

УДК 537.662

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СМЕСЕВЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ $\text{BaTiO}_3\text{--SrTiO}_3$

© 2023 г. Ф. Д. Аль Джаафари¹, Л. Н. Коротков²*, Н. А. Толстых²,
Н. А. Емельянов³, М. А. Панкова⁴, С. В. Попов⁵

¹Васитский университет, Аль-Кут, Ирак

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
“Воронежский государственный технический университет”, Воронеж, Россия

³Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
“Курский государственный технический университет”, Курск, Россия

⁴Федеральное государственное казенное образовательное учреждение высшего образования
“Воронежский институт Министерства внутренних дел Российской Федерации”, Воронеж, Россия

⁵Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования
Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил “Военно-воздушная академия
имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина”, Воронеж, Россия

*E-mail: l_korotkov@mail.ru

Поступила в редакцию 14.04.2023 г.

После доработки 15.05.2023 г.

Принята к публикации 29.05.2023 г.

В диапазоне температур 100–500 К изучены диэлектрические свойства смесевых наноконкомпозитов $(1-x)\text{BaTiO}_3\text{--}x\text{SrTiO}_3$ ($x=0.0; 0.25; 0.50; 0.75$ и 1.00), полученных спеканием исходных компонент при температуре 1273 К в течение 5 ч. Рентгенофазный анализ, проведенный при комнатной температуре, показал, что композиты образованы кристаллитами BaTiO_3 ($P4mm$) и SrTiO_3 ($Pm-3m$) и не содержат твердых растворов $\text{Ba}_{(1-x)}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$. Обнаружено снижение температур фазовых переходов $Amm2 \rightarrow P4mm \rightarrow Pm-3m$ в частицах титаната бария с увеличением концентрации SrTiO_3 в композите.

DOI: 10.31857/S0367676523702228, EDN: VYCPWS

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы значительно возрос интерес к ультрадисперсным сегнетоэлектрикам. Это вызвано потенциальными возможностями их практического применения в технике СВЧ, в микросистемной технике, в приборах электронной памяти и других устройствах.

Вместе с тем уже на начальной стадии изучения наноразмерных сегнетоэлектриков было обнаружено, что их физические свойства существенно отличаются от свойств тех же соединений в объемном состоянии. Геометрические размеры, форма, дефекты кристаллической решетки и другие факторы, зависящие от технологии получения наночастиц, оказывают сильное влияние на электрические, диэлектрические и магнитные свойства этих материалов [1]. В частности, было выявлено, что взаимодействие наноразмерных сегнетоэлектриков с подложкой, в случае тонких пленок, или с другими компонентами композита, обуславливает заметное изменение их физических свойств, включая смещение температур структурных фазовых переходов [2–6]. Это связано с тем, что для наноструктурированных материалов возрастает вклад поверхности частиц в свободную энергию, на величину

которой оказывают большое влияние химическое, упругое, или электростатическое взаимодействия между компонентами системы.

Практический интерес представляют смесевые наноконкомпозиты типа $(1-x)\text{BaTiO}_3\text{--}x\text{SrTiO}_3$. Оба компонента которых давно используются в электронной технике и достаточно хорошо изучены [7]. Последнее облегчает интерпретацию полученных экспериментальных результатов.

Титанат бария (BaTiO_3) – модельный сегнетоэлектрик, параэлектрическая фаза которого имеет простую кубическую решетку $Pm-3m$. Тетрагональная сегнетоэлектрическая фаза ($P4mm$) реализуется ниже температуры Кюри $T_C \approx 400$ К и остается стабильной вплоть до температуры $T_1 \approx 278$ К, ниже которой происходит переход в орторомбическую фазу $Amm2$, также являющуюся сегнетоэлектрической. При температуре $T_2 \approx 183$ К титанат бария претерпевает переход в сегнетоэлектрическую ромбоэдрическую фазу $R3m$ [7].

Титанат стронция (SrTiO_3) – виртуальный сегнетоэлектрик. При температуре при $T_C \approx 110$ К он переходит из кубической ($Pm-3m$) в тетрагональную сегнетоэластическую фазу ($I4/mcm$). В чистом SrTiO_3

сегнетоэлектрический фазовый переход не реализуется из-за сильных квантовых флуктуаций, однако он может быть индуцирован введением небольшой концентрации примесных атомов [7].

Целью данного исследования является экспериментальное установление характера влияния соотношения компонент на диэлектрические свойства смешанного композита на основе наногранулированных соединений BaTiO_3 и SrTiO_3 .

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Наночастицы BaTiO_3 со средними размерами 100–400 нм были получены размолом синтезированного по керамической технологии титаната бария в планетарной мельнице. В качестве исходных компонентов использовали BaCO_3 и TiO_2 марки “ЧДА”. Оксид титана представлял собой смесь кристаллитов с решеткой рутила (около 30%) и анатаза (около 70%). Твердофазный синтез осуществляли в атмосфере воздуха при температуре 1300°C в течение 2 ч.



Рентгенофазный анализ, проведенный при комнатной температуре, показал, что синтезированный материал является титанатом бария с тетрагональной кристаллической решеткой ($P4mm$). Полученный материал механически перемалывали в планетарной мельнице “DECO-PBM-V-OUL” с использованием стаканов и шаров из оксида циркония в течение 6 часов. Согласно данным рентгеновской дифракции, после помола титанат бария сохранял тетрагональную фазу.

В качестве второго компонента использовался коммерчески доступный порошок наночастиц SrTiO_3 (Sigma Aldrich) со средним размером частиц 100 нм.

Указанные компоненты были тщательно перемешаны в заданных пропорциях, затем спрессованы в виде дисков диаметром 10 и толщиной 1 мм и подвержены спеканию при температуре 1000°C в течение 5 ч. Таким образом, были получены образцы смешанных композитов $(1-x)\text{BaTiO}_3-x\text{SrTiO}_3$ с концентрациями $x = 0.0; 0.25; 0.50; 0.75$ и 1.00 .

Помимо этого, для сравнительных экспериментов был приготовлен композит $[0.5\text{BaTiO}_3-0.5\text{SrTiO}_3]$, исходными компонентами которого служили BaTiO_3 и SrTiO_3 , синтезированные по обычной керамической технологии. Квадратные скобки здесь использованы для того, чтобы отличать данный композит от композиционных материалов, приготовленных с применением коммерческого титаната стронция.

Для синтеза SrTiO_3 использовали SrCO_3 и TiO_2 марки “ЧДА”. Синтез проводили при температуре 1300°C, после чего материал перемалывали в планетарной мельнице в тех же условиях, что и

титанат бария. Спекание композиционного материала $[0.5\text{BaTiO}_3-0.5\text{SrTiO}_3]$, проводили при температуре 900°C в течение 1 ч.

Исследования структуры полученных образцов были выполнены методом порошковой рентгеновской дифракции при температуре около 27°C с использованием дифрактометра “Bruker D2 Phaser” ($\text{CuK}\alpha_1$ -излучение).

ИК-спектры поглощения исходных порошков BaTiO_3 и SrTiO_3 , а также композитов на их основе, регистрировались с помощью ИК-Фурье спектрометра Nicolet iS-50 (ThermoFisher) в режиме пропускания. Для этого навески образцов перемешивались с KBr в массовом соотношении 1 : 100 и спрессовывались в виде дисков ручным прессом.

Температурные зависимости диэлектрической проницаемости в интервале 110–475 К были измерены с помощью экспериментальной установки на основе измерителя иммитанса E7-20. Перед измерениями на большие поверхности образцов наносили токопроводящую пасту, которая после высыхания образовывала электроды. Образцы устанавливали во встроенную в криостат измерительную ячейку, содержащую платиновый термометр сопротивления, позволяющий контролировать температуру образца с погрешностью, не превышающей ± 0.2 К. В ходе эксперимента температура измерительной ячейки изменялась в пределах 100–500 К. Измерения проводили в ходе нагрева со скоростью 2–3 К/мин. Погрешность измерения диэлектрической проницаемости не превышала 3%.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ рентгеновских дифрактограмм, полученных для образцов смешанных композитов с $x = 0.25$ и 0.50 , показал образование кубической фазы $m3m$ для титаната стронция и тетрагональной фазы $4mm$ для титаната бария. Наряду с этим, признаков формирования других фаз, а также твердого раствора $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$ не было выявлено. Это видно из рис. 1, на котором изображена рентгенограмма образца смешанного композита $0.50\text{BaTiO}_3-0.50\text{SrTiO}_3$.

В ИК-спектрах (рис. 2) для исходных наночастиц BaTiO_3 и SrTiO_3 присутствует широкая полоса в области 1630 см^{-1} , обусловленная адсорбированной водой. Отчетливый пик в районе 1450 см^{-1} свидетельствует о наличии карбоксильных групп на поверхности частиц. Причем, судя по интенсивности, наибольшее их количество локализовано на частицах коммерческого титаната стронция. Пик, регистрируемый около 858 см^{-1} , обусловлен присутствием соединений BaCO_3 и SrCO_3 в ромбической кристаллической структуре арагонита [8]. Для композита $0.50\text{BaTiO}_3-0.50\text{SrTiO}_3$ наблюдается значительное снижение интенсивности всех перечисленных выше пиков. Наряду с этим формируются линии

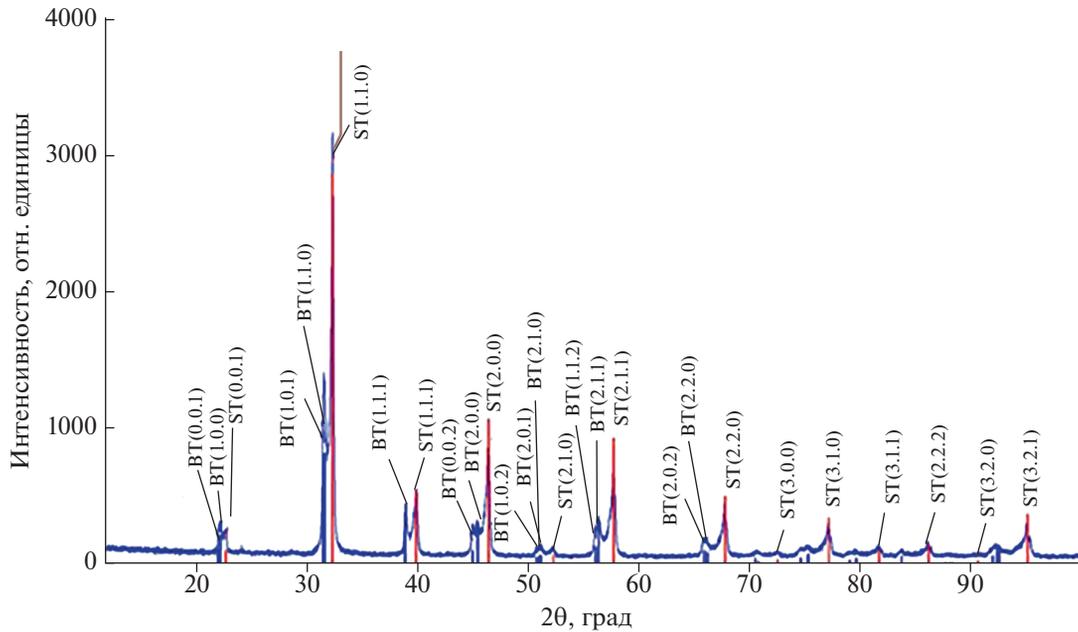


Рис. 1. Рентгенограмма образца смешанного композита $0.50\text{BaTiO}_3-0.50\text{SrTiO}_3$, спеченного в течение 5 ч при температуре 1000°C .

поглощения вблизи 1260 , 1105 и 1020 см^{-1} , а также в окрестностях 800 см^{-1} . Первая группа линий индицирует образование карбоната бария, линия около 800 см^{-1} — карбоната стронция, кристаллизовавшихся в фазе кальцита.

Переход карбонатов бария и стронция из фазы арагонита в фазу кальцита в ходе термической обработки в воздушной атмосфере характерен для этих соединений [9].

Температурные зависимости диэлектрической проницаемости образцов исследуемых композитов представлены на рис. 3. В случае нанокристаллического

BaTiO_3 , на зависимости $\epsilon(T)$, присутствуют два максимума. Первый вблизи температуры $T_1 \approx 296\text{ К}$ связан со структурным фазовым переходом между двумя сегнетоэлектрическими фазами: орторомбической $Amm2$ и тетрагональной $P4mm$. Максимум ϵ в окрестностях температуры $T_C \approx 401\text{ К}$ соответствует фазовому переходу из тетрагональной сегнетоэлектрической $P4mm$ в параэлектрическую кубическую фазу $Pm-3m$.

Характерный максимум ϵ , связанный с переходом между ромбоэдрической $R3m$ и орторомбической $Amm2$ фазами, реализующимся в массивном BaTiO_3 при температуре $T_2 \approx 183\text{ К}$, в условиях нашего эксперимента не наблюдался.

Обсудим аномалии диэлектрической проницаемости вблизи температур T_C и T_1 . С ростом содержания титаната стронция в композиционном материале их величина значительно уменьшается, а сами они смещаются в сторону более низких температур (рис. 3). На кривой $\epsilon(T)$, полученной для состава с $x = 0.75$, видимые аномалии диэлектрического отклика отсутствуют. Поэтому для оценки значений температур T_1 и T_C была проанализирована зависимость $d\epsilon/dT$, на которой наблюдаются особенности, обусловленные структурными фазовыми переходами в сегнетоэлектрической фракции композита (вставка на рис. 4).

Зависимости температур T_1 и T_C от содержания титаната стронция в композите показаны на рис. 4.

Рассмотрим возможные причины, обуславливающие влияние частиц SrTiO_3 на температуру фазовых переходов в сегнетоэлектрической фракции композиционного материала.

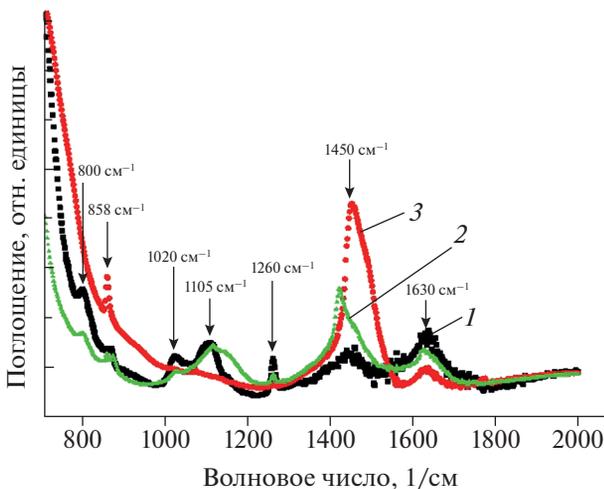


Рис. 2. ИК-спектры поглощения для смешанного композита $0.50\text{BaTiO}_3-0.50\text{SrTiO}_3$ (1) и его исходных компонент — BaTiO_3 (2) и SrTiO_3 (3).

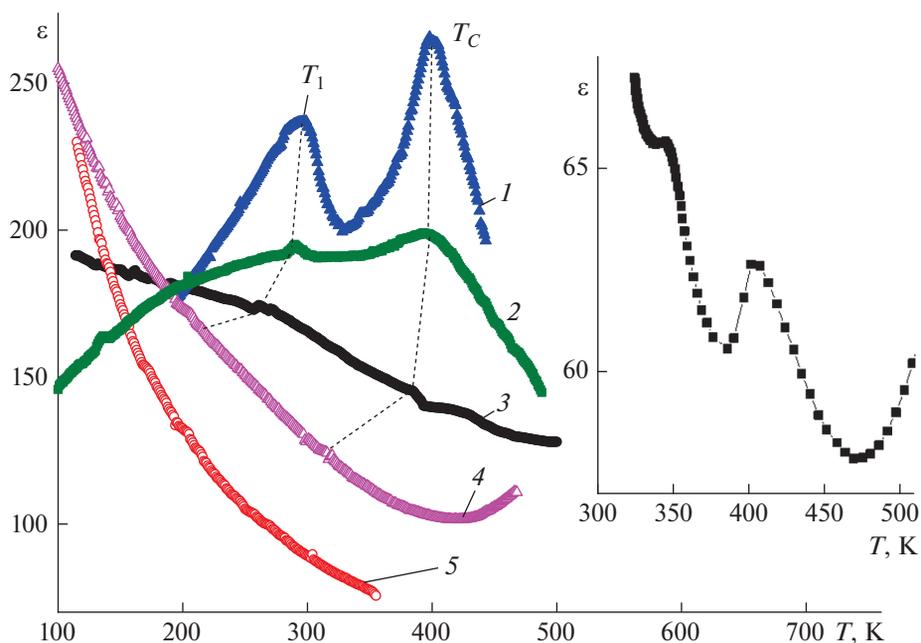


Рис. 3. Температурные зависимости диэлектрической проницаемости для нанокристаллических образцов смешевых композитов $(1-x)\text{BaTiO}_3-x\text{SrTiO}_3$ с концентрациями $x = 0.00$ (1); 0.25 (2); 0.50 (3); 0.75 (4) и 1.00 (5), полученные в ходе нагрева на частоте 10 кГц. На вставке – зависимость $\epsilon(T)$ для композита $[0.5\text{BaTiO}_3-0.5\text{SrTiO}_3]$, оба компонента которого получены методом твердофазного синтеза.

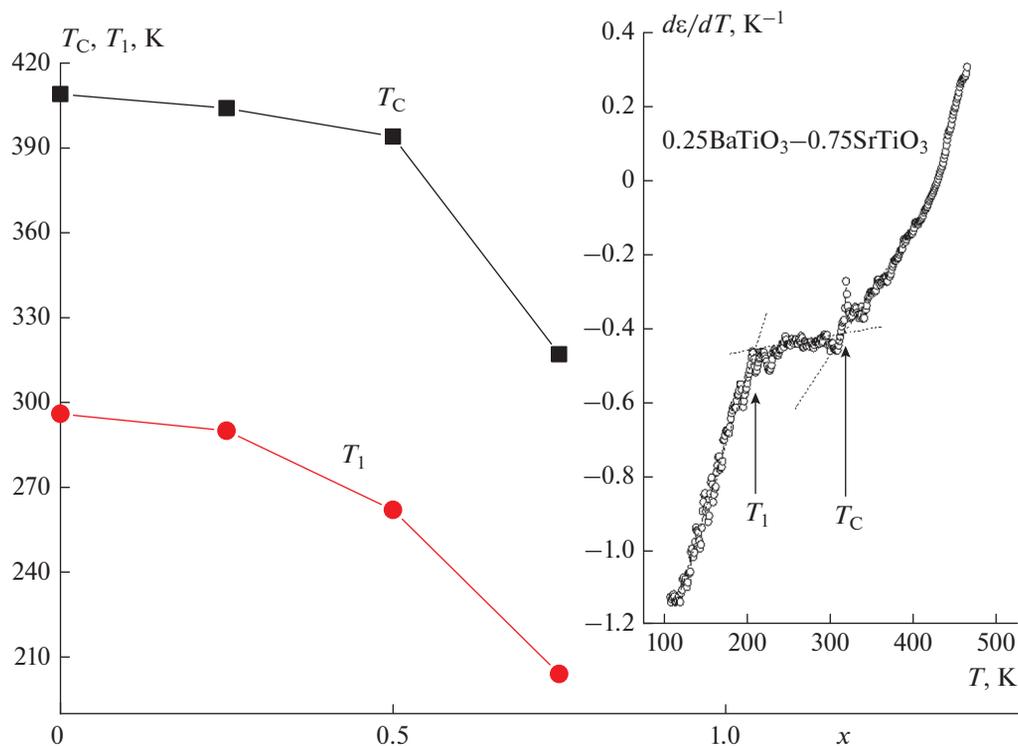


Рис. 4. Температурные зависимости T_1 и T_C для нанокристаллических смешевых композитов $(1-x)\text{BaTiO}_3-x\text{SrTiO}_3$. На вставке – температурная зависимость $d\epsilon/dT$, для состава с $x = 0.75$.

Прежде всего заметим, что обнаруженное в эксперименте снижение температур T_C и T_1 в частицах титаната бария с увеличением концен-

трации SrTiO_3 не может быть обусловлено образованием в малом количестве твердого раствора $\text{Ba}_{(1-x)}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$ вблизи мест соприкосновения

гранул BaTiO_3 и SrTiO_3 , наличие которого не может быть обнаружено в ходе рентгеновского фазового анализа. В пользу этого говорят, по меньшей мере, два обстоятельства.

Во-первых, в случае образования твердого раствора, локализованного в области контакта частиц титаната бария и титаната стронция, температуры структурных фазовых переходов в приповерхностном слое и внутри частицы будут различаться. Это приведет либо к размытию максимумов диэлектрической проницаемости, либо к удвоению их числа. Последнее проиллюстрировано на вставке к рис. 3, где изображена температурная зависимость диэлектрической проницаемости композита $[\text{0.5BaTiO}_3\text{--0.5SrTiO}_3]$, оба компонента которого получены методом твердофазного синтеза.

При спекании частиц данного материала произошло образование твердого раствора, локализованного, по-видимому, вблизи областей соприкосновения частиц BaTiO_3 и SrTiO_3 . Поэтому на кривой $\epsilon(T)$ вместо одного максимума диэлектрической проницаемости вблизи $T_C \approx 405$ К наблюдается еще один при температуре $T_C^* \approx 345$ К, соответствующий сегнетоэлектрическому фазовому переходу в твердом растворе $\text{Ba}_{(1-x)}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$.

Во-вторых, в нашем эксперименте для композитов $(1-x)\text{BaTiO}_3\text{--}x\text{SrTiO}_3$ область существования тетрагональной фазы $\Delta T(x) = T_C(x) - T_1(x) \approx 100$ К (рис. 4) слабо изменяется с концентрацией титаната стронция. Тогда как в твердом растворе $\text{Ba}_{(1-x)}\text{Sr}_x\text{--TiO}_3$ интервал $\Delta T(x)$ сокращается с повышением концентрации титаната стронция и при $x \approx 0.2$ разность $\Delta T \rightarrow 0$ [10].

Таким образом, смещение температур фазовых переходов в частицах титаната бария в составе изучаемых композитов не может быть связано с образованием твердых растворов титаната бария – стронция в местах соприкосновения гранул BaTiO_3 и SrTiO_3 .

Наряду с этим, возможной причиной, вызывающей понижение температур T_C и T_1 в титанате бария, могут быть упругие напряжения, появляющиеся обычно в композитах из-за различия температурных коэффициентов линейного расширения (TKL) его компонентов. Однако, в случае системы $\text{BaTiO}_3\text{--SrTiO}_3$ появление таких напряжений маловероятно, поскольку TKL обоих материалов почти одинаковы [11].

Можно предположить, однако, что наблюдаемое в эксперименте понижение температур T_C и T_1 по мере возрастания концентрации SrTiO_3 в композите, связано с миграцией атомов углерода при спекании материала с поверхности коммерческих частиц SrTiO_3 на поверхность наночастиц BaTiO_3 и формированием оболочки из карбоната бария, что показал сделанный выше анализ спектров ИК поглощения.

Резонно полагать, что образование соединения BaCO_3 сопровождается генерацией вакансий бария V_{Ba}^{2+} и кислорода V_{O}^{2-} [12.]. Согласно работе [13], в которой обсуждается влияние отклонений от стехиометрического состава титаната бария на его физические свойства, образование вакансий V_{Ba}^{2+} и V_{O}^{2-} приводит к снижению температуры сегнетоэлектрического фазового перехода в этом материале. Очевидно, это и происходит в рассматриваемом случае.

Основываясь на вышеизложенных экспериментальных результатах, приходим к выводу о том, что наличие на поверхности частиц оболочек SrCO_3 и BaCO_3 препятствует образованию твердого раствора $\text{Ba}_{(1-x)}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$.

Важными для практического применения параметрами являются диэлектрическая проницаемость материала и ее температурная стабильность. Рассмотрим влияние состава на диэлектрические свойства композитов. С ростом концентрации SrTiO_3 происходит изменение характера зависимостей $\epsilon(T)$. Так, для составов с концентрацией $x = 0.00$ и 0.25 диэлектрическая проницаемость возрастает с повышением температуры вплоть до температуры сегнетоэлектрического фазового перехода T_C . В случае композитов с содержанием титаната стронция $x \geq 0.50$ наблюдается спад ϵ с ростом температуры. При этом зависимости $\epsilon(T)$, полученные для составов с $x \geq 0.50$, выше 250 К проходят заметно ниже кривых, соответствующих составам с $x = 0$ и 0.25 . Вместе с тем, ниже 150 К диэлектрическая проницаемость композитов с высоким содержанием SrTiO_3 значительно превышает значения ϵ композитов с $x < 0.50$.

Изменение характера кривых $\epsilon(T)$ с концентрацией титаната стронция позволяет выбрать состав с наименьшим значением температурного коэффициента диэлектрической проницаемости (ТКЕ) в окрестностях комнатной температуры. На рис. 3 можно видеть, что в интервале 200–400 К наименьшим значением $\text{ТКЕ} \approx 5 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ при сравнительно высоком значении диэлектрической проницаемости ($\epsilon \approx 185$) обладает состав $0.75\text{BaTiO}_3\text{--}0.25\text{SrTiO}_3$.

Вместе с тем, следует заметить, что диэлектрические свойства композитов типа $\text{BaTiO}_3\text{--SrTiO}_3$ существенно зависят не только от их состава, но и от условий их приготовления. Так, диэлектрические свойства композитов, для получения которых была использована технология быстрого спекания под высоким давлением гранул BaTiO_3 и SrTiO_3 с размерами 100–400 нм, осажденных из водного раствора [14], существенно отличаются от свойств композиционных материалов, представленных в данной работе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ полученных экспериментальных результатов показал, что в наноразмерных гранулах BaTiO_3 , входящих в состав композитов $(1-x)\text{BaTiO}_3-x\text{SrTiO}_3$ ($x \leq 0.75$), реализуются переходы между фазами *Amm2*, *P4mm* и *Pm-3m*, как и в монокристаллическом титанате бария. Обнаружено понижение температур этих фазовых переходов с увеличением концентрации титаната стронция, которое не связано с образованием твердого раствора $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$ в процессе спекания образцов композиционного материала.

Вероятнее всего, оно обусловлено появлением вакансий атомов бария и кислорода в гранулах BaTiO_3 из-за образования на их поверхности соединения карбоната бария в фазе кальцита, что подтверждается анализом спектров ИК поглощения.

По-видимому, наличие оболочек SrCO_3 и BaCO_3 препятствует образованию твердого раствора $\text{Ba}_{(1-x)}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$.

Установлено, что с ростом концентрации SrTiO_3 происходит изменение характера зависимостей $\epsilon(T)$, сопровождающееся изменением знака температурного коэффициента диэлектрической проницаемости ТКЕ в окрестностях комнатной температуры. В интервале температур 200–400 К наименьшим значением ТКЕ $\approx 5 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ при сравнительно высоком значении ϵ (≈ 185) обладает состав $0.75\text{BaTiO}_3-0.25\text{SrTiO}_3$.

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках темы государственного задания (проект № FZGM-2023-0006 и проект № FZGM-2020-0007). Работа Емельянова Н.А. поддержана грантом Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук и докторов наук Российской Федерации (проект МК-3916.2021.1.2).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Algueró M., Gregg J.M., Mitoseriu L.* Nanoscale ferroelectrics and multiferroics. Key processing and characterization issues and nanoscale effects. London: John Wiley & Sons Ltd., 2016.
2. *Коротков Л.Н., Толстых Н.А., Короткова Т.Н. и др.* // Изв. РАН. Сер. физ. 2020. Т. 84. № 9. С. 1258; *Korotkov L.N., Tolstykh N.A., Korotkova T.N. et al.* // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2020. V. 84. No. 9. P. 1068.
3. *Stukova E.V.* // Inorg. Mater. Appl. Res. 2011. V. 2. No. 5. P. 434.
4. *Стукова Е.В.* // Изв. РАН. Сер. физ. 2013. Т. 77. № 8. С. 1138; *Stukova E.V.* // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2013. V. 77. No. 8. P. 1032.
5. *Baryshnikov S., Milinskiy A., Stukova E.* // Ferroelectr. 2018. V. 536. No. 1. P. 91.
6. *Толстых Н.А., Короткова Т.Н., Аль Джафари Ф.Д. и др.* // Изв. РАН. Сер. физ. 2019. Т. 83. № 9. С. 1193; *Tolstykh N.A., Korotkova T.N., Al' Jaafary F.D. et al.* // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2019. V. 83. No. 9. P. 1086.
7. *Лайнс М.* Сегнетоэлектрики и родственные им материалы. М.: Мир. 1981. 736 с.
8. *Emelianov N.A., Budaev A.V., Perez Azahuanche F.R. et al.* // Ferroelectrics. 2022. V. 590. No. 1. P. 206.
9. *Bakken K., Pedersen V.N., Blichfeld A.B. et al.* // ACS Omega. 2021. V. 6. No. 14. P. 9567.
10. *Lemanov V.V., Smirnova E.P., Syrnikov P.P., Tarakanov E.A.* // Phys. Rev. B. 1996. V. 54. No. 5. P. 3151.
11. *Блистанов А.А., Бондаренко В.С., Переломова Н.В. и др.* Акустические кристаллы. Справочник. М.: Наука. Главн. ред. физ.-мат. лит., 1982. 632 с.
12. *Приседский В.В.* Нестехиометрические сегнетоэлектрики $\text{A}^{II}\text{B}^{IV}\text{O}_3$. Донецк: Ноулидж, 2011. 267 с.
13. *Lee S.* Defect-phase equilibrium and ferroelectric phase transition behavior in non-stoichiometric BaTiO_3 under various equilibrium conditions. PhD thesis. The Pennsylvania State University, 2006. 259 p.
14. *Airimioaei M., Buscaglia M.T., Tredici I. et al.* // J. Mater. Chem. C. 2017. V. 5. No. 35. P. 9028.

Dielectric properties of mixed nanocomposites $\text{BaTiO}_3\text{--SrTiO}_3$

F. M. D. Al Jaafari^a, L. N. Korotkov^{b, *}, N. A. Tolstykh^b, N. A. Emelianov^c,
M. A. Pankova^d, S. V. Popov^e

^aWasit University, Wasit, 52001 Iraq

^bVoronezh State Technical University, Voronezh, 394026 Russia

^cKursk State University, Kursk, 305000 Russia

^dVoronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Voronezh, 394065 Russia

^eMilitary Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy, Voronezh, 394064 Russia

*e-mail: l_korotkov@mail.ru

The dielectric properties of $(1-x)\text{BaTiO}_3-x\text{SrTiO}_3$ ($x = 0.0; 0.25; 0.50; 0.75$ and 1.00) mixed nanocomposites, obtained by sintering the initial components at a temperature of 1273 K for 5 hours, have been studied within the temperature range of 100–500 K. X-ray analysis, performed at room temperature, showed that the composites are formed by BaTiO_3 (*P4mm*) and SrTiO_3 (*Pm-3m*) crystallites and do not contain $\text{Ba}_{(1-x)}\text{Sr}_x\text{TiO}_3$ solid solutions. A decrease in the temperatures of the *Amm2* \rightarrow *P4mm* \rightarrow *Pm-3m* phase transitions in barium titanate particles with an increase in the SrTiO_3 concentration in the composite was found.