

Влияние постоянного смещения на электрокалорический эффект в сегнетоэлектрических материалах на основе титаната бария

А.В. Еськов¹, А.С. Анохин^{1,2}, О.В. Пахомов¹, А.А. Семенов², А.Л. Холкин³

¹Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ», 197022, Санкт-Петербург, Россия
e-mail: sanman4242@gmail.com

²Университет ИТМО, 197101, Санкт-Петербург, Россия

³Department of Physics & CICECO - Aveiro Institute of Materials, University of Aveiro, 3810–193 Aveiro, Portugal

Электрокалорический эффект (ЭКЭ) в адиабатических условиях определяется, как обратимое изменение температуры материала вследствие изменения напряженности внешнего электрического поля. ЭКЭ может наблюдаться в любых диэлектрических материалах за счет индуцированной поляризации, однако наибольшей величины достигает в сегнетоэлектриках из-за наличия ярко выраженной нелинейной зависимости электрической поляризации от температуры. Исследование ЭКЭ, как и прочих феррокалорических эффектов (магнитокалорического, эластокалорического, барокалорического и пр.), связанных с изменением физических полей другой природы (магнитных, механических), является одним из наиболее актуальных и активно развивающихся направлений изучения физики и приложений ферроидных материалов. Интерес к феррокалорическим эффектам обусловлен возможностью их применения в энергоэффективных преобразователях энергии, таких как твердотельные охлаждающие устройства и генераторы электрической энергии [1, 2].

При экспериментальном исследовании ЭКЭ в сегнетоэлектрических материалах в основном используется режим, при котором изменение напряженности электрического поля в материале характеризуется периодическим сигналом прямоугольной (или близкой к прямоугольной) формы с достаточно малыми временами фронта и спада. При этом величина напряженности электрического поля в материале изменяется от 0 до E_{max} (Рис. 1а) [3].

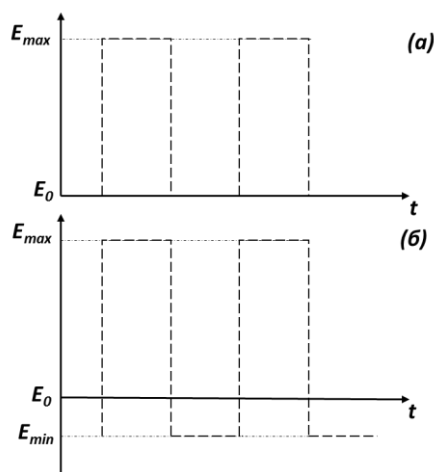


Рисунок 1. Форма зависимости изменения напряженности электрического поля в материале от времени при измерении ЭКЭ.

Хорошо известно, что сегнетоэлектрические материалы обладают гистерезисом при приложении периодического сигнала и необходимостью подачи сигнала обратной полярности для достижения напряженности электрического поля равной коэрцитивной силе и переключения образца. Однако ранее, влияние периодического сигнала с величиной смещения отличной от $E_{max}/2$ на величину ЭКЭ в литературе не рассматривалось. В данной работе проведено исследование электрокалорического отклика в сегнетоэлектрических твердых растворах на основе титаната бария, при подаче периодического сигнала

прямоугольной формы с величиной смещения меньше $E_{\max}/2$, таким образом, что значение электрической напряженности E_{\min} достигается при приложении к образцу напряжения обратной полярности (Рис. 16).

В качестве объектов исследований были выбраны объемные керамические образцы на основе титаната бария: легированный марганцем титанат бария $\text{BaMn}_{0.01}\text{Ti}_{0.99}\text{O}_3$ (ВМТО-1), титанат бария-стронция $\text{Ba}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{TiO}_3$ (BST-70), титанат-цирконат бария $\text{BaZr}_{0.2}\text{Ti}_{0.8}\text{O}_3$ (BZT-80). Выбор данных материалов обусловлен достаточно высокими значениями поляризации и ЭКЭ, а также сравнительно низкой проводимостью. Полученные температурные зависимости ЭКЭ для фиксированной максимальной напряженности, равной 20 кВ/см и при варьруемой величине минимальной напряженности вплоть до -10 кВ/см, приведены на Рисунке 2.

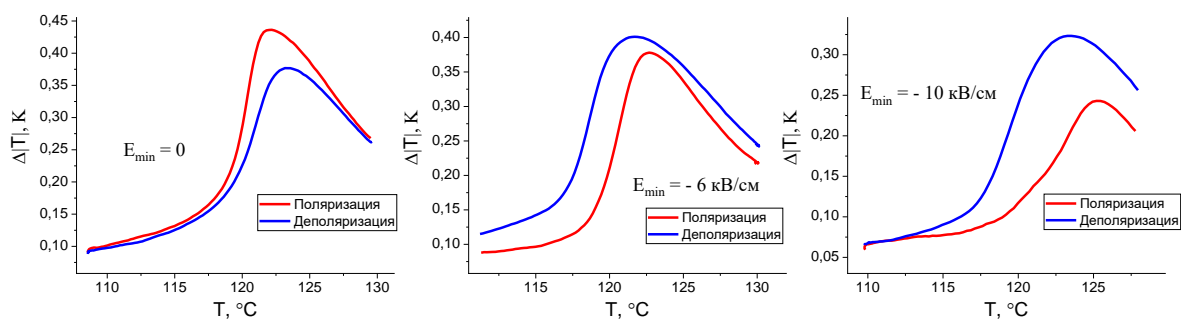


Рисунок 2. Температурные зависимости ЭКЭ в образцах ВМТО-1 при различных величинах постоянного смещения.

Приведенные зависимости показывают, что в образцах ВМТО-1 смещение существенным образом сказывается на величину ЭКЭ при поляризации и деполяризации образца. По мере уменьшения величины смещения эффект при деполяризации начинает значительно превышать тепловой отклик при поляризации в широком диапазоне температур. К примеру, при E_{\min} , равном -10 кВ/см, максимальный ЭКЭ при деполяризации составил 0.33 К, в то же время электрокалорический отклик при поляризации образца составил 0.25 К. Однако, начиная с определенной величины смещения величины электрокалорических откликов начинают значительно снижаться.

Аналогичные, хотя и менее выраженные зависимости ЭКЭ от постоянного смещения, наблюдаются и в прочих исследованных материалах. При этом, характер температурной зависимости разницы электрокалорических откликов при поляризации и деполяризации в различных исследованных материалах качественно различается, что очевидным образом связано с различием полевых и температурных зависимостей поляризации.

1. M. Valant, Electrocaloric materials for future solid-state refrigeration technologies, *Progress in Materials Science*, 57 (6), 980-1009 (2012).
2. T. Correia, Q. Zhang, Electrocaloric materials, *New Generation of Coolers*, 34 (2014).
3. S. Kar-Narayan, N.D. Mathur, Direct and indirect electrocaloric measurements using multilayer capacitors, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 43 (3), 032002 (2010).