

Токи деполяризации в слоистых сегнетоэлектриках $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{8.5}\text{Ti}_2\text{Nb}_4\text{O}_{27}$ и $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{8.5}\text{Ti}_2\text{Ta}_4\text{O}_{27}$

© А.И. Бурханов, Ю.В. Кочергин, К. Борманис*, А. Калване*, М. Дамбекалне*

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет,
Волгоград, Россия

* Институт физики твердого тела Латвийского университета,
Рига, Латвия

E-mail: burkhanov@inbox.ru

Исследовано влияние предыстории на электрофизические свойства слоистых сегнетоэлектриков. Установлено, что при нагреве короткозамкнутых образцов неполяризованной керамики состава $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{8.5}\text{Ti}_2\text{Nb}_4\text{O}_{27}$ проявляются максимумы токов при температурах ниже температуры Кюри только в случае предварительного старения образцов.

PACS: 77.84.Dy, 77.90.+k

Ранее [1] при исследовании низко- и инфранизкочастотного диэлектрического отклика в слоистых сегнетоэлектриках $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{8.5}\text{Ti}_2\text{Nb}_4\text{O}_{27}$ и $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{8.5}\text{Ti}_2\text{Ta}_4\text{O}_{27}$ было обнаружено существование аномалий в температурных зависимостях диэлектрической проницаемости $\epsilon'(T)$ при температурах (T_a), расположенных значительно ниже температуры Кюри (T_c) в таких сегнетоэлектриках. Было показано, что наиболее выражена эта аномалия в области инфранизких частот.

Целью настоящей работы являлось изучение термостимулированных токов при различных режимах измерений в слоистых сегнетоэлектриках $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{8.5}\text{Ti}_2\text{Nb}_4\text{O}_{27}$ и $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{8.5}\text{Ti}_2\text{Ta}_4\text{O}_{27}$ и сопоставление с особенностями диэлектрического старения данных материалов.

Для исследования были выбраны керамические образцы соединений $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{8.5}\text{Ti}_2\text{Nb}_4\text{O}_{27}$ и $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{8.5}\text{Ti}_2\text{Ta}_4\text{O}_{27}$. Образцы были изготовлены из тонкоизмельченных оксидов и карбонатов соответствующих элементов методом твердофазного синтеза при температуре 850–950°C с последующим обжигом при 1050–1200°C. Для измерений использовали образцы в виде плоскопараллельных пластин толщиной 1.02 mm и площадью 58 mm². Электроды наносились путем вжигания серебряной пасты.

Термостимулированные токи I измерялись при нагреве короткозамкнутого образца в диапазоне температур +20–+200°C при следующей предыстории образцов: а) нагрев до +200°C, охлаждение до комнатных температур (T_{RT}), измерение $I(T)$; б) нагрев до +200°C, охлаждение до (T_{RT}), длительная выдержка, измерение $I(T)$.

Рис. 1 иллюстрирует зависимости термостимулированного тока $I(T)$ в неполяризованной керамике состава $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{8.5}\text{Ti}_2\text{Nb}_4\text{O}_{27}$. Видно, что в области температур порядка 120–130°C, т. е. при тех же температурах и при той же предыстории образца, при которых ранее [1] наблюдался максимум $\epsilon'(T)$, фиксируется максимум $I(T)$. При последующем охлаждении образца максимум $I(T)$ (так же как и максимум $\epsilon'(T)$) не проявляется. В составе $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{8.5}\text{Ti}_2\text{Ta}_4\text{O}_{27}$ как при нагреве, так и при охлаждении аномалий тока не наблюдается в данном диапазоне температур.

Из рис. 2, на котором представлены температурные зависимости токов $I(T)$ при различных скоростях нагрева образца $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{8.5}\text{Ti}_2\text{Nb}_4\text{O}_{27}$, следует, что с увеличением скорости нагрева температуры максимумов $I(T)$ существенно повышаются. Энергию активации W определяли по одному из методов, представленных в [2], и получили значения $W \approx 0.5$ eV

$$W = \frac{kT_{m1}T_{m2}}{T_{m1} - T_{m2}} \ln \frac{\beta_1 T_{m2}^2}{\beta_2 T_{m1}^2},$$

где k — постоянная Больцмана, T_{m1} и T_{m2} — температуры максимумов токов при скорости нагрева β_1 и β_2 соответственно.

Следует отметить, что такие значения W достаточно часто встречаются в работах по изучению релаксационных процессов в перовскитных сегнетоэлектриках, происходящих как при $T < T_c$, так и при $T > T_c$. В одних случаях это связывается с появлением объемного заряда [3], в других — с процессами взаимодействия точечных дефектов с доменными границами [4,5]. Поскольку

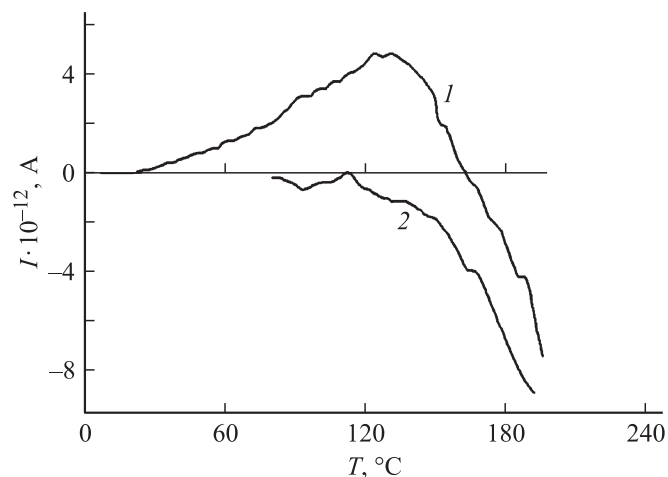


Рис. 1. Температурные зависимости тока $I(T)$ в неполяризованной керамике состава $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{8.5}\text{Ti}_2\text{Nb}_4\text{O}_{27}$. 1 — нагрев после длительной выдержки при T_{RT} , 2 — охлаждение от $T = 200^\circ\text{C}$.

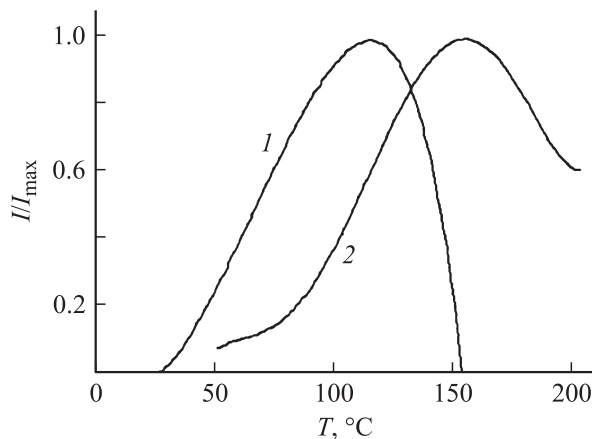


Рис. 2. Температурные зависимости нормированных значений тока в керамике $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{8.5}\text{Ti}_2\text{Nb}_4\text{O}_{27}$ при различных значениях скорости нагрева, β , $\text{K} \cdot \text{min}^{-1}$: 1 — 3, 2 — 18.

вклад доменной структуры в релаксационные процессы в сегнетоэлектрических материалах вдали от температуры фазового перехода становится существенным лишь в относительно сильных полях [6], можно считать, что этот вклад в проявление аномалий тока и инфранизкочастотного диэлектрического отклика в $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{8.5}\text{Ti}_2\text{Nb}_4\text{O}_{27}$ не играет существенной роли. Поэтому, вероятнее всего, основными причинами проявления отмечаемых аномалий в составе $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{8.5}\text{Ti}_2\text{Nb}_4\text{O}_{27}$ при $T \ll T_c$ являются физические процессы, в основе которых лежат полупроводниковые явления, т.е. возникновение барьерных слоев и образование ловушек для неравновесных носителей заряда в существенно неоднородной структуре (наличие межзеренных, межкристаллитных, фазовых границ).

Таким образом, появление как диэлектрических аномалий на инфранизких частотах при слабых измерительных полях [2], так и аномалий токов только в „состаренных“ образцах $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{8.5}\text{Ti}_2\text{Nb}_4\text{O}_{27}$ и только в режиме нагрева может обуславливаться разрушением (отжигом) ловушек с последующей рекомбинацией неравновесных носителей заряда. С таким предположением согласуется и величина энергии активации (0.5 eV) с типичными значениями W , наблюдаемыми в сегнетоэлектриках-полупроводниках [6]. Следует отметить, что в составе $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{8.5}\text{Ti}_2\text{Ta}_4\text{O}_{27}$ аномалии тока практически не выражены, что согласуется с поведением диэлектрического отклика [1]. Такие отличия в поведении как токовых, так и диэлектрических характеристик могут быть связаны с процессами изготовления указанных материалов. Например, из приведенных в [7] данных по теоретической плотности керамики $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{8.5}\text{Ti}_2\text{Ta}_4\text{O}_{27}$ (8.974 g/cm^3) и керамики $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{8.5}\text{Ti}_2\text{Nb}_4\text{O}_{27}$ (7.994 g/cm^3) следует, что плотность ниобатной керамики несколько ниже. Это в последующем (при спекании) может выражаться в различии отмеченной выше гетерогенной структуры с межзеренными и межфазными границами. В частности, это может приводить к тому, что в $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{8.5}\text{Ti}_2\text{Nb}_4\text{O}_{27}$

наряду с сегнетоэлектрическими свойствами становятся более заметными, чем в $\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{8.5}\text{Ti}_2\text{Ta}_4\text{O}_{27}$, некоторые полупроводниковые эффекты.

Список литературы

- [1] А.И. Бурханов, В.Н. Нестеров, Ю.В. Кочергин, К. Борманис, А. Калване, М. Дамбекалне. Изв. РАН. Сер. физ. **71**, 10, 1453 (2007).
- [2] Ю.А. Гороховатский, Г.А. Бордовский. Термоактивационная токовая спектроскопия высокоомных диэлектриков и полупроводников. Наука, М. (1991). 248 с.
- [3] А.В. Турик, В.Я. Машенко, Г.И. Хасабова, А.Д. Феронов. ФТТ **17**, 8, 2389 (1975).
- [4] С.А. Гриднев, Л.Н. Коротков. Сегнетоэлектрики и пьезоэлектрики. Сб. науч. тр. / Под ред. В.М. Рудяка. Калинин. гос. ун-т, Калинин (1989). С. 16.
- [5] А.И. Бурханов, С.А. Сатаров, А.В. Шильников, К. Борманис, А. Штернберг, А. Калване. Изв. РАН. Сер. физ. **68**, 7, 978 (2004).
- [6] В.М. Фридкин. Сегнетоэлектрики-полупроводники. Наука, М., (1976). 408 с.
- [7] А.А. Спрогис, Л.А. Шебанов, В.И. Димза, А.И. Калване. Фазовые переходы и сопутствующие им явления в сегнетоэлектриках. Сб. науч. тр. / Под ред. Л.А. Шебанова. Латв. гос. ун-т, Рига (1984). С. 63.