

Диэлектрические свойства композита на основе пористого тефлона, заполненного сегнетоэлектриком $SC(NH_2)_2$

А.Ю. Милинский¹, С.В. Барышников¹, Е.В. Стукова²

¹ Благовещенский государственный педагогический университет, г. Благовещенск, Россия

² Амурский государственный университет, г. Благовещенск, Россия

Изучены температурные зависимости линейной диэлектрической проницаемости ϵ' для нанопористых тефлоновых матриц (220 нм), заполненных молекулярным сегнетоэлектриком $SC(NH_2)_2$, в сравнении с объемной тиомочевинной. Измерения проводились в режиме нагрева и охлаждения в интервале от 100 К до комнатной температуры. Обнаружено понижение сегнетоэлектрического фазового перехода I→II тиомочевинной в пористом тефлоне, по сравнению с объемной тиомочевинной.

Ключевые слова: сегнетоэлектрик, тиомочевина, нанопористый тефлон, композит, диэлектрическая проницаемость, фазовый переход.

Введение

Исследования малых сегнетоэлектрических частиц показали значительные изменения их свойств по сравнению с объемными кристаллами, особенно вблизи фазовых переходов. Установлено, что температуры фазовых переходов смещаются по сравнению с таковыми для объемных образцов, сами переходы становятся менее четкими, а при определенных размерах частиц сегнетоэлектрические свойства полностью утрачиваются (см. [1–4] и ссылки в них).

Одним из подходов к созданию малых сегнетоэлектрических частиц является инкапсуляция сегнетоактивных материалов в нанопористые матрицы [2]. В этом случае размеры частиц определяются размерами пор, и сегнетоэлектрические частицы формируют сетевую структуру, геометрия которой соответствует топологии пор. Такие наночастицы в порах представляют собой модельные системы, позволяющие исследовать размерные эффекты в полярных диэлектриках. Исследованию свойств сегнетоэлектриков в нанопористых матрицах посвящен ряд работ: $NaNO_2$ [2], KNO_3 [5], TGS [6], $C_6H_{16}NBr$ [7] $K_{1-x}Ag_xNO_3$ [8], $(NH_4)_2SO_4$ [9] и т.д.

Было установлено, что размеры частиц существенно влияют на спонтанную поляризацию и диэлектрическую проницаемость. Эти размерные эффекты могут быть объяснены с помощью теоретических моделей, разработанных для полярных диэлектриков в рамках теорий Ландау – Гинзбурга, или Гинзбурга – Андерсона – Кокрена [10, 11]. Теоретические расчеты показывают, что уменьшение размеров частиц вызывает снижение спонтанной поляризации и диэлектрической проницаемости вследствие изменения энергии системы (см., например, [12–14]). Однако существуют и другие причины размерных эффектов, связанные с взаимодействием частиц со стенками пор для трехмерных матриц или с подложкой для пленок и т.д. [15].

В настоящей работе представлены результаты исследований температурных зависимостей диэлектрической проницаемости ϵ' и тангенса угла диэлектрических потерь $\tan \delta$ тиомочевинной, $SC(NH_2)_2$, внедренной в матрицу из нанопористого тефлона.

1. Образцы и методика эксперимента

Кристаллы тиомочевинной $SC(NH_2)_2$ обнаруживают сложную последовательность структурных фазовых переходов [16]. При комнатной температуре кристалл принадлежит к centrosymmetric группе $R\bar{3}m$ с параметрами ячейки $a = 7.65 \text{ \AA}$, $b = 8.53 \text{ \AA}$, $c = 5.52 \text{ \AA}$ (фаза V). При понижении температуры между 202 и 180 К появляется неполярная фаза (фаза IV). Между 180 и 176 К формируется полярная фаза (фаза III) со значением спонтанной поляризации $P_s = 2.5 \cdot 10^{-9} \text{ Кл/см}^2$. Между 176 и 169 К – неполярная фаза (фаза II) и ниже 169 К – полярная фаза (фаза I), со спонтанной поляризацией вдоль оси a равной $P_s = 3 \cdot 10^{-6} \text{ Кл/см}^2$ [16].

В эксперименте в качестве пористых матриц использовались тефлоновые пластины фирмы «Haining Yibo Filter Equipment Factory» с размерами $1 \times 1 \text{ см}$ и средним размером пор 220 нм. Для внедрения тиомочевинной $SC(NH_2)_2$ в нанопоры тефлоновой пластины были проведены следующие операции. Порошок $SC(NH_2)_2$ растворяли в дистиллированной воде до получения насыщенного