

**ПОВЕДЕНИЕ УПРУГИХ СВОЙСТВ МОНОКРИСТАЛЛА SBN:61, ДОПИРОВАННОГО
КОБАЛЬТОМ, В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СТЕПЕНИ ПОЛЯРИЗАЦИИ ОБРАЗЦА**

© 2016 г. К.П. ГУЖАКОВСКАЯ, А.И. БУРХАНОВ*, Л.И. ИВЛЕВА**

Волгоградский государственный университет,
*Волгоградский государственный технический университет,
**Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва
e-mail: fiz1@mail.ru, burkhanov@inbox.ru

Известно, что в релаксорных сегнетоэлектриках имеются особенности в процессах переключения поляризации, так называемые процессы замораживания. Такие особенности проявлялись, например в прорастании доменов одного знака [1], приводящие к проявлению униполярности материала. Ранее в [2] при изучении влияния освещения на процессы переключения поляризации в SBN:75+Cr была выявлена униполярность в поведении диэлектрической проницаемости. В [3] показана возможность исследования особенностей процесса переключения с использованием метода измерения степени поляризованности материала по характеру поведения упругих свойств сегнетоэлектрика-релаксора SBN:61.

Целью настоящей работы является исследование переполаризационных процессов в материале SBN:61, допированном кобальтом, в зависимости предыстории материала по методике [3].

Образцы монокристаллов SBN для измерения ультразвука резонансным методом были изготовлены в виде брусков $19 \times 3 \times 3 \text{ мм}^3$. Electroды наносились на большие грани ($19 \times 3 \text{ мм}^2$), перпендикулярные полярной оси, методом вжигания серебряной пасты. При данных геометрических параметрах частота резонанса варьировалась в зависимости от температуры образцов от 149kHz до 151kHz.

В данном случае пьезоэлектрический отклик монокристалла ниобата бария-стронция $\text{Sr}_{0.61}\text{Ba}_{0.39}\text{Nb}_{2-x}\text{O}_6:\text{Co}_x^{3+}$ при $x=0.01$ (SBN:61+Co) исследовался в зависимости от прикладываемого внешнего смещающего постоянного поля E при температуре, расположенной вблизи температуры фазового перехода, но не превышающей T_m на низких частотах (где $T_m \approx 72^\circ\text{C}$ – температура максимума диэлектрической проницаемости ϵ' при частоте 1kHz). Перед измерениями для устранения влияния предыстории образцы отжигали в течение 1 часа без поля при температуре $T=150^\circ\text{C}$ (т.е. $T \sim 2T_m$). Затем охлаждали до комнатной температуры $T \approx 25^\circ\text{C}$, при которой они старели в течение 3 суток (72 часов) без поля. После старения материал был нагрет до $T=61^\circ\text{C}$. При данной температуре проводились измерения зависимости величины сигнала (пьеzoотклика) от смещающего поля E , подобно тому, как измерялись реверсивные зависимости диэлектрической проницаемости в [2]. Поле E подавалось от 0 до $+3.3 \text{ kV/cm}$ ступенчатым образом через $0,33 \text{ kV/cm}$, затем в обратном порядке до 0 и с переключением полярности до -3.3 kV/cm . Затем от отрицательного поля -3.3 kV/cm возвращались через 0 с переключением полярности к значению $+3.3 \text{ kV/cm}$.

Учитывая, что величина пьеzoотклика пропорциональна степени заполяризованности («монодоменности») образца, то по поведению резонансного сигнала U можно отчетливо видеть картину исчезновения или возникновения пьеzoотклика в области пороговых (коэрцитивных) полей.

Экспериментальные результаты

На рис. 1 представлены реверсивные зависимости сигнала пьеzoэлектрического

отклика $U(E)$ в SBN:61+Co при температуре $T=61^\circ\text{C}$ в начальный момент сразу после отжига. Из рис. 1 видно, что при начальном включении поля сигнал не проявляется вплоть до достижения определенного значения поля $E=+0.67\text{ kV/cm}$, когда U резко возрастает и, практически сразу, выходит на насыщение и сохраняется на этом уровне до достижения максимальных положительных полей $E=+3.3\text{ kV/cm}$, таким образом образуется плато. При обратном ходе от максимальных положительных полей до нуля значение сигнала сохраняется на уровне плато. При достижении нулевого значения поля и переходе в область отрицательных полей при определенной величине отрицательного поля сигнал резко уменьшается, затем исчезает практически полностью в области полей E от -0.67 kV/cm до -1 kV/cm , которые могут характеризовать значения коэрцитивного поля E_c и в дальнейшем с ростом значений величины отрицательных полей сигнал U постепенно выходит на насыщение. В обратном ходе также проявляется гистерезисное поведение. Наблюдается выход на максимальное значение, которое по величине U практически в 2 раза меньше первоначальных значений U на плато. Такое поведение сохраняется до $E=0$. При переходе в область положительных полей переключение в виде резкого спада и последующего роста после полного исчезновения наблюдается при значительно большем поле $E \approx 1\text{ kV/cm}$, чем та величина E , при которой появлялся сигнал на изначально отожженном материале. После переключения измерение сигнала U производилось до максимальных положительных полей $E=+3,3\text{ kV/cm}$.

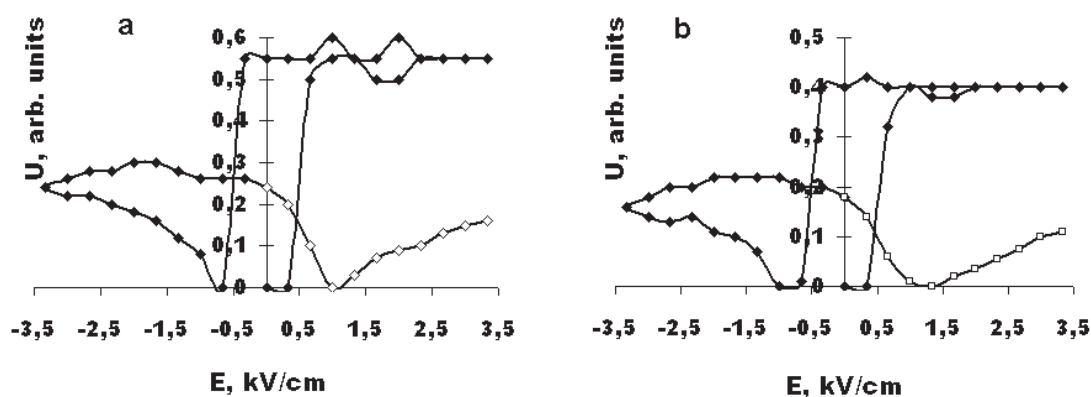


Рис. 1. Серия измерений (a) и (b) поведения пьезоэлектрического отклика монокристалла SBN:61+Co при температуре $T=61^\circ\text{C}$ сразу после предварительного отжига при $T=150^\circ\text{C}$.

После проведения данной серии измерений смещающее поле отключали, предварительно уменьшая его от $E=+3,3\text{ kV/cm}$ до нуля. Образец оставляли стареть без поля в течение трех суток (≈ 72 часа) при комнатной температуре. Состаренный в таких условиях материал был предварительно нагрет до $T=61^\circ\text{C}$. Измерения также начинали проводить от $E=0$ в сторону роста положительных полей. Результаты измерений представлены на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что при увеличении поля от начального значения ($E=0$) сигнал несколько уменьшается до подачи поля величиной $E=+1\text{ kV/cm}$, при котором происходит переключение сигнала и на несостаренном материале (рис. 1).

Далее с увеличением поля до максимального положительного значения $E=+3.3\text{ kV/cm}$ и при обратном проходе до нуля сигнал идет с гистерезисом – увеличивается до уровня $U \approx 0.2$, что соизмеримо со значениями для отожженного материала (рис. 1), где $U \approx 0.4-0.5$. При нулевом поле и переходе в отрицательную область величина сигнала спадает до нуля в области полей $E \approx -1.5\text{ kV/cm}$. По сравнению с отожженным образцом поле для сигнала с нулевым значением также сдвинулось на величину $\Delta E = 0.9\text{ kV/cm}$. После минимума сигнал вновь увеличивается. Насыщение не достигается, так как прикладываемого поля для этого недостаточно. Прохождение назад от максимального отрицательного поля $E=-3.3\text{ kV/cm}$ к нулю показывает гистерезисное поведение сигнала, максимум наблюдается в области тех же полей $E \approx -1.7\text{ kV/cm}$, где и минимум. Уменьшение сигнала до нуля в дальнейшем при переключении полярности

проявляется при $E \approx +0.5 \text{ kV/cm}$ – то есть по абсолютной величине значительно ниже, чем в отрицательных полях.

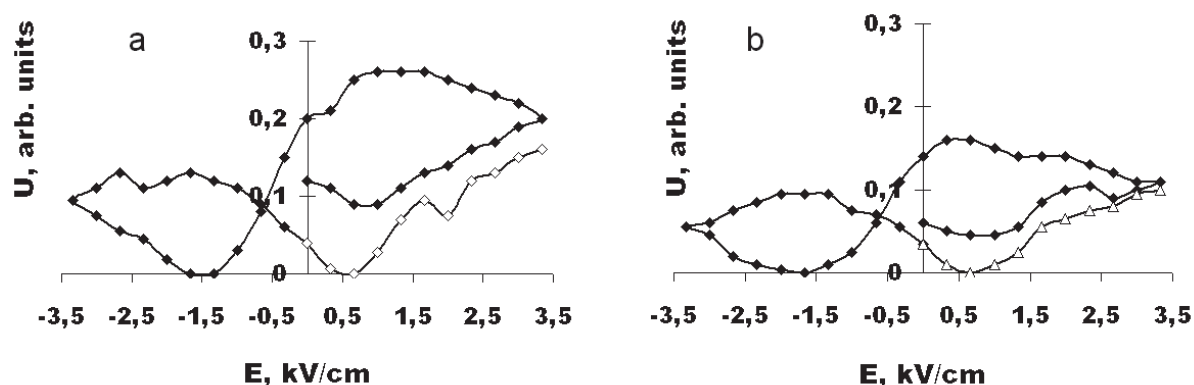


Рис. 2. Серия измерений (а) и (б) поведения пьезоэлектрического отклика монокристалла SBN:61+Co при температуре $T=61^\circ\text{C}$, состаренного при комнатной температуре $T=25^\circ\text{C}$ в течение 72 часов.

Таким образом, из поведения реверсивных зависимостей сигнала $U(E)$ можно заключить, что даже первый цикл переключения уже уменьшает величину сигнала U в 2 раза (рис. 1, а). Измерения на состаренном образце показывают, что униполярность увеличивается (величина сигнала становится еще меньше) и при переключениях происходит дальнейшее уменьшение сигнала. Такое поведение хорошо согласуется и с поведением реверсивных зависимостей диэлектрической проницаемости ϵ' материал SBN:75+Cr [2] и с явлениями эффектов замораживания в SBN:75 при низких температурах и данными работы [1], указывая на то, что в релаксорах при переключениях существенная часть доменов выключается из процессов релаксации поляризации.

В дальнейшем планируется провести детальное исследование упругих свойств материала при температурах, близких к T_m , а также изучение воздействия освещения в частности на пьезоэлектрический отклик, учитывая поведение скорости ультразвука в рассматриваемых материалах и коэффициента затухания α .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волк Т.Р., Иванов Н.Р., Исаков Д.В., Ивлева Л.И., Лыков П.А. Особенности электрооптических свойств кристаллов ниобата бария-стронция и их связь с доменной структурой // ФТТ. 2005. Т47. № 2. С.293-299
2. Гужаковская К.П., Бурханов А.И., Ивлева Л.И. Влияние освещения на поляризационные и переполаризационные процессы в монокристалле SBN-75+0.01at.%Cr. // «INTERMATIC-2012» / Материалы Международной НПК, 3-7 декабря 2012 г. Москва. - М.: МИРЭА, 2012, Ч.2, С. 134-137.
3. Guzhakovskaya K.P. The behavior of the elastic properties in SBN:61 single crystal doped with cobalt at changing of sample polarization degree // «PHENMA 2016» / Surabaya, Indonesia, 19-22 July 2016, P. 79-80. [Электронный ресурс]. – режим доступа: <http://phenma2016.math.sfedu.ru>