Результаты численных расчетов сравнивались с имеющимися в наличии экспериментальными данными. Аналогичные лабораторные эксперименты в канале описаны в [3]: задавались следующие величины: D=60 см — длина района генерации, H==5—10 см — глубина бассейна, $B_0=1$ мм — максимальная величина смещения дна. Отношение B_0/H было порядка 10⁻², поэтому генерируемые волны можно было считать линейными. Результаты представлялись в виде графиков, аналогичных численно рассчитанным, и не обнаруживали влияния нелинейных эффектов. В эксперименте использовались датчики [3], позволяющие измерять амплитуды волн ~1 мм.

В экспериментах, проводимых Хэммаком [4], точки зависимостей амплитуды волны от времени подвижки, соответствующие положительным ($B_0^*>0$) и отрицательным ($B_0^*<0$) подвижкам дна, лежали соответственно ниже и выше теоретической кривой, полученной в рамках линейной теории волн. Это говорит о значительности нелинейных эффектов в экспериментах Хэммака.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Марчук Ан. Г., Чубаров Л. Б., Шокин Ю. И. Численное моделирование волн цунами. Новосибирск, 1983. [2] Носов М. А., Шелковников Н. К. Деп. ВИНИТИ № 4171-В90 от 24.06.90. М., 1990. [3] Носов М. А., Шелковников Н. К.//Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 1991. 32. № 3. С. 103. [4] Наттаск J. L.//J. Fluid Mech. 1973. 60, N 4. Р. 769.

Поступила в редакцию 10.07.91

ВЕСТН. МОСК. УІІ-ТА. СЕР. 3, ФИЗИКА, АСТРОНОМИЯ. 1992. Т. 33, № 4

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

УДК 537.226.4

ПИРОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ КОЭФФИЦИЕНТ КЕРАМИКИ ЦТС-40 В ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР 1,5-80 К

А. Б. Есенгалиев, В. К. Новик, В. В. Новиков, А. Г. Сегалла

(кафедра физики низких температур)

Представлены результаты измерений пироэлектрического коэффициента сегнетоэлектрической керамики ЦТС-40 в температурном интервале 1,5—80 К, а также диэлектрической проницаемости в интервале 1,5—250 К.

В изученных ранее сегнетоэлектриках с содержанием примесей менее 5 вес. % [1, 2] отмечался эффект снижения вклада примесных дефектов в созданную ими дополнительную компоненту спонтанной поляризации $\mathbf{P}_{si}(T)$ при возрастании количества примесей. Эффект был объяснен в предположения векторного, статистического усреднения этого вклада по объему образцов. Высказанное предположение не имело под собой достаточной экспериментальной основы. В настоящем сообщении излагаются опытые результаты проверки этого предположения.

Объектом исследования была сегнетоэлектрическая керамика типа ЦТС-40 максимально сложного (из доступных авторам) состава:

0,98 (Pb_{0.95}Sr_{0.05}) (Zr_{0.53}Ti_{0.47}) O₃ + 0,02 Cd (BiMn_{1/8}Cr_{1/6}) O₃ + MnO₂

(0,26 масс.%). Образцы имели форму дисков диаметром 10 мм и толщиной 0,5 мм и поляризовались по стандартной технологии. Серебряные электроды наносились методом вжигания. Измерения пироэлектрического коэффициента проводились по методике, описанной в [3].

Результаты измерений пироэлектрического коэффициента $\gamma^{\sigma}(T)$ представлены на рис. 1. В зависимости $\gamma^{\sigma}(T)$ однозначно выделяются два участка аналитической аппроксимации, определенных по экспериментальным данным методом наименьших квадратов. В интервале 0—2,3 К аппроксимирующая функция линейна и имеет вид $\gamma^{\sigma}(T) = -0.28 \cdot 10^{-11} T \ Kn \cdot cm^{-2} \cdot K^{-1}$. В интервале 2,3—80 К аппроксимирующее выражение более сложно: $\gamma^{\sigma}(T) = \gamma^{\sigma}(2,3 \ K) - 53,16 \cdot 10^{-11} E (24,15 \ K) - 32,89 \cdot 10^{-10} E (66 \ K) - -20,84 \cdot 10^{-9} E (259 \ K) \ Kn \cdot cm^{-2} \ K^{-1}$, гдс E функция теплоемкости Эйнштейна, $\gamma^{\sigma}(2,3 \ K = -0,62/10^{-11} \ Kn \cdot cm^{-2} \cdot K^{-1}$ — значение пироэлектрического коэффициента

в точке сшивания аппроксимаций. Аппроксимирующие зависимости показаны на рис. 1 штриховыми линиями.

Авторам известны только две работы, посвященные низкотемпературному пироэлектричеству сегнетоэлектрических керамик [4, 5]. Работа [4] может быть полезна как источник количественных данных о пироэлектрическом коэффициенте керамики ВаТіО₃ при температурах выше 5 К, а результаты исследования керамики РТZ-7А при температурах выше 1,18 К [5] будут использованы в дальнейшем обсуждении.

Полученные нами результаты подтверждают достоверность высказанного предположения. Несмотря на высокую сравнительно с монокристаллами [1, 2] сгепень дефектности образцов, кривая зависимости $y^{c}(T)$ (рис. 1) не проявляет никаких харак-yo 1011 Kn - y " · 10, 0 KA - y" · 10 G KA CM2.K 'CM2·K -5 20 F20 15 15 Dage - Dr Ba-3 900 a gan and a gan a. 10 -10 -2 5 1 80800 10 30 3 45 15 20 50 70 T.K n 1 2

Рис. 1. Температурная зависимость пироэлектрического коэффициента керамики ЦТС-40. Штриховая линия — теоретическая аппроксимация (см. текст)

терных особенностей, свойственных зависимостям $\gamma^{\sigma}(T)$ в примесных сегнетоэлектриках: ни смены знака пироэлектрического коэффициента, ни сколько-нибудь заметного отклонения от каноняческих (для совершенных сегнетоэлектриков) эйнштейновских зависимостей. Необычными в этом смысле являются малые значения частот поперечных ойтических мод, участвующих в низкотемпературном изменении спонтанной поляризация: 16,8; 45,8 и 180 см⁻¹. Для сегнетоэлектриков кислородно-октаэдрического го типа (LiNbO₃, LiTaO₃) наинизшее значение частоты обычно близко к 80 см⁻¹, а значения ~10 см⁻¹ отмечались лишь для

значения ~10 см⁻¹ отмечались лишь для водородсодержащих монокристаллов TГС [2] и литий-таллий-тартрата [6]. Вызывает интерес выяснение природы моды 16,8 см⁻¹, тем более, что именно эта мода ответственна за аномально высокую пироактивность исследованной керамики при T < 4 К. Определение условий управления значением наинязшей полярной моды позволило бы найти инструмент низкотемпературного пироэлектрического матсриаловедения.

Наличие линейного члена в зависимости $\gamma^{o}(T)$ при T < 2,3 К должно быть, по-видимому, характерным для керамических образцов и должно объясняться неотвратимым присутствием в них стеклофазы. Как показано в работах [7, 8], температурная зависимость удельной теп-



Рис. 2. Температурная зависимость диэлектрической проницаемости керамики ЦТС-40 в полярном направлении

лоемкости $C_p(T)$ керамики в этом интервале тоже линейна, а поскольку отношение γ^{σ}/C_p [5] постоянно, то непосредственно определенная нами пропорциональность $\gamma^{\sigma}(T) \sim T$ может рассматриваться как общая закономерность для поликристаллических образцов.

На рис. 2 для справки приведена измеренная нами температурная зависимость диэлектрической проницаемости $\varepsilon(T)/\varepsilon_0$ керамики ЦТС-40.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Есенгалиев А. Б., Новиков В. Н., Новик В. К., Гаврилова Н. Д.//Физ. низ. температур. 1991. 17, № 4. С. 523. [2] Novikov V. N., Novik V. K., Esengaliev A. B., Gavrilova N. D.//Ferroelectrics. 1991. 118. Р. 59. [3] Новиков В. Н., Новик В. К., Гаврилова Н. Д., Калева Г. М.//Приб. и техн. эксперимента. 1988. 6. С. 187. [4] Lang S. B., Rice L. H., Shaw S. A.// J. Appl. Phys. 1969. 40, N 11. P. 4335. [5] Bordoni F., Carelli P., Modena I., Romani G. L.//Infrared Phys. 1979. 19. Р. 653. [6] Новик В. К.//Автореф. докт. дис. Ростов-на-Дону, 1984. [7] Недепbarth Е.//Ferroelectrics. 1988. 78. Р. 61. [8] Неппing I., Недепbarth E.//Ferroelecrics. 1988. 79. Р. 319.

Поступила в редакцию 14.01.92