

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации Попова Ивана Ивановича «Акустическая и диэлектрическая релаксация в твердых растворах титаната бария-стронция», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния

В последние десятилетия большой научный интерес вызывают исследования сегнетоэлектрических релаксоров (сегнетоэлектриков с сильно размытым фазовым переходом). С одной стороны, этот интерес связан с возможностью получения новых материалов с необычными свойствами по сравнению с классическими сегнетоэлектриками, а с другой – с их практическим применением в науке и технике. Необычные свойства релаксоров обусловлены сосуществованием в большом температурном интервале полярных и неполярных областей, а также структурными перестройками, возникающими при изменении внешних воздействий и внутренних параметров. В настоящее время проводимые исследования сегнетоэлектриков с размытым фазовым переходом направлены на получение достоверной информации об эволюции различных физических свойств, наблюдаемой при изменении концентрации компонентов, и на установление связи между этими свойствами и соответствующими изменениями кристаллической структуры. Поэтому диссертация Попова И.И. «Акустическая и диэлектрическая релаксация в твердых растворах титаната бария-стронция» является **актуальной и значимой** как для фундаментальных исследований в области физики твердого тела, так и для практических применений.

Выбор в качестве исследуемых объектов твердых растворов на основе титаната бария вполне оправдан, поскольку BaTiO_3 является модельным перовскитным сегнетоэлектриком и, кроме того, материалы на основе BaTiO_3 находят широкое применение в электронной технике, что позволяет более надежно интерпретировать экспериментальные результаты.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов и списка литературы. Структура диссертации представляется вполне логичной и продуманной с точки зрения последовательного изложения материала от постановки задачи до формулировки выводов.

На основе проведенных соискателем исследований в диссертации представлены **новые результаты**, среди которых особого внимания, на мой взгляд, заслуживают следующие:

- При неизовалентном замещении ионов Ba^{2+} и Sr^{2+} ионами Bi^{3+} в керамическом твердом растворе $Ba_{0,8}Sr_{0,2}TiO_3$ происходит размытие фазового перехода. В отличие от образцов $Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$, в которых температура максимума диэлектрической проницаемости заметно не изменяется от частоты измерительного поля вплоть до $x = 0,7$, в $Ba_{0,8}Sr_{0,2}TiO_3$ уже при 6 ат. % Bi наблюдается дисперсия диэлектрической проницаемости, подчиняющаяся закону Фогеля-Фулчера, что характерно для релаксорных сегнетоэлектриков. Предполагается, что основное влияние на размытие фазового перехода и появление релаксорных свойств оказывают вакансии по кислороду, образующиеся из-за необходимости компенсации избыточного заряда трёхвалентного иона примеси Bi^{3+} .

- Анализ температурных зависимостей диэлектрической проницаемости в твёрдом растворе $Ba_{0,8}Sr_{0,2}TiO_3$, легированном висмутом, показал, что модель Исупова-Смоленского и модифицированный закон Кюри-Вейсса согласуются с экспериментальными данными только при температурах выше температуры максимума диэлектрической проницаемости. Во всем интервале температур размытого фазового перехода наилучшим образом экспериментальные зависимости $\epsilon(T)$ описываются статистической моделью в составах с содержанием атомов висмута более 6 ат. %. В рамках данного подхода установлено, что кроссовер перехода от сегнетоэлектрического к релаксорному состоянию наблюдается вблизи 6 ат. % Bi .

- В твердом растворе $\text{Ba}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{TiO}_3$ проведено разделение вкладов флуктуационного и доменного механизмов в механические и диэлектрические потери вблизи температуры Кюри.

Представленные в диссертации результаты достаточно хорошо **обоснованы и достоверны**, поскольку при проведении исследований использовались современные экспериментальные методики и оборудование. Кроме того, интерпретация полученных данных в рамках физических моделей показала качественное, а иногда и количественное согласие с экспериментом.

Основные результаты работы хорошо **апробированы** на всероссийских и международных конференциях и опубликованы в ведущих рецензируемых научных журналах. Автореферат соответствует содержанию и структуре диссертации и адекватно отражает результаты работы.

Вместе с тем по диссертации есть несколько **замечаний**:

- Для получения более общей картины размытия фазового перехода в твердом растворе $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$ измерения диэлектрических свойств было бы лучше провести во всем интервале концентраций: от чистого титаната бария до чистого титаната стронция.

- При расчете функции распределения времен релаксации для твердого раствора $\text{Ba}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{TiO}_3$: 10 ат. % Вi по формуле (3.14) используется температурная зависимость статической диэлектрической проницаемости, при этом не указывается, каким образом эта зависимость была получена.

- При оценке объема критического зародыша для твердого раствора $\text{Ba}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{TiO}_3$ по формуле (4.2) используются значения скачка спонтанной поляризации и модуля упругости для чистого титаната бария, что не совсем корректно.

- В пункте 4.2 представлены временные зависимости внутреннего трения $Q^{-1}(t)$ для твердого раствора $\text{Ba}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{TiO}_3$ при комнатной температуре. Следовало провести измерения $Q^{-1}(t)$ при нескольких температурах в области

размытого пика Q^{-1} , что позволило бы определить энергию активации релаксационного процесса.

Вместе с тем, отмеченные замечания не снижают значимости и научной ценности проведенных автором исследований и не влияют на ее основные выводы и защищаемые положения.

Обобщая вышесказанное, считаю, что диссертация Попова Ивана Ивановича «Акустическая и диэлектрическая релаксация в твердых растворах титаната бария-стронция» является законченной научно-квалификационной работой. Диссертация Попова И.И. по своей актуальности, новизне и совокупности полученных результатов соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, предъявляемым ВАК РФ к диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Доктор физико-математических наук,
профессор кафедры материаловедения
и индустрии наносистем ФГБОУ ВО
«Воронежский государственный
университет»



Даринский Борис Михайлович

06.02.2023 г.

394018, г. Воронеж,
Университетская площадь, 1
Тел. +7 800 301 1332
e-mail: darinskii@mail.ru

