

ФИЗИКА СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ

УДК 537.226.33

ПЕРЕПОЛЯРИЗАЦИЯ МОНОКРИСТАЛЛОВ ТГС, ЛЕГИРОВАННЫХ ИОНАМИ МЕДИ

В. Ф. Горностаев

Тверской государственный университет
кафедра общей физики

Настоящая работа посвящена изучению полевых и временных зависимостей эффекта Баркгаузена при неоднократной квазистатической переполаризации монокристалла ТГС, легированных ионами меди Cu^{2+} различной концентрации (2,2; 6,8; 7,3; 7,4)·10⁻³ вес. %. Изучено также влияние термического отжига кристаллов на протекание этих процессов.

Ключевые слова: эффект Баркгаузена, легированные кристаллы триглицинсульфата, квазистатическая переполаризация

POLARIZATION REVERSAL OF TGS SINGLE CRYSTALS DOPED WITH COPPER IONS

V. F. Gornostaev

Tver State University
Chair of General Physics

The presented work is devoted to the study of field and temporal dependence of Barkhausen effect during repeated quasistatic polarization reversal of TGS single crystals doped with Cu^{2+} ions of different concentration (2,2; 6,8; 7,3; 7,4)·10⁻³ wt.%. Also studied is the effect of thermal annealing on the course of these processes.

Keywords: Barkhausen effect, doped tryglycine crystals, quasistatic polarization reversal

Введение. Исследования влияния различных примесей на физические свойства монокристаллов триглицинсульфата (см., например, [1–3]) приобретают особую важность в свете проблемы сохранения и разрушения поляризованного состояния сегнетоэлектриков, в частности, при получении кристаллов с заданными физическими свойствами.

Настоящая работа посвящена экспериментальному исследованию полевых и временных зависимостей эффекта Баркгаузена при неоднократной квазистатической переполаризации монокристалла ТГС, легированных ионами меди Cu^{2+} различной концентрации

$(2,2 \dots 7,4) \cdot 10^{-3}$ вес. %. Кроме того, проведено исследование влияния термических отжигов на протекание этих процессов.

Методика эксперимента. Экспериментальная установка и методика измерений принципиально не отличались от использовавшейся в работе [4]. Изменение электрического состояния кристалла осуществлялось методом коммутаций электрического поля. Исследования проведены на образцах Y-среза монокристалла ТГС следующих толщин: 0,92; 0,93; 0,95 и 1,25 мм при трех длительностях импульсов переполяризующего поля T : 1; 3; 5 мин. Electroды на образцы наносились напылением серебра в вакууме. Исследования проведены при температуре $(20 \pm 0,5)^\circ\text{C}$. Термический отжиг кристаллов осуществлялся в закороченном состоянии в течение 5 часов при $t = 94^\circ\text{C}$.

Результаты и обсуждение. Как видно из рис. 1, в слабых полях характер зависимости $N = f(n)$ (N – число скачков Баркгаузена для данного электрического поля, а n – число коммутаций поля) носит явно неоднозначный характер и существенным образом зависит от длительности импульсов переполяризующего поля.

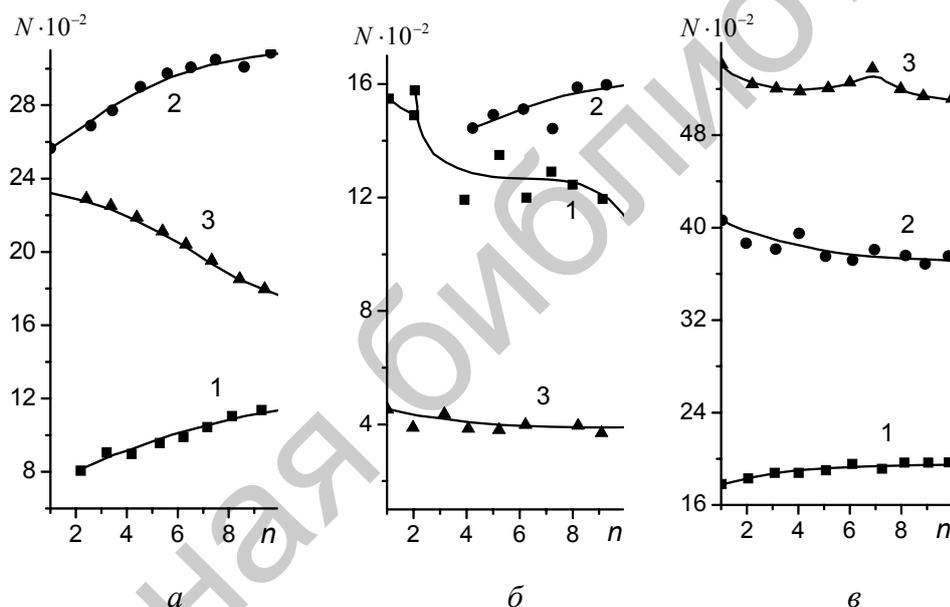


Рис. 1. Зависимость числа скачков Баркгаузена от количества коммутаций поля. а) $C = 2,2 \cdot 10^{-3}$ вес.%, $E = 20 \text{ В} \cdot \text{см}^{-1}$; б) $C = 6,8 \cdot 10^{-3}$ вес.%, $E = 25 \text{ В} \cdot \text{см}^{-1}$; в) $C = 7,3 \cdot 10^{-3}$ вес.%, $E = 35 \text{ В} \cdot \text{см}^{-1}$. $T = 1$ мин. (кривые 1), 3 (кривые 2) и 5 (кривые 3)

В более высоких полях (44 ...140 В/см) в функции распределения $N = f(n)$ при незначительном росте заметно насыщение. В этих же полях для образцов с концентрацией $C = (6.8; 7.3; 7.4) \cdot 10^{-3}$ вес. % обнаруживается значительный разброс в указанном выше распределении (рис. 2).

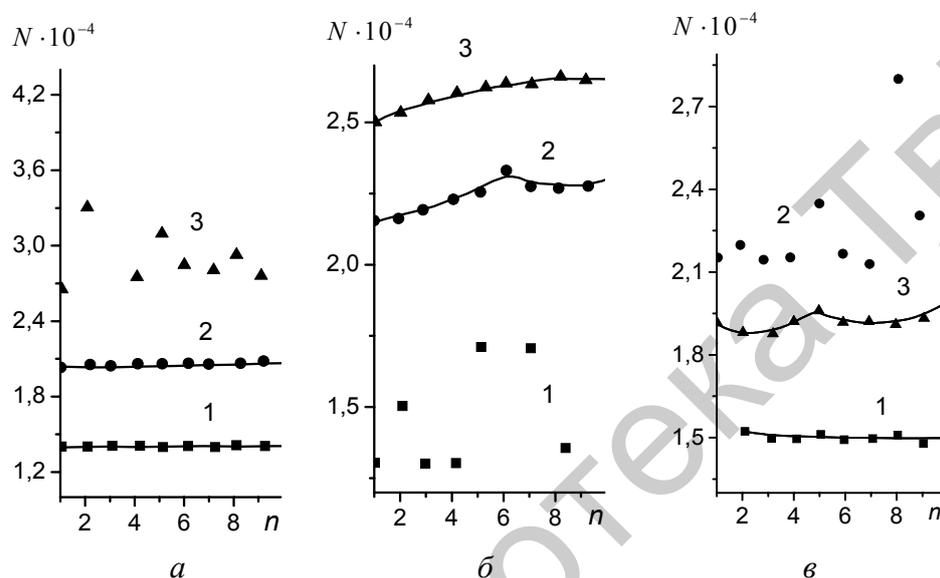


Рис. 2 Зависимость числа скачков Баркгаузена от количества коммутаций поля: а) $C = 6,8 \cdot 10^{-3}$ вес.%, $E = 10^9$ В·см⁻¹; б) $C = 7,3 \cdot 10^{-3}$ вес.%, $E = 65$ В·см⁻¹; в) $C = 7,4 \cdot 10^{-3}$ вес.%, $E = 82$ В·см⁻¹. $T = 1$ мин. (кривые 1), 3 (кривые 2) и 5 (кривые 3)

Из анализа кривых распределения числа скачков во времени проведена оценка характерных времён релаксации при каждой коммутации электрического поля путём построения зависимости $\ln(1 - N/N_0) = f(t)$. Из этих кривых следует, что в области слабых электрических полей при различных T с увеличением n время релаксации может как расти, так и уменьшаться (рис. 3). В более высоких полях (82, 83 и 126 В·см⁻¹) имеет место тенденция к появлению двух, а в отдельных случаях и трёх времён релаксаций. С увеличением количества коммутаций первое время растёт, второе – уменьшается, третье – несколько возрастает (рис. 4).

При небольших концентрациях ионов меди возможно улучшение диэлектрических свойств монокристалла ТГС, поскольку увеличивается подвижность доменных стенок [5], и, следовательно, уменьшается время, отвечающее за этот процесс.

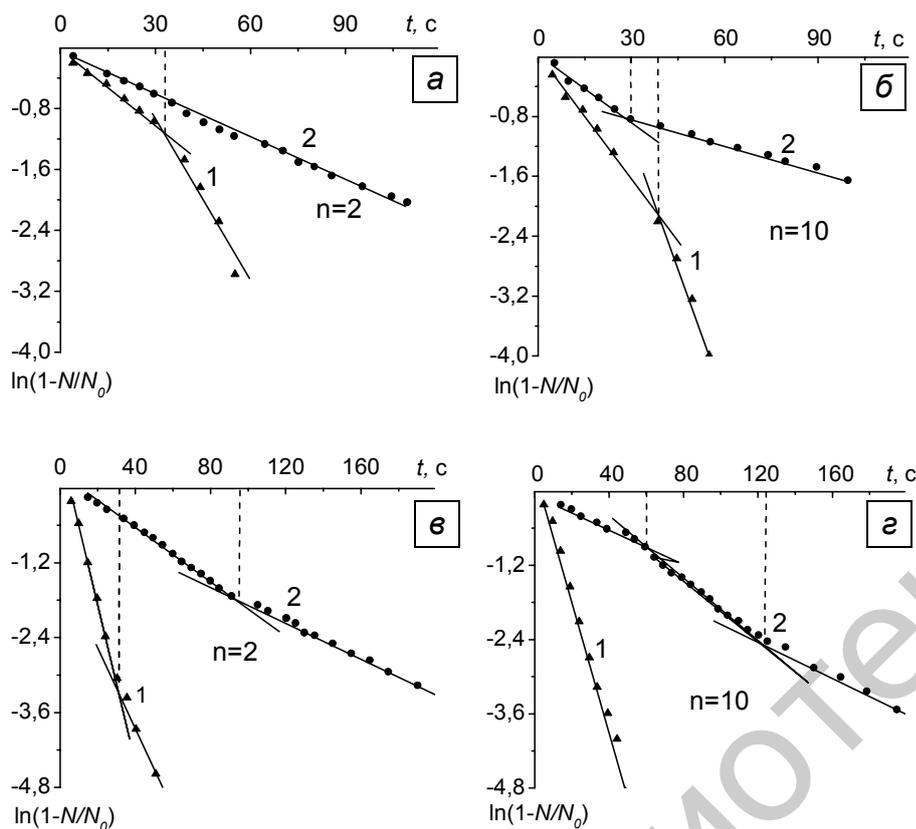


Рис. 3. Временная зависимость $\ln(1 - N/N_0)$:

$C = 2,2 \cdot 10^{-3}$ вес. %, $E = \pm 20$ В·см⁻¹ (а, б)

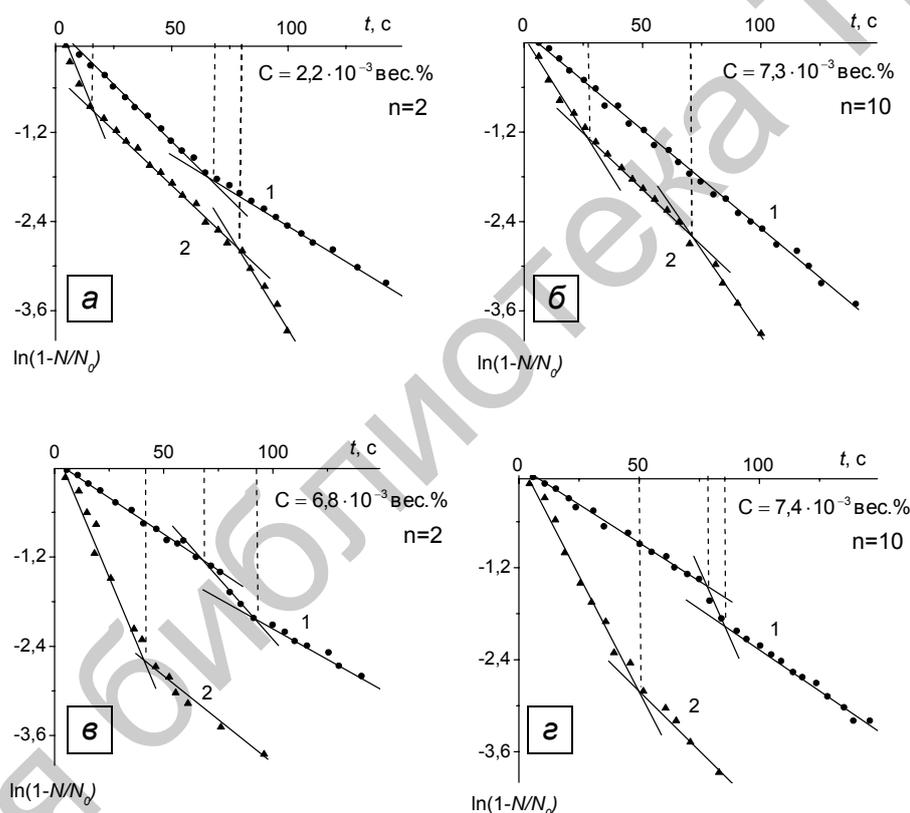
$C = 7,3 \cdot 10^{-3}$ вес. %, $E = \pm 35$ В·см⁻¹ (в, г).

$T = 1$ и 5 мин. (кривые 1 и 2, соответственно)

С повышением концентрации ионов меди наблюдается ухудшение диэлектрических свойств из-за закрепления доменной структуры примесью [6]. В этом случае ионы меди, образуя устойчивые комплексы с глицином, затрудняют переполяризацию, что приводит к росту соответствующего времени релаксации. Рост числа коммутаций поля способствует этому процессу. Третье время релаксации, по-видимому, отображает процесс изменения внутреннего поля на противоположное. Как видно из релаксационных зависимостей, это время растёт с ростом n для всех приведённых концентраций Cu^{2+} .

Рост числа коммутаций, с нашей точки зрения, увеличивает вероятность возникновения процессов, аналогичных наблюдаемым при длительных выдержках кристалла под полем выше «порогового» (об

этом свидетельствует запаздывание скачков Баркгаузена после изменения его на противоположное). Как известно [8], в этом случае в кристалле формируется поле, направление которого противоположно внешнему, а его величина растёт с увеличением времени выдержки. Рост внутреннего поля сопровождается уменьшением действующего (эффективного $E_{эфф}$) значения переполаризующего поля внутри кристалла. Возрастая с увеличением T и n , экранирующее поле $E_{экр}$ уменьшает $E_{эфф}$ тем больше, чем больше T и n . Влияние этого процесса на число скачков и время переполаризации кристалла существенно зависит от величины внешнего поля, в котором производится коммутация поля.



Р и с . 4. Временная зависимость $\ln(1 - N/N_0)$:

а, б – кривая 1 – $E=64 \text{ В}\cdot\text{см}^{-1}$, $T=5$ мин. и кривая 2 – $E=126 \text{ В}\cdot\text{см}^{-1}$, $T=3$ мин.; в, г – кривая 1 – $E=83 \text{ В}\cdot\text{см}^{-1}$ и кривая 2 – $E=82 \text{ В}\cdot\text{см}^{-1}$

Наряду с процессом экранирования спонтанной поляризованности на процесс переполаризации в кристаллах ТГС заметное влияние оказывает экранирование внешнего поля [9], что становится особенно заметным при больших значениях T и n . Это,

естественно, приводит к увеличению времени переполаризации кристалла.

В легированных монокристаллах ТГС также обнаружены «запаздывания» в появлении скачков Баркгаузена после изменения знака поля на противоположное [7]. Однако, если в нелегированных кристаллах это время могло изменяться в значительных пределах (особенно с ростом числа коммутаций) вплоть до 50–80 секунд, то в легированных это время почти стабильно для множества случаев изменения поля и равно 3–5 с, только в отдельных случаях достигая 20 с. В целом же в легированных кристаллах ТГС характер зависимостей $N(n)$ и $N(E)$ при разных T , а также $\ln(1 - N/N_0) = f(t)$ при разных n , T напоминает аналогичные в нелегированных кристаллах ТГС (особенно это характерно для кристаллов с концентрацией ионов меди $C = 2,2 \cdot 10^{-3}$ вес. %).

Отжиг легированных кристаллов ТГС: Cu^{2+} приводит к таким же эффектам, что и при отжиге состаренных нелегированных кристаллов ТГС, т.е. отсутствует явление «запаздывания». Время релаксации, отвечающее за зародышеобразование, больше, чем в состаренных образцах – процесс переполаризации идёт медленнее, время переполаризации растёт с ростом T и n , пороговые поля (поля, соответствующие максимальному числу скачков переключения) смещаются в сторону высоких полей (рис. 5).

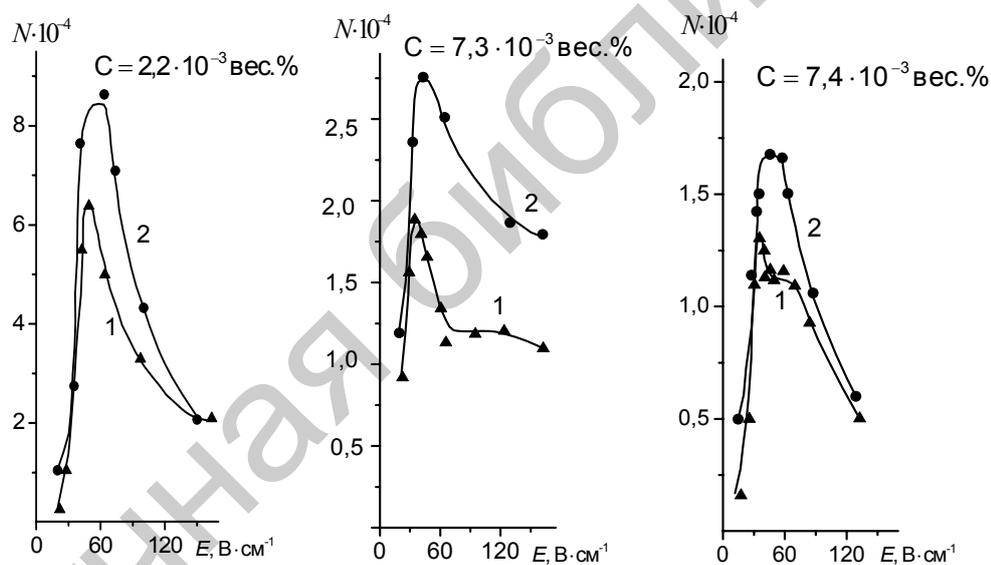


Рис. 5. Зависимость интегрального числа скачков Баркгаузена как функций поля при его коммутации: 1 – неотожжённый легированный кристалл ТГС, 2 – отожжённый.

Выводы

Легирование кристаллов ТГС ионами меди Cu^{2+} приводит к следующим эффектам:

1. При небольших концентрациях улучшаются диэлектрические свойства монокристалла ТГС, поскольку увеличивается подвижность доменных стенок.

2. С повышением концентрации наблюдается ухудшение диэлектрических свойств монокристалла ТГС, поскольку в этом случае ионы меди, образуя устойчивые комплексы с глицином, затрудняют переполаризацию.

3. Зависимость числа скачков переполаризации от количества коммутаций электрического поля в слабых полях носит неоднозначный характер и существенным образом определяется длительностью импульса поля.

4. В области слабых электрических полей при различных T с ростом n обнаружены два времени релаксации, отвечающие за механизмы процесса переполаризации.

5. В более высоких полях обнаружено и третье время релаксации, которое явным образом зависит от числа коммутаций эл. поля.

6. Обнаруженные запаздывания в появлении скачков Баркгаузена после изменения знака поля на противоположное в легированных монокристаллах ТГС значительно меньше таковых в нелегированных (3–5 секунд и только в отдельных случаях достигающих 20 секунд).

7. Отжиг кристалла во всех исследованных случаях снимает явление «запаздывания». При этом величина порогового поля при коммутации эл. поля смещается в сторону высоких полей.

Автор выражает благодарность Р. В. Кориной за предоставление образцов, А. И. Смирнову за помощь в проведении эксперимента и Н. Н. Большаковой за внимание к работе и обсуждение результатов.

Список литературы

1. Rudyuk V. M., Bogomolov A. A., Bolshakova N. N. et.al. Ferroelectrics. 1981.V. 33. P. 25.
2. Корина Р. В., Сегнетоэлектрики и пьезоэлектрики. Калинин, 1979, С. 156.
3. Варикаш В. М., Тарасевич Е. В. Сегнетоэлектрики и пьезоэлектрики. Калинин, 1980. С. 88.
4. Горностаев В. Ф., Смирнов А. И. Эффект Баркгаузена и его использование в технике. Калинин, 1981. С. 90.

5. Цедрик М. С., Кравченя Э. М. Структура и свойства сегнетоэлектриков. Минск, 1978. С. 94.
6. Желудев И. С., Лудупов Ц. Ж. // Изв. АН СССР, Сер. Физ. 1967. Т. 31. № 7. С. 1184.
7. Горностаев В. Ф. Сегнетоэлектрики и пьезоэлектрики. Тверь, 1981. С. 52.
8. Богомолов А. А., Иванов В. В., Рудяк В. М. // Изв. АН СССР. Сер. Физ. 1975. Т. 39. № 5. С. 1000.
9. Рудяк В. М. Процессы переключения в нелинейных кристаллах. М.: "Наука"/ 1986/ С. 112.

Об авторе:

ГОРНОСТАЕВ Виктор Фёдорович – канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры общей физики ТвГУ, Victor.Gornostaev@tversu.ru.