

УДК 537.226.33

СПЕКТРЫ ПОГЛОЩЕНИЯ СВЧ-ЭНЕРГИИ РАЗЛИЧНЫХ СЕГНЕТО- И АНТИСЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ И ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ

© 2006 г. В.В. Гершеневич¹, Е.Н. Сидоренко¹, Л.А. Резниченко², Р.К. Бабичев¹, И.И. Натхин¹

В диапазоне частот 7,8–11,8 ГГц исследованы спектры поглощения электромагнитной энергии $L(f)$ в сложных Nb- и Ti-содержащих оксидах различных структурных групп: NaNbO_3 , AgNbO_3 , $\text{PbNb}_{2/3}\text{Mg}_{1/3}\text{O}_3$, $\text{Sr}_2\text{Nb}_2\text{O}_7$, $\text{Ca}_2\text{Nb}_2\text{O}_7$, PbNb_2O_6 , BaTiO_3 , CaTiO_3 , CdTiO_3 ; а также в твердых растворах систем $(\text{Na}, \text{Pb})(\text{Nb}, \text{Ti})\text{O}_3$ (I) и $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ (II). Отмечено, что для спектров соединений PbNb_2O_6 , NaNbO_3 , AgNbO_3 , $\text{Sr}_2\text{Nb}_2\text{O}_7$ и $\text{Ca}_2\text{Nb}_2\text{O}_7$ характерны большие (до 30–40 дБ) максимумы поглощения резонансного типа, что связывается с кристаллохимическими особенностями строения этих соединений и с наличием в них сегнетоэлектрических состояний. Для I, II установлены концентрационные зависимости величины максимального поглощения энергии в спектрах, анализ которых показал, что в изученных бинарных системах твердых растворов имеет место корреляция между положениями фазовых границ и максимумов потерь СВЧ-энергии. Рассмотрено влияние технологических факторов на поглощательную способность твердых растворов I.

Одной из задач производства радиоэлектронной техники и микроэлектроники является получение материалов, эффективно поглощающих сверхвысокочастотные (СВЧ) электромагнитные (ЭМ) излучения. Материалы, обладающие этим свойством, в настоящее время находят широкое применение в технике СВЧ (фазовращатели, фильтры, коммутаторы), а также в качестве различных радиопоглощающих покрытий [1–3]. В связи с этим поиск и изучение таких материалов представляется актуальным.

В данной работе исследованы спектры поглощения СВЧ-энергии ЭМ-поля $L(f)$ следующих сегнето- (СЭ) и антисегнетоэлектрических (АСЭ) соединений, принадлежащих к различным структурным типам: NaNbO_3 (АСЭ), AgNbO_3 (АСЭ), $\text{PbNb}_{2/3}\text{Mg}_{1/3}\text{O}_3$ (СЭ-релаксор), BaTiO_3 (СЭ), CaTiO_3 (СЭ), CdTiO_3 (СЭ) – перовскита; $\text{Sr}_2\text{Nb}_2\text{O}_7$ (СЭ), $\text{Ca}_2\text{Nb}_2\text{O}_7$ (СЭ) – слоистых; PbNb_2O_6 – калиево-вольфрамовой бронзы; а также твердых растворов (ТР) систем состава $(1-x)\text{NaNbO}_3 - x\text{PbTiO}_3$ ($0,15 \leq x \leq 0,26$, исследовательский концентрационный шаг $\Delta x = 0,005$) и

$(1-x)\text{PbZrO}_3 - x\text{PbTiO}_3$ ($0,37 \leq x \leq 0,57$, $\Delta x = 0,01$, $0,005$).

Целью данной работы является установление закономерностей формирования спектров поглощения энергии ЭМ-волн СВЧ-диапазона в указанных объектах, в том числе с различной термодинамической предысторией; оценка влияния технологических факторов на их поглощательную способность; выявление на основании полученных результатов соединений и ТР с наибольшим поглощением энергии, перспективных для практического использования.

Все исследованные соединения (за исключением PbNb_2O_6) и ТР системы $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ получены по обычной керамической технологии (твердофазный синтез с последующим спеканием без приложения внешнего давления) в диапазоне температур 1350–1670 К, в зависимости от состава. Соединение PbNb_2O_6 получено методом горячего прессования (ГП) при значении величины давления прессования $P = 200$ кг/см². Твердые растворы системы $(\text{Na}, \text{Pb})(\text{Nb}, \text{Ti})\text{O}_3$ приготовлены твердофазным двухстадийным синтезом с последующим спеканием методом ГП при температурах 1320–1470 К в зависимости от состава. Получено три группы ТР, различающихся значением величины давления прессования: $P_1 = 0$ кг/см², $P_2 = 200$ кг/см² и $P_3 = 400$ кг/см².

¹ Ростовский государственный университет, Ростов-на-Дону.

² Научно-исследовательский институт физики Ростовского государственного университета, Ростов-на-Дону.

Для измерений спектров $L(f)$ использовалась установка, состоящая из генератора качающейся частоты, широкополосной микрополосковой линии (МПП), работающей в режиме бегущей волны, и панорамного измерителя коэффициента стоячей волны напряжения (КСВН) Р2-61 в диапазоне частот 7,8–11,8 ГГц [4]. Поскольку ЭМ-поле высокой напряженности локализовано вблизи краев центрального проводника МПП, при перемещении исследуемого образца по поверхности МПП можно было вызывать взаимодействие ЭМ-поля с отдельными его областями, добиваясь максимального поглощения энергии. Изучено по 8–10 представительных образцов каждого соединения и ТР при комнатной температуре. Все образцы имели форму диска диаметром 10 мм и толщиной 1 мм, металлические электроды отсутствовали.

В спектрах поглощения СВЧ-энергии ЭМ-поля соединений PbNb_2O_6 , NaNbO_3 , AgNbO_3 , $\text{Sr}_2\text{Nb}_2\text{O}_7$ и $\text{Ca}_2\text{Nb}_2\text{O}_7$ имеют место большие (до 30–40 дБ) максимумы поглощения резонансного типа (рис. 1). Прежде всего это связано с присутствием в изученных веществах СЭ-состояний (в том числе и в АСЭ NaNbO_3 , AgNbO_3 [5, 6]), т.е. с наличием в их кристаллитных зернах специфической доменной структуры [7]. Отдельные элементы структуры (a -доменные клиновидные двойники) могут резонировать при воздействии ЭМ-поля, способствуя эффективному поглощению СВЧ-энергии. Дополнительными причинами значительного поглощения энергии являются особенности кристаллического строения анализируемых соединений. Так, “рыхлость” структуры ниобатов натрия и серебра, обусловленная

несоответствием кристаллохимических параметров компонентов структуре перовскита (собственные размеры катионов Na^+ и Ag^+ значительно меньше размеров межконтраэдрических полостей, в которых они расположены [8]), благоприятствует высокой чувствительности их свойств, в том числе подвижности доменных границ по отношению к внешним воздействиям [5]. Кроме того, для этих соединений характерно блочное строение, сформированное за счет наличия упорядоченных протяженных дефектов – незаполненных межблочных каналов [9]. Под действием возникающих в местах их зарождения механических напряжений возможно изменение доменной структуры и возникновение условий для перераспределения поляризованных нанокластеров СЭ-фазы.

При исследовании АСЭ-соединений в более ранних работах [10] не было обнаружено СВЧ-дисперсии диэлектрической проницаемости, хотя указывается, что на частоте 37 ГГц наблюдался 4–7%-ный ее спад, сопровождаемый ростом тангенса угла диэлектрических потерь. Для подтверждения наличия обнаруженного нами поглощения в исследованных соединениях измерительная установка перестраивалась и работала в режиме измерения КСВН. Полученное при этом совпадение минимума в частотной зависимости КСВН со спектральным максимумом потерь свидетельствует о том, что в данном диапазоне частот наблюдалось поглощение энергии, обусловленное резонансными явлениями элементов структуры. То есть острые пики поглощения энергии в спектрах не являются эффектом отражения ЭМ-волны от неоднородности, создаваемой образцом на МПП. Об этом же свидетельствует тот факт, что спектр потерь энергии с максимумом резонансного типа практически не изменяется при смещении образца вдоль центрального проводника МПП.

Дополнительной причиной наличия большого пика поглощения СВЧ-энергии ЭМ-поля в спектре PbNb_2O_6 является, вероятно, существование незаполненных межконтраэдрических пустот в трех-, четырех- и пятиугольных каналах его структуры [11], а в $\text{Sr}_2\text{Nb}_2\text{O}_7$ и $\text{Ca}_2\text{Nb}_2\text{O}_7$ – слоистость структуры этих соединений.

По-видимому, из-за отсутствия условий для резонансных явлений элементов доменной структуры максимумы в спектрах соединений $\text{PbNb}_{2/3}\text{Mg}_{1/3}\text{O}_3$ и BaTiO_3 (на рис. 1 не показаны) не наблюдались, а средний уровень потерь в исследованном диапазоне частот составлял 7–10 дБ. Спектры соединений CaTiO_3 и CdTiO_3 имели сложную, изрезанную форму с большим количе-

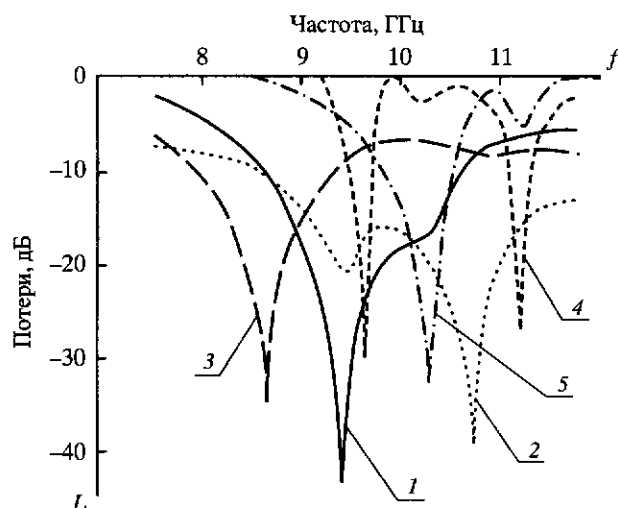


Рис. 1. Спектры поглощения энергии ЭМ-поля соединений: 1 – PbNb_2O_6 ; 2 – NaNbO_3 ; 3 – AgNbO_3 ; 4 – $\text{Sr}_2\text{Nb}_2\text{O}_7$; 5 – $\text{Ca}_2\text{Nb}_2\text{O}_7$

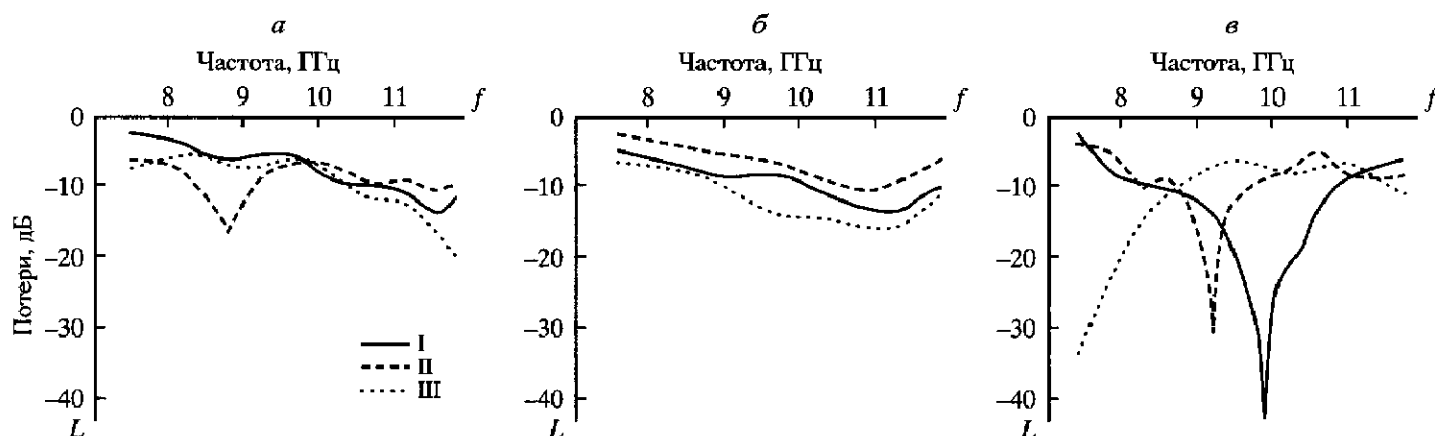


Рис. 2. Спектры поглощения энергии ЭМ-поля в ТР $(1-x)\text{NaNbO}_3-x\text{PbTiO}_3$, спеченных при различных значениях давления ГП P (кг/см²): I – 400; II – 200; III – 0. $x = 0,15$ (а); $x = 0,2075$ (б); $x = 0,2425$ (в)

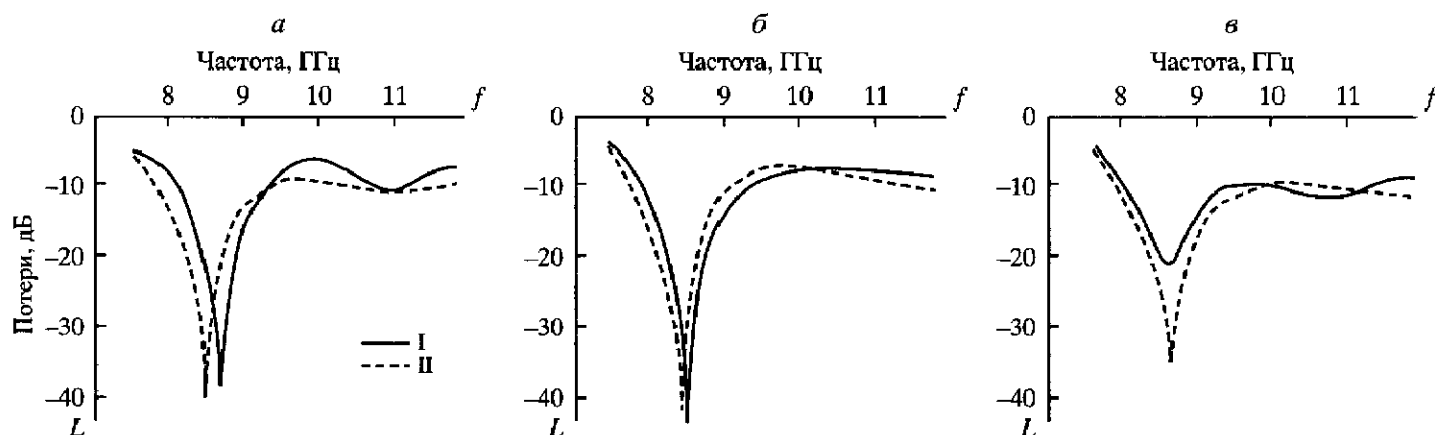


Рис. 3. Спектры поглощения энергии ЭМ-поля в неполяризованных (I) и поляризованных (II) ТР $(1-x)\text{PbZrO}_3-x\text{PbTiO}_3$. $x = 0,39$ (а); $x = 0,45$ (б); $x = 0,56$ (в)

ством максимумов поглощения различной величины и хаотически изменялись при всяком перемещении образца относительно полоски МПЛ.

На рис. 2 и 3 представлены сплошные спектры поглощения ЭМ-энергии ТР систем $(\text{Na}, \text{Pb})(\text{Nb}, \text{Ti})\text{O}_3$ и $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ соответственно (для некоторых значений концентрации PbTiO_3).

На основе полученных экспериментальных данных для исследованных систем ТР были установлены зависимости величины максимального поглощения энергии ЭМ-поля в спектрах от концентрации PbTiO_3 , представленные с наложением на них фазовых диаграмм на рис. 4 и 5.

Во всех случаях, как видно на рис. 4 и 5, зависимости $L(x)$ немонотонные: вблизи межфазных границ и границ областей сосуществования разнотипных фаз – морфотропных областей (МО), как правило, расположены максимумы поглощения СВЧ-энергии ЭМ-поля различной величины. Таким образом, для рассматриваемых

систем характерна корреляция между положениями максимумов потерь энергии и фазовых границ. По-видимому, важную роль в формировании спектров поглощения играют протяженные дефекты – межфазные границы, усиливающие поглощение именно в местах их расположения.

Для керамик системы $(\text{Na}, \text{Pb})(\text{Nb}, \text{Ti})\text{O}_3$, полученных при разных условиях, средние уровни L различны. Так, для ТР, спеченных при $P = 400$ кг/см², средний уровень поглощения энергии составляет ~10 дБ. По мере уменьшения величины давления ГП происходит постепенный рост среднего значения L 12–15 и 20 дБ при $P = 200$ кг/см² и 0 кг/см² соответственно.

Согласно [12], при $0,15 \leq x \leq 0,205$ (области 1 и 2 на рис. 4) имеет место характерная для NaNbO_3 ромбическая (R) симметрия с моноклинной (M) удвоенной перовскитной подъячейкой $R(M2)$. Максимум в зависимостях $L(x)$, соответствующий значению $x = 0,155$ концентрации PbTiO_3 ,

вероятно, объясняется изменением характера композиционного упорядочения разновалентных катионов, находящихся в одинаковых кристаллографических позициях. При этом в силу

близости ТР для данного значения x по составу к NaNbO_3 , наиболее вероятным представляется механизм упорядочения А-катионов (Na^+ , Pb^{II}). Ярче всего наблюдаемый эффект выражен при величине давления ГП $P = 200 \text{ кг/см}^2$, что согласуется с результатами работы [13], авторы которой установили оптимальность этого значения давления для получения высокоплотной керамики. В интервале $0,202 \leq x \leq 0,209$ ТР кристаллизуются в тетрагональной (T_1) структуре (области 2–4), сосуществуя с фазой $R(M2)$ в области 2 (MO_1), что приводит к появлению на ее границе нескольких малых пиков поглощения во всех трех случаях. Для ТР из интервала $0,208 \leq x \leq 0,2175$ перовскитная подъячейка становится ромбической (RI_1 [14]) (области 4–6). В области 4 образуются ТР с T_1 - и RI_1 -симметрией (MO_2), но это не приводит к возникновению максимумов в зависимостях $L(x)$, по-видимому, из-за родственности сосуществующих структурных типов. В интервале $0,213 \leq x \leq 0,26$ симметрия ТР остается ромбической, но без мультипликации ячейки – RI_2 (6–10), при этом в области 6 имеет место сосуществование RI_1 - и RI_2 -ТР (MO_3), что сопровождается наличием вблизи ее границы небольшого максимума поглощения энергии. В области 8 сосуществуют две различные фазы: псевдокубическая и ромбическая RI_2 (MO_4) и, как результат, именно здесь имеется наибольшее количество точечных (вакансии) и протяженных (фазовые границы, плоскости кристаллографического сдвига, дислокации и т.д.) дефектов. Все это приводит к появлению вблизи ее границ большого и нескольких малых максимумов в зависимостях $L(x)$. Притом наибольший по величине максимум (до 48 дБ) имеет место при $P = 400 \text{ кг/см}^2$, поскольку высокое давление вносит дополнительные напряжения в кристаллическую решетку, увеличивая таким образом количество кристаллических несовершенств первого рода (трещины Гриффитса).

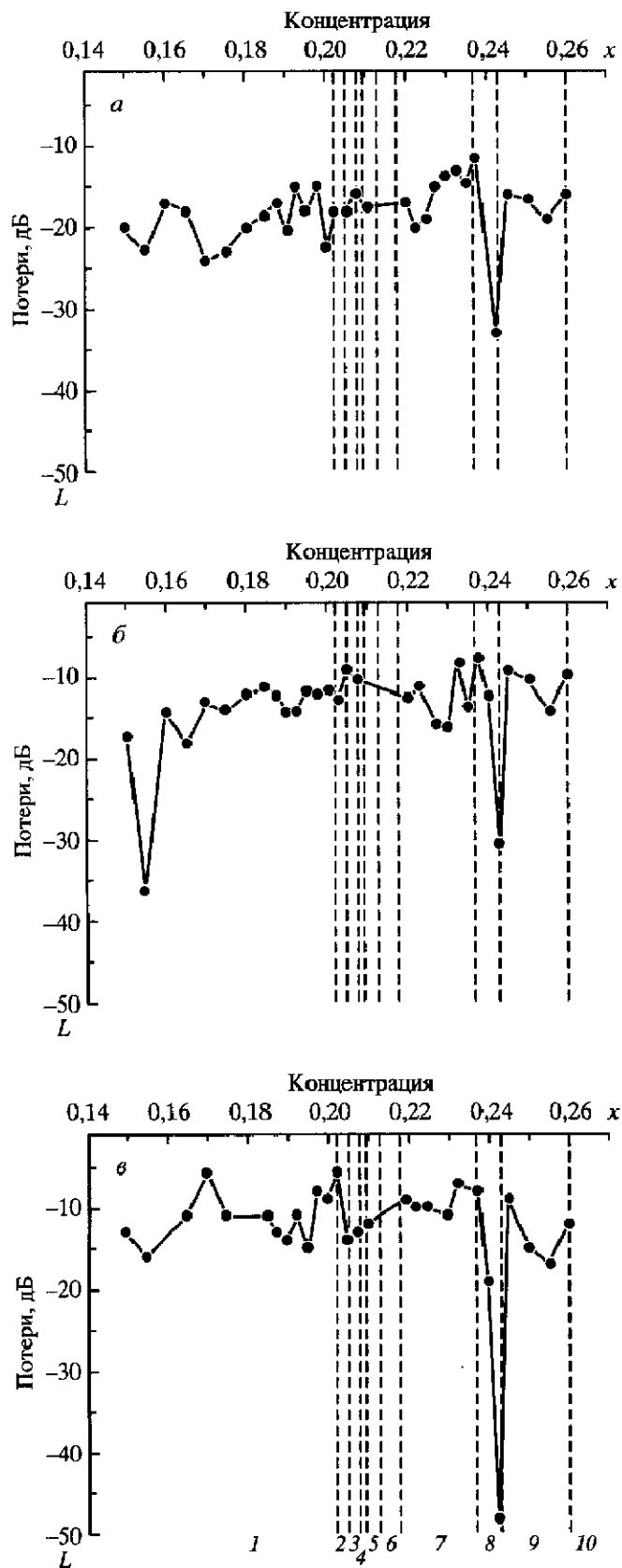


Рис. 4. Концентрационные зависимости величины максимального поглощения СВЧ-энергии в ТР $(1-x)\text{NaNbO}_3 - x\text{PbTiO}_3$, спеченных при различных значениях давления ГП P (кг/см^2): 0(а), 200 (б), 400 (в). Пунктирными линиями обозначены границы фаз и морфотропных областей (МО).

Области концентраций компонентов: 1: $0,15 < x \leq 0,202$ – ромбическая фаза $R(M2)$; 2: $0,202 < x \leq 0,205$ – $R(M2) + T_1$ – морфотропная область (MO_1); 3: $0,205 < x \leq 0,208$ тетрагональная фаза T_1 ; 4: $0,208 < x \leq 0,209$ – $T_1 + RI_1$ – MO_2 ; 5: $0,209 < x \leq 0,213$ – ромбическая фаза RI_1 ; 6: $0,213 < x \leq 0,2175$ – $RI_1 + RI_2$ – MO_3 ; 7: $0,2175 < x \leq 0,2375$ – ромбическая фаза RI_2 ; 8: $0,2375 < x \leq 0,2425$ – псевдокубическая фаза Пск + RI_2 – MO_4 ; 9, 10: $0,2425 < x \leq 0,26$ – RI_2 ([12]).

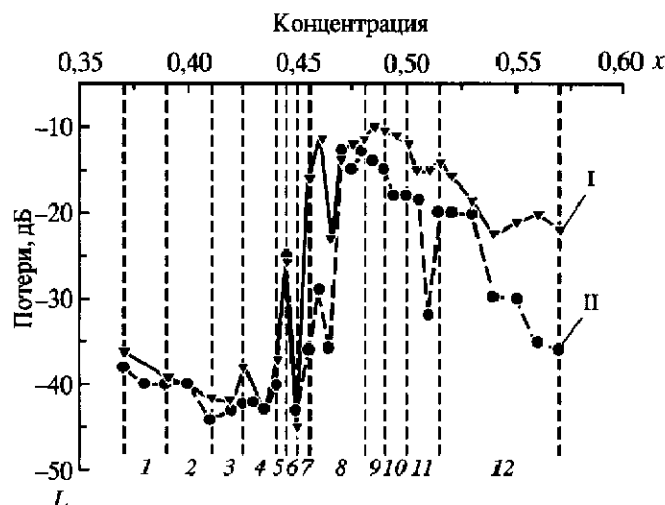


Рис. 5. Концентрационные зависимости величины максимального поглощения СВЧ-энергии в неполяризованных (I) и поляризованных (II) керамиках ТР $(1-x)\text{PbZrO}_3-x\text{PbTiO}_3$. Пунктирными линиями обозначены границы фаз и МО.

Области концентраций компонентов: 1: $0,37 < x \leq 0,39$ — ромбоэдрическая фаза $P\bar{a}_1$; 2: $0,39 < x \leq 0,41$ — $P\bar{a}_1 + P\bar{a}_2$ — МО₁; 3: $0,41 < x \leq 0,425$ — $P\bar{a}_2$; 4: $0,425 < x \leq 0,44$ — $P\bar{a}_2 + P\bar{a}_3$ — МО₂; 5: $0,44 < x \leq 0,445$ — $P\bar{a}_3$; 6: $0,445 < x \leq 0,45$ — $P\bar{a}_3 + \text{Пск}_1$ — МО₃; 7: $0,45 < x \leq 0,455$ — $P\bar{a}_3 + \text{Пск}_1 + \text{Пск}_2$ — МО₄; 8: $0,455 < x \leq 0,48$ — $P\bar{a}_3 + \text{Пск}_1 + \text{Пск}_2 + T_1$ — МО₅; 9: $0,48 < x \leq 0,49$ — $\text{Пск}_2 + T_1$ — МО₆; 10: $0,49 < x \leq 0,50$ — T_1 ; 11: $0,50 < x \leq 0,515$ — $T_1 + T_2$ — МО₇; 12: $0,515 < x \leq 0,57$ — T_2 .

Малый максимум поглощения, расположенный около границы области 10, объясняется изменением изоморфных типов ТР [12].

В системе $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ для ТР из ромбоэдрической ($P\bar{a}$) фазы (включая все фазовые состояния P_i^a , $i = 1, 2, 3$) характерны частотные спектры потерь энергии с большими ($L = 35\text{--}45$ дБ) максимумами резонансного типа (рис. 5). Пики поглощения СВЧ-энергии в спектрах ТР из тетрагональной (T) фазы (включая все фазовые состояния T_j , $j = 1, 2$) размыты, а потери в максимуме составляют 15–25 дБ. Вблизи границы $P\bar{a}$ -фазы с МО, а также в окрестности псевдокубической фазы, как и в системе $(\text{Na}, \text{Pb})(\text{Nb}, \text{Ti})\text{O}_3$, наблюдается резкое увеличение поглощения энергии ЭМ-поля. Различия в поглощательной способности ТР из различных фаз связаны с особенностями их доменной структуры. Исследования доменной структуры [14] показали, что T -фазе соответствует сложная доменная структура с большим числом доменных границ. По мере приближения к МО она несколько упрощается и становится более упорядоченной. При переходе в $P\bar{a}$ -фазу доменная структура резко меняет вид: здесь наблюдается гораздо меньшее число доменных границ и некоторые кристаллиты приближаются к монокристаллическому состоянию. Именно в

этой области из-за значительно большей подвижности доменных границ $P\bar{a}$ -составов наблюдается наибольшее поглощение СВЧ-энергии.

Поляризация образцов пьезокерамики практически не смещает фазовые границы системы и приводит к возрастанию в различной степени уровня поглощения энергии ЭМ-поля всеми ТР системы, что связывается с изменением доменной структуры.

На основании полученных данных можно сделать следующие выводы:

- наибольшее поглощение СВЧ-энергии в максимуме характерно для спектров соединений PbNb_2O_6 , NaNbO_3 , AgNbO_3 , $\text{Sr}_2\text{Nb}_2\text{O}_7$, $\text{Ca}_2\text{Nb}_2\text{O}_7$;
- в бинарных системах ТР $(\text{Na}, \text{Pb})(\text{Nb}, \text{Ti})\text{O}_3$ и $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$, содержащих фазовые переходы различной природы, максимумы поглощения СВЧ ЭМ-энергии наблюдаются, как правило, вблизи их границ;
- оптимальные величины давления ГП при изготовлении керамики с максимальным пиковым значением поглощения СВЧ-энергии на основе ТР системы $(\text{Na}, \text{Pb})(\text{Nb}, \text{Ti})\text{O}_3$ составляют 200 и 400 кг/см².

Полученные в работе результаты могут быть использованы как начальный этап при разработке новых функциональных материалов, применяемых в различных отраслях промышленности, использующих СВЧ-технологии, в частности, для защиты радиоприемной аппаратуры связи от внешних электромагнитных помех, а также для создания компонентов электронной техники, в том числе по интегральной технологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вендик О.Г., Никольский М.А., Гашинова М.С. Потери на СВЧ в электродах распределенных и сосредоточенных элементов на основе сегнетоэлектриков // Письма в ЖТФ. 2003. Т. 29. № 4. С. 5–13.
2. Антонов Н.Н., Бузин И.М., Вендик О.Г. и др. Сегнетоэлектрики в технике СВЧ / Под ред. О.Г. Вендика. М.: Советское радио, 1979. 272 с.
3. Пирумов В.С., Алексеев А.Г., Айзикович Б.В. Новые радиопоглощающие материалы и покрытия // Зарубежная радиоэлектроника. 1994. № 4/5. С. 2–7.
4. Sidorenko E.N., Turik A.V., Natkhin I.I. and Andreev I.S. Dielectric losses in ferroelectrics at ultra-high frequencies // Ferroelectrics. 2003. V. 286. P. 131–140.
5. Резниченко Л.А., Шилкина Л.А., Гагарина Е.С., Раевский И.П., Дулькин Е.И., Кузнецова Е.М., Ах-

- назарова В.В. Структурные неустойчивости, несо-
размерные модуляции, Р- и Q-фазы в ниобате на-
трия в интервале 300–500 К // Кристаллография.
2003. Т. 48. № 3. С. 493–501.
6. Резниченко Л.А., Шилкина Л.А., Разумов-
ская О.Н., Ахназарова В.В., Кравченко О.Ю. По-
лучение и исследование ниобатов щелочных и ще-
лочноземельных металлов в интервале
20–1000 °С // Известия вузов: Северо-Кавказский
регион. Технические науки. 2004. Спецвыпуск.
С. 96–99.
 7. Сидоренко Е.Н., Гавриляченко В.Г., Турик А.В.,
Семенчев А.Ф., Чан Тхи Бить Нгок, Нат-
хин И.И., Азаркова М.Е., Андреев И.С. Поглоще-
ние СВЧ-энергии кристаллами BaTiO_3 и PbTiO_3 с
различной доменной структурой // Фазовые пре-
ращения в твердых растворах и сплавах: Сб. тр.
7-го Межд. симпозиума. Ростов-на-Дону: Изд-во
РГПУ, 2004. С. 279–280.
 8. Раевский И.П., Иалиев М.П., Резниченко Л.А.,
Палатников М.Н., Балюнис Л.Е., Малицкая М.А.
Кристаллохимические аспекты влияния термоди-
намической предыстории на вид фазовых диа-
грамм состав – температура твердых растворов
ниобата натрия-лития и ниобата натрия-калия // *ЖТФ*. 2002. Т. 72. № 6. С. 120–124.
 9. Резниченко Л.А., Шилкина Л.А., Турик А.В., Дуд-
кина С.И. Огромная пьезоэлектрическая анизо-
тропия ниобата натрия с композитоподобной
структурой // *ЖТФ*. 2002. Т. 72. № 2. С. 65–67.
 10. Поплаво Ю.М., Цыкалов В.Г. Исследование ан-
тисегнетоэлектриков на миллиметровых волнах // *ФТТ*. 1967. Т. 9. С. 3305–3310.
 11. Мехтиева Р. Сегнетоэлектрические твердые рас-
творы со структурой тетрагональной вольфрамо-
вой бронзы: Автореф. дис. ... канд. ф.-м.н. Ростов-
на-Дону: РГУ, 1990. 21 с.
 12. Резниченко Л.А., Шилкина Л.А., Разумов-
ская О.Н., Дудкина С.И., Гагарина Е.С., Боро-
дин А.В. Диэлектрические и пьезоэлектрические
свойства твердых растворов на основе ниобата на-
трия // Неорганические материалы. 2003. Т. 39.
№ 2. С. 187–199.
 13. Резниченко Л.А., Данцигер А.Я., Разумов-
ская О.Н., Иванова Л.С., Дудкина С.И., Шилки-
на Л.А., Сервули В.А., Сахненко В.П. Особенности
морфотропного фазового перехода в системе
(1 – x) NaNbO_3 – x PbTiO_3 // Пьезотехника-95: Сб.
тр. междунар. науч.-практ. конф. Ростов-на-Дону:
Изд-во РГПУ, 1995. С. 13–32.
 14. Фесенко Е.Г. Семейство перовскита и сегнето-
электричество. М.: Атомиздат, 1972. 248 с.

SPECTRA OF ABSORPTION OF SHF ENERGY OF DIFFERENT FERRO- AND ANTIFERROELECTRIC COMPOUNDS AND SOLID SOLUTIONS

V.V. Gershenovich, E.N. Sidorenko, L.A. Reznichenko, R.K. Babichev,
I.I. Natkhin

The absorption spectra of the electromagnetic energy $L(f)$ in complex Nb- and Ti-containing oxides of different structural groups (NaNbO_3 , AgNbO_3 , $\text{PbNb}_{2/3}\text{Mg}_{1/3}\text{O}_3$, $\text{Sr}_2\text{Nb}_2\text{O}_7$, $\text{Ca}_2\text{Nb}_2\text{O}_7$, PbNb_2O_6 , BaTiO_3 , CaTiO_3 and CdTiO_3), as well as in solid solutions of the systems (Na, Pb)(Nb, Ti) O_3 (I) and $\text{Pb}(\text{Zr, Ti})\text{O}_3$ (II) were studied in the frequency range of 7,8–11,8 GHz. It was found out that a typical feature of spectra of the compounds PbNb_2O_6 , NaNbO_3 , AgNbO_3 , $\text{Sr}_2\text{Nb}_2\text{O}_7$ and $\text{Ca}_2\text{Nb}_2\text{O}_7$ is large (up 30–40 dB) maxima of absorption of resonance type that may be due to the crystallochemical peculiarities of structure of these compounds and the presence of ferroelectric states in them. For I and II, the concentration dependences of the maximum energy absorption magnitudes were established in spectra, and their analysis has shown that there as the correlation between the positions of phase boundaries and maxima of the UHF energy losses in the binary solid solutions systems under study. The effect of technological factors on the absorptivity of solid solutions I was considered.

REFERENCES

1. Vendik O.G., Nikol'skii M.A., Gashinova M.S. 2003. Microwave losses in electrodes of distributed and lumped ferroelectric-based elements. *Technical Physics Letters*. 29(2): 130–133.
2. Antonov N.N., Buzin I.M., Vendiket O.G. 1979. *Segnetoelektriki v tekhnike SVCh*. [Ferroelectrics in Microwave Technology]. Moscow, "Sovetskoe Radio" Publ.: 272 p. (In Russian).
3. Pirumov V.S., Alekseev A.G., Ayzikov B.A. 1994. [New radio-absorbing materials and coatings]. *Zarubezhnaya radioelektronika*. (4–5): 2–7. (In Russian).
4. Sidorenko E.N., Turik A.V., Natkhin I.I. and Andreev I.S. 2003. Dielectric losses in ferroelectrics at ultrahigh frequencies. *Ferroelectrics*. 286: 131–140.
5. Raevskiy I.P., Reznichenko L.A., Ivliev M.P., Smotrakov V.G., Eremkin V.V., Malitskaya M.A., Shilkina L.A., Shevtsova S.I., Borodin A.V. 2003. Growth and study of single crystals of (Na, K)NbO₃ solid solutions. *Crystallography Reports*. 48(3): 486–490.
6. Reznichenko L.A., Kalinina L.A., Razumovskaya O.N., Ahnazarova V.V., Kravchenko O. 2004. [Preparation and research niobate alkali and alkaline earth metals in the range of 20–1000 °C]. *Izvestiya vuzov: Severo-Kavkazskiy region. Tekhnicheskie nauki*. (Special Issue): 96–99. (In Russian).
7. Sidorenko E.N., Gavriyachenko V.G., Turik A.V. Semenov A.F., Tran Thi Bich Ngoc, Nathin I.I., Agarkova M.E., Andreev I.S. 2004. [The absorption of microwave energy BaTiO₃ and PbTiO₃ crystals with different domain structure]. In: *Fazovye prevrashcheniya v tverdykh rastvorakh i splavakh: Sb. tr. 7-go Mezhd. simpoziuma*. [Phase transformations in solid solutions and alloys: Coll. tr. 7th Int. symposium]. Rostov-on-Don, RGPU Publ: 279–280. (In Russian).
8. Raevskii I.P., Ivliev M.P., Reznichenko L.A., Palatnikov M.N., Balyunis L.E., Malitskaya M.A. 2002. Crystal-chemical effect of the thermodynamic history on the composition-temperature phase diagrams of (Na,Li)NbO₃ and (Na,K)NbO₃ solid solutions. *Technical Physics*. 47(6): 772–776.
9. Reznichenko L.A., Shilkina L.A., Turik A.V., Dudkina S.I. 2002. Giant piezoelectric anisotropy in sodium niobate with a composite-like structure. *Technical Physics*. 47(2): 206–208.
10. Poplavko Y.M., Tsykalov V.G. 1967. [Research antiferroelectrics at millimeter wavelengths]. *Fizika Tverdogo Tela*. 9: 3305–3310. (In Russian).
11. Mekhdiiev R. 1990. *Segnetoelektricheskie tverdye rastvory so strukturoy tetragonal'noy vol'framovoy bronzy. Avtoref. dis. ... kand. fiz.-mat. nauk*. [Ferroelectric solid solutions with tetragonal tungsten bronze structure. PhD Thesis Abstract]. Rostov-on-Don, Rostov State University: 21 p. (In Russian).
12. Reznichenko L.A., Shilkina L.A., Razumovskaya O.N., Dudkina S.I., Gagarina E.S., Borodin A.V. 2003. Dielectric and Piezoelectric Properties of NaNbO₃-Based Solid Solutions. *Inorganic Materials*. 39(2): 139–151.
13. Reznichenko L.A., Danziger A.J., Razumovskaya O.N., Ivanova L.S., Dudkina S.I. Shilkina L.A., Servuli V.A., Sakhnenko V.P. 1995. [Features morphotropic phase transition in the system (1-x)NaNbO_{3-x}PbTiO₃]. In: *Sbornik trudov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "P'ezotekhnika-95"*. [Proceedings of the International scientific-practical conference "Pezotekhnika-95"]. Rostov-on-Don: RGPU Publ.: 13–32. (In Russian).
14. Fesenko E.G. 1972. *Semeystvo perovskita i segnetoelektrichestvo*. [Perovskite Family and Ferroelectricity]. Moscow, Atomizdat Publ.: 263 p. (In Russian).