

## **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  $\text{Cu}^{2+}$  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  $\text{Cu}^{2+}$  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  $\text{Cu}^{2+}$  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. Электроды 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.

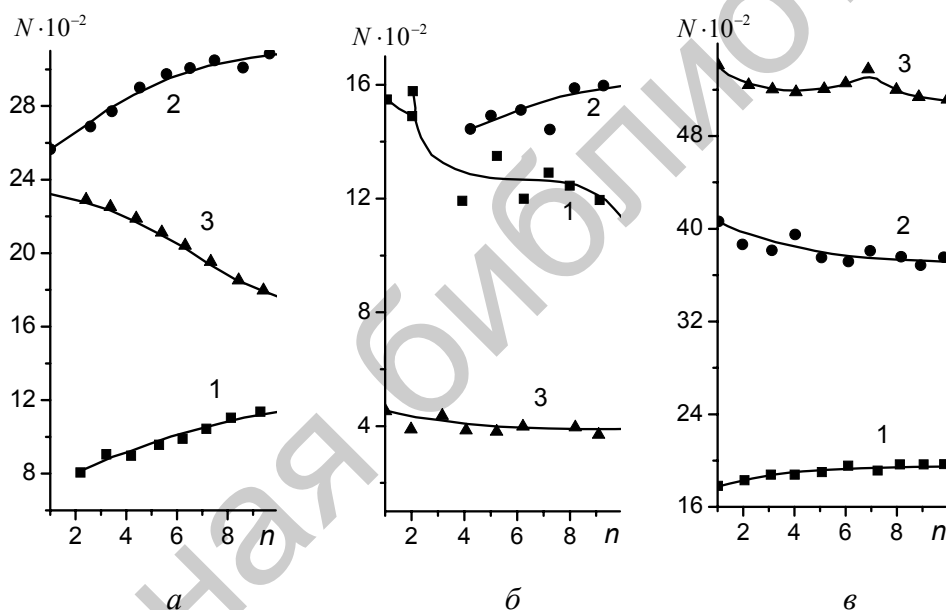


Рис. 1. Зависимость числа скачков Баркгаузена от количества коммутаций поля. а)  $C = 2,2 \cdot 10^{-3}$  вес.%,  $E = 20 \text{ В} \cdot \text{см}^{-1}$ ; б)  $C = 6,8 \cdot 10^{-3}$  вес.%,  $E = 25 \text{ В} \cdot \text{см}^{-1}$ ; в)  $C = 7,3 \cdot 10^{-3}$  вес.%,  $E = 35 \text{ В} \cdot \text{см}^{-1}$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

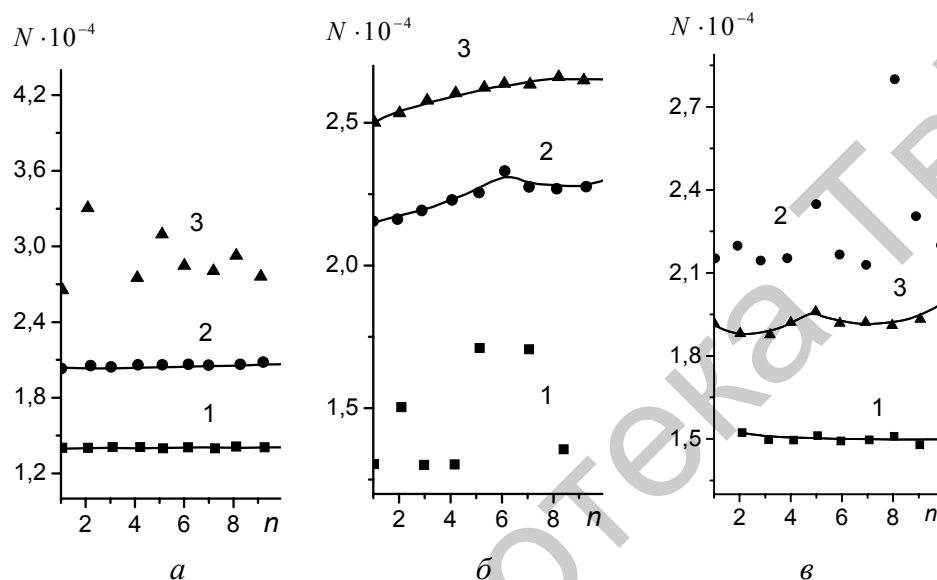


Рис. 2 Зависимость числа скачков Баркгаузена от количества коммутаций поля: а)  $C = 6,8 \cdot 10^{-3}$  вес.%,  $E = 10^9$  В·см<sup>-1</sup>; б)  $C = 7,3 \cdot 10^{-3}$  вес.%,  $E = 65$  В·см<sup>-1</sup>; в)  $C = 7,4 \cdot 10^{-3}$  вес.%,  $E = 82$  В·см<sup>-1</sup>.  $T = 1$  мин. (кривые 1),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

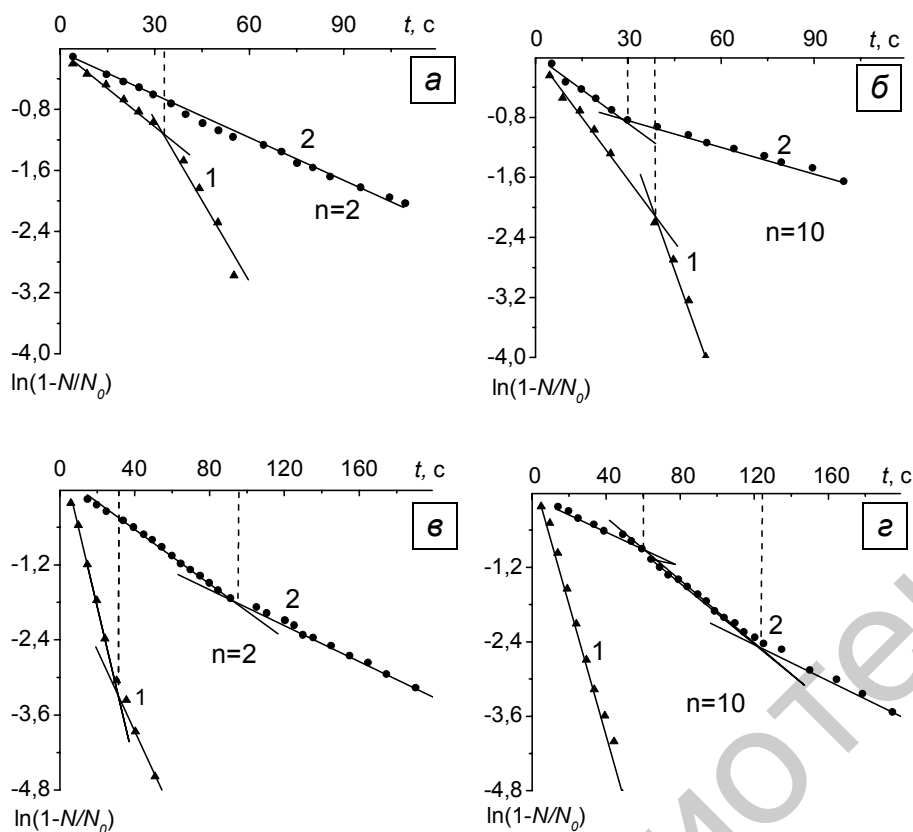


Рис. 3. Временная зависимость  $\ln(1 - N/N_0)$ :

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

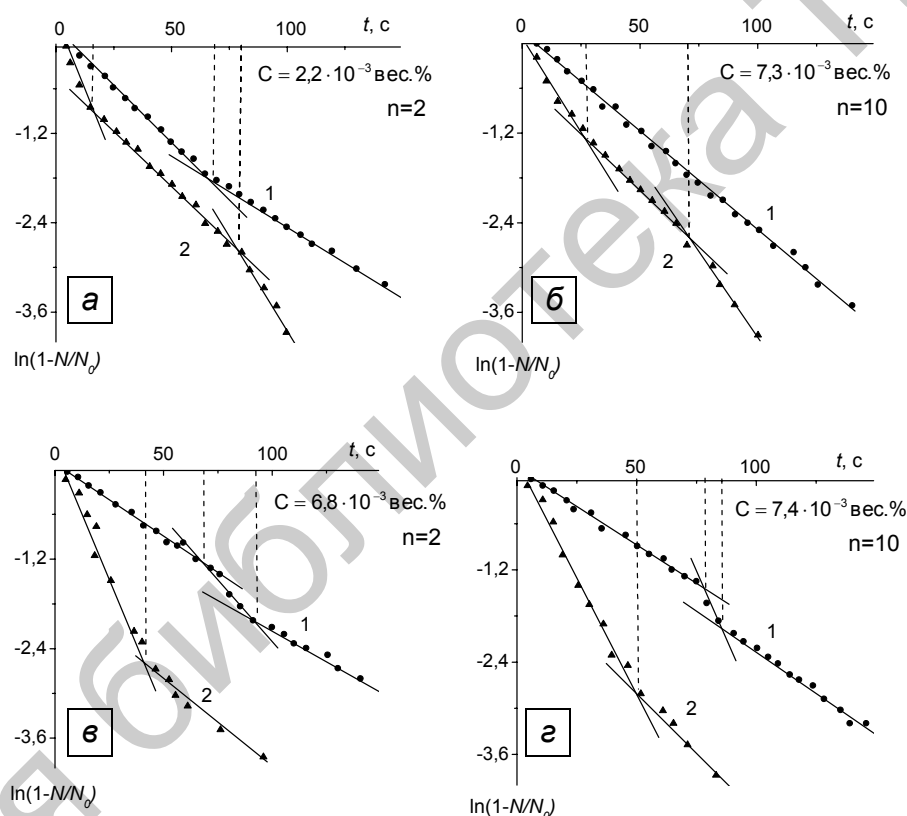
$C = 7,3 \cdot 10^{-3}$  вес. %,  $E = \pm 35$  В·см<sup>-1</sup> (в, г).

$T = 1$  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).

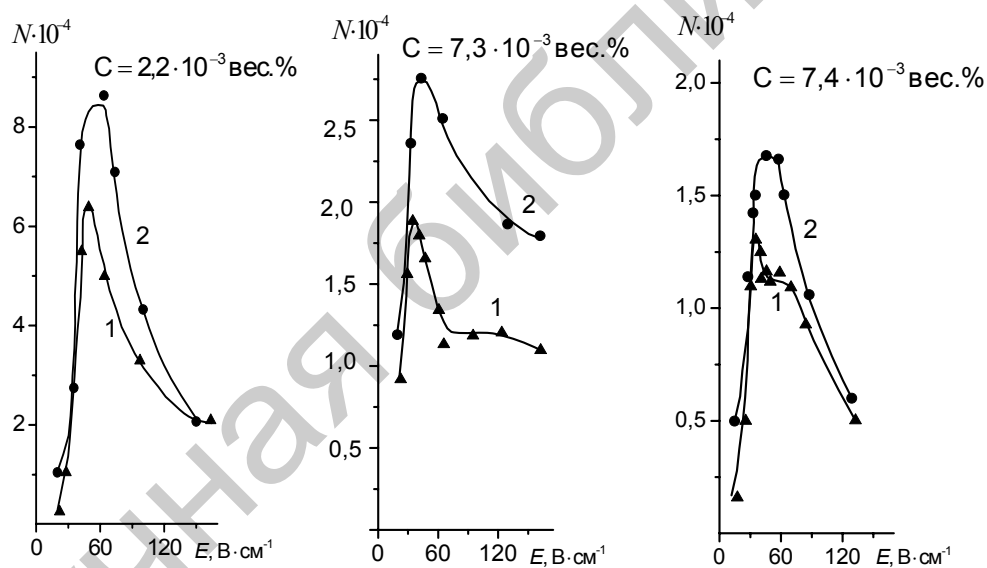


Рис. 5. Зависимость интегрального числа скачков Баркгаузена как функций поля при его коммутации: 1 – неотожжённый легированный кристалл ТГС, 2 – отожжённый.

### **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](mailto:Victor.Gornostaev@tversu.ru).