последнем разделе главы 4 проанализированы пироэлектрические характеристики синтезируемых керамик.

В конце диссертации сформулированы **основные выводы** по диссертационной работе.

Автореферат отражает все основные результаты, приведенные в диссертационной работе. Основные результаты работы опубликованы в 5-ти статьях в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК. Результаты работы доложены на 4 всероссийских и международных научных конференциях. Публикации достаточно полно отражают содержание диссертации.

Замечания по диссертации и автореферату:

- 1) на рис. 4.3 (б и в) отсутствуют обозначения фаз, как это сделано на рис. 4.3(а);
- 2) по представленным петлям диэлектрического гистерезиса – рис. 4.11–4.13 было бы более наглядным построить графики зависимости значений поляризации и коэрцитивного поля от температуры;
- 3) на рисунке 4.27 диссертации и рисунке 11 автореферата по оси ординат введены странные обозначения наиболее вероятного времени релаксации;
- 4) наблюдался ли пьезоэлектрический отклик в керамиках без их предварительной поляризации во внешнем электрическом поле? Судя по результатам PFM в керамиках наблюдался хороший сигнал пьезоэлектрического отклика, свидетельствующий о наличии так называемой as-grown доменной структуре, а, следовательно, должно присутствовать самополяризованное состояние. Кроме того, по петлям диэлектрического гистерезиса можно наблюдать их асимметрию по оси абсцисс, что говорит о наличии внутреннего встроенного поля.

Замечания к работе имеют рекомендательный характер и не влияют на высокую оценку диссертационной работы Али Майс.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертационная работа М. Али 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.

Считаю, что по актуальности, научной новизне, объему проведенных исследований и практической значимости диссертационная работа Али Майс

«Особенности диэлектрических свойств сегнетоэлектрической керамики ниобата натрия» отвечает критериям «Положения о присуждении ученых степеней» (п.п. 9-14) утвержденного постановлением Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г., и соответствует паспорту специальности «Физика конденсированного состояния», а её автор Али Майс заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Согласен на обработку персональных данных.

PhD, кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией Физики оксидных сегнетоэлектриков кафедры Материаловедения полупроводников и диэлектриков НИТУ МИСИС
119049, Москва, Ленинский пр, д. 4, стр. 1
Тел.: +7-(495)-955-01-51
E-mail: dm.kiselev@misis.ru

Киселев
Дмитрий Александрович

04 декабря 2023 г.