*КОНДЕНСИРОВАННЫЕ СРЕДЫ И МЕЖФАЗНЫЕ ГРАНИЦЫ, Том 10, № 2, С. 161—165*

*УДК 539.21:539.12.04*

# ВЛИЯНИЕ СВЕРХКОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПОЛЯРИЗАЦИЮ КРИСТАЛЛОВ ТГС

**© 2008 г. В. А. Терехов, С. Ю. Требунских, В. Н. Левченко, С. Д. Миловидова, А. Н. Манько, Э. П. Домашевская**

*Воронежский государственный университет, Университетская пл. 1, 394006 Воронеж, Россия*

Поступила в редакцию: 17.04.2008 г.

**Аннотация.** В работе изучены долговременные изменения поляризации униполярного кристалла триглицинсульфата, возникающие в результате воздействия сверхкоротких биполярных импульсов электромагнитного излучения с энергией импульса $2{,}5\times10^{-5}$ Дж, длительностью $\sim1\times10^{-8}$с и частотой следования импульсов 10 кГц. Изменения поляризации оценивались по стандартной схеме Сойера-Тауэра при постоянной амплитуде измерительного поля. Обнаружен ступенчатый рост поляризации во время воздействия и сразу после его прекращения, а также значительное снижение начальной поляризации после выдержки кристалла в течение суток в отсутствии внешних электрических полей.

**Ключевые слова:** кристаллы ТГС, поляризация, релаксация, воздействие, сверхкороткие импульсы электромагнитного излучения

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время развитие техники генерации электромагнитного излучения привело к созданию источников излучения, позволяющих формировать на выходе очень короткие ($\leq 10^{-9}$ с) биполярные и однополярные (видео) импульсы достаточно большой амплитуды $\sim10^3$ В, период следования которых велик ($10^{-2}\div10^{-6}$ с) по сравнению с длительностью импульса. Взаимодействие таких мощных сверхкоротких импульсов (СКИ) электромагнитного излучения (ЭМИ) с твердотельными структурами, когда времена нарастания и спада фронтов импульса сопоставимы или даже меньше характерных времен релаксационных процессов в диэлектриках и полупроводниках, могут вызывать изменения различных параметров облучаемых объектов, которые могут носить как временный характер (во время и после облучения), так и катастрофический [1, 2].

Экспериментальные исследования таких фундаментальных процессов нестационарного нелинейного преобразования энергии СКИ ЭМИ в энергию отклика твердых тел, особенно с учетом сложностей их адекватного описания теоретическими методами, представляются актуальными.

Среди широкого разнообразия твердотельных материалов важное место принадлежит диэлектрикам и особенно — так называемым «активным диэлектрикам», получившие свое название из-за способности проявлять качественно новые свойства под влиянием внешних воздействий. Особую группу среди них представляют сегнетоэлектрики — вещества, обладающие в определенном температурном интервале спонтанной, т.е. самопроизвольно возникающей поляризацией, которая может быть переориентирована внешним воздействием. Наличие в этих материалах сохраняющейся без поля поляризации делает их потенциальным объектом для записи и считывания информации. При этом из-за существенно меньшей толщины переходного слоя между доменами (доменной стенки) плотность записи информации в сегнетоэлектриках оказывается гораздо выше по сравнению с магнитными материалами [3].

Основной задачей данной работы было выявление и анализ особенностей процессов переполяризации кристаллов ТГС, возникающих под действием СКИ ЭМИ.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В настоящей работе проведены исследования влияния СКИ ЭМИ на поляризацию образца униполярного кристалла ТГС в процессе облучения, а

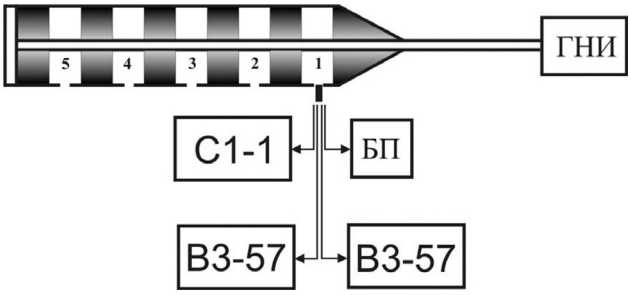


**Рис. 1.** Схема эксперимента по исследованию воздействия СКИ ЭМИ на поляризацию кристалла ТГС.

также после снятия внешнего воздействия по схеме, представленной на рис. 1.

Для исключения воздействия СКИ ЭМИ на измерительную аппаратуру образец помещался в согласованную широкополосную коаксиальную нагрузку (ШКН), которая представляет собой волновод, состоящий из двух проводящих цилиндров, помещенных один в другой и соединенных друг с другом посредством резистора (50 Ом) с одной стороны и разъемом СР-50 (для соединения с генератором наносекундных импульсов (ГНИ)) с другой. Во внешнем цилиндре вдоль всей его длины расположено 5 отверстий, закрытых заглушками, которые выполняют роль позиционных окон для размещения тестовых структур (1—5 на рис. 1). Полость между цилиндрами заполнена материалом, способным поглощать электромагнитное излучение (поглотителем) таким образом, чтобы по мере увеличения номера окна энергия воздействующего излучения уменьшалась.

Согласно схеме на рис. 1 на исследуемый кристалл ТГС с помощью блока питания (БП) подавалось измерительное напряжение $U_x$ = 41,5 В с частотой 50 Гц, которое контролировалось посредством одного из вольтметров В3-57, а с помощью второго вольтметра В3-57 регистрировалось значение $U_{эт}$, по величине которого можно судить о степени поляризации кристалла. При выбранном значении $U_x$ поляризация кристалла была достаточно далека от насыщения. Петля гистерезиса кристалла ТГС визуально наблюдалась на двухканальном осциллографе С1-1 и фиксировалась с помощью цифровой фотокамеры OLYMPUS C-2500L.

В ходе проведения экспериментов для генерации СКИ ЭМИ использовался генератор, задающий биполярный импульс с частотой следования 10 кГц, изображенный на рис. 2. Энергия импульса на выходе генератора — $2{,}4\times10^{-4}$ Дж. В первом окне согласованной широкополосной коаксиальной нагрузки, в котором производились эксперименты, энергия импульса имела значение $2{,}5\times10^{-5}$ Дж и амплитуду 1 кВ.

В эксперименте фиксировались значения $U_{эт}$, форма и размеры петли до воздействия, во время и после воздействия СКИ ЭМИ. Изменения поляризации оценивались по величине эталонного напряжения $U_{эт}$ по стандартной схеме Сойера-Тауэра. Поляризация образца определялась по формуле:

$$P = \frac{C_{эт} \cdot U_{эт}}{S},$$

где $C_{эт}$ = 1мкФ — эталонная емкость, $S$ = 10 мм$^2$ — площадь электрического контакта на образце.

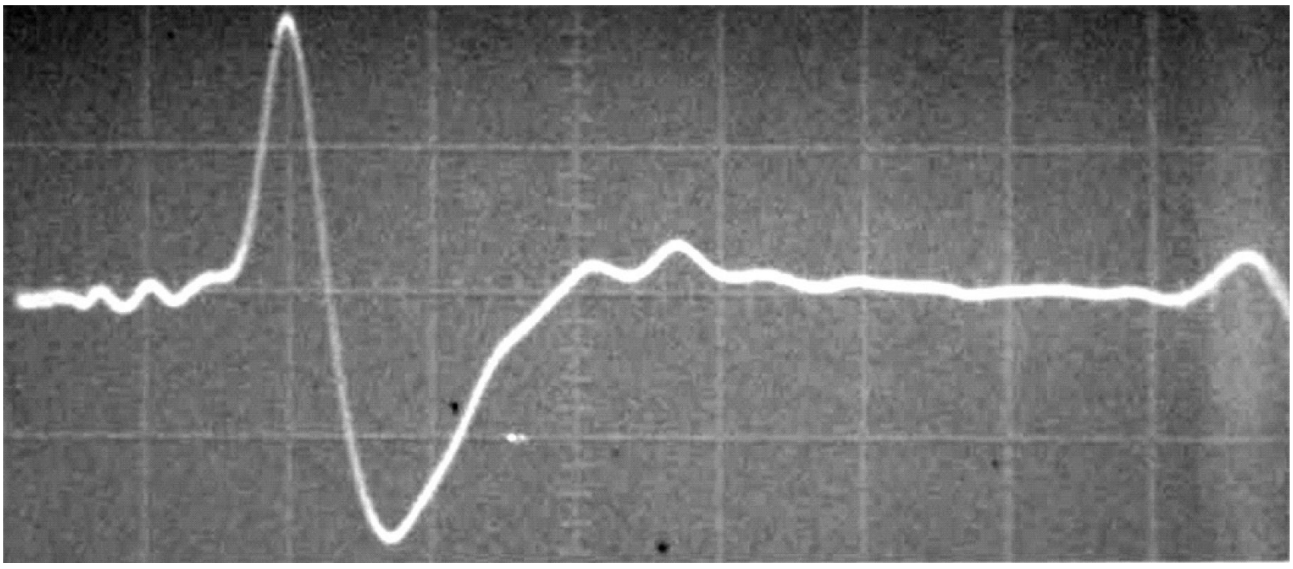

**Рис. 2.** Сигнал на выходе генератора. $x$ = 5 нс/дел., $y$ = 1 В/дел., ослабление — 800 раз.

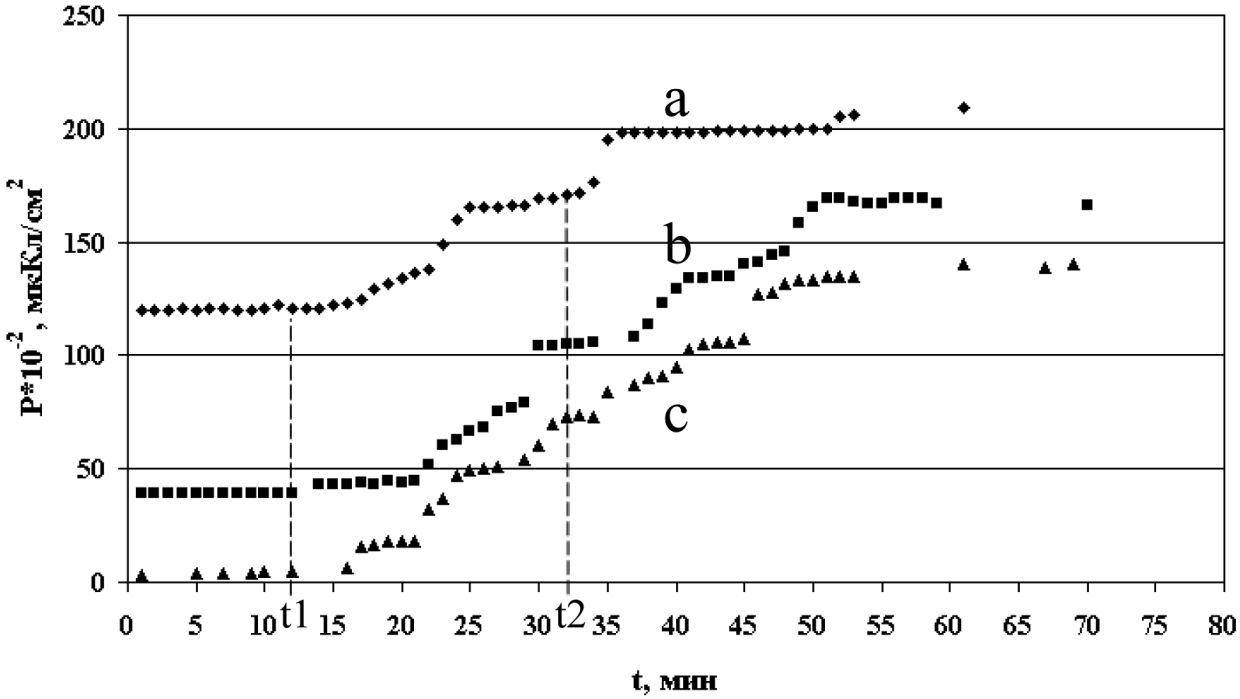


**Рис. 3.** Зависимости поляризации $P$ униполярного кристалла ТГС от времени: *a* — первый эксперимент по воздействию СКИ ЭМИ; *b* — повторный эксперимент по воздействию СКИ ЭМИ через сутки после первого; *c* — третий эксперимент по воздействию СКИ ЭМИ через сутки после второго; $t1$ — время включения генератора СКИ, $t2$ — время его выключения.

Исследования проводились на образцах «номинально» чистого кристалла ТГС, в котором присутствует определенное число дефектов, создающих в нем внутреннее смещающее поле и приводящих к формированию естественно-униполярного состояния в процессе роста [4].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 3 изображены зависимости поляризации P от времени для кристалла ТГС, находящегося в измерительном поле ($U_x$ = 41,5В), до воздействия ($t < t1$), во время воздействия СКИ ЭМИ ($t1 < t < t2$) и после воздействия ($t > t2$). Из зависимости "*a*" на рис. 3 видно, что начальное значение поляризации образца $P$ составляло 1,2 мкКл/см$^2$ и оставалось неизменным с течением времени. При включении воздействия СКИ ЭМИ ($t = t1$) начинает наблюдаться ступенчатое скачкообразное увеличение поляризации (кривая "*a*", рис. 3), причем величина скачка достигает 0,3 мкКл/см$^2$, а время между скачками составляет около 10 минут. После снятия воздействия СКИ ЭМИ ($t = t2$) ступенчатый рост поляризации продолжается некоторое время и выходит в насыщение при значении $P$ = 2,09 мкКл/см$^2$.

На зависимости "*b*" рис. 3 представлен результат повторного эксперимента с тем же кристаллом ТГС после его выдержки в течение суток в отсутствии измерительного поля ($U_x$ = 0В). Как видно из начального участка этой зависимости ($t < t1$), после суточной релаксации кристалла значение поляризации P стало равным 0,39 мкКл/см$^2$, т.е. уменьшилось почти в 3 раза по сравнению с зависимостью "*a*", но как и в первом эксперименте, оставалось неизменным во времени при значении измерительного поля $U_x$ = 41,5 В. При включении воздействия СКИ ЭМИ ($t = t1$) по-прежнему происходит ступенчатое скачкообразное увеличение поляризации, а после снятия воздействия СКИ ЭМИ ($t = t2$) продолжается ступенчатый рост поляризации с насыщением при $P$ = 1,66 мкКл/см$^2$. При этом число скачков увеличивается, а время между ними заметно уменьшается по сравнению с результатами эксперимента, проведенного сутками ранее (сравнить кривые "*a*" и "*b*" на рис.3).

По результатам третьего эксперимента (кривая "*c*", рис. 3), проведенного после еще одной выдержки кристалла в течение последующих суток в отсутствие измерительного поля, видно, что релаксация доменной структуры приводит к тому, что при включении измерительного поля начальное значение поляризации оказывается близким к нулевому (0,04 мкКл/см$^2$). Кроме того, при включении

СКИ ЭМИ число скачков и их частота появления увеличивается почти в два раза по сравнению с результатами первого эксперимента (сравнить кривые "*a*" и "*c*", рис. 3), а после выключения воздействия поляризация продолжает скачкообразно увеличиваться в течение некоторого времени.

Для демонстрации наблюдаемых изменений в поляризации кристалла ТГС на рисунке 4 представлены петли диэлектрического гистерезиса исследованного образца при том же значении измерительного поля. Хорошо видно, что домены в таком поле удается сориентировать только в одном направлении (правая часть петли на рис. 4, *a*). Фотографии на рис. 4 *a*, *b*, с отображают поведение петли во втором эксперименте (кривая "*b*" на рис. 3) до воздействия СКИ ЭМИ (*a*), во время воздействия (*b*) и после снятия воздействия (*c*). На рис. 4, *d* показана петля диэлектрического гистерезиса исследованного кристалла ТГС, соответствующая моменту включения измерительного поля в третьем эксперименте ($P$ = 0,04 мкКл/см$^2$).

Таким образом, результаты экспериментов по воздействию СКИ ЭМИ на процессы поляризации и деполяризации в кристалле ТГС показали, что

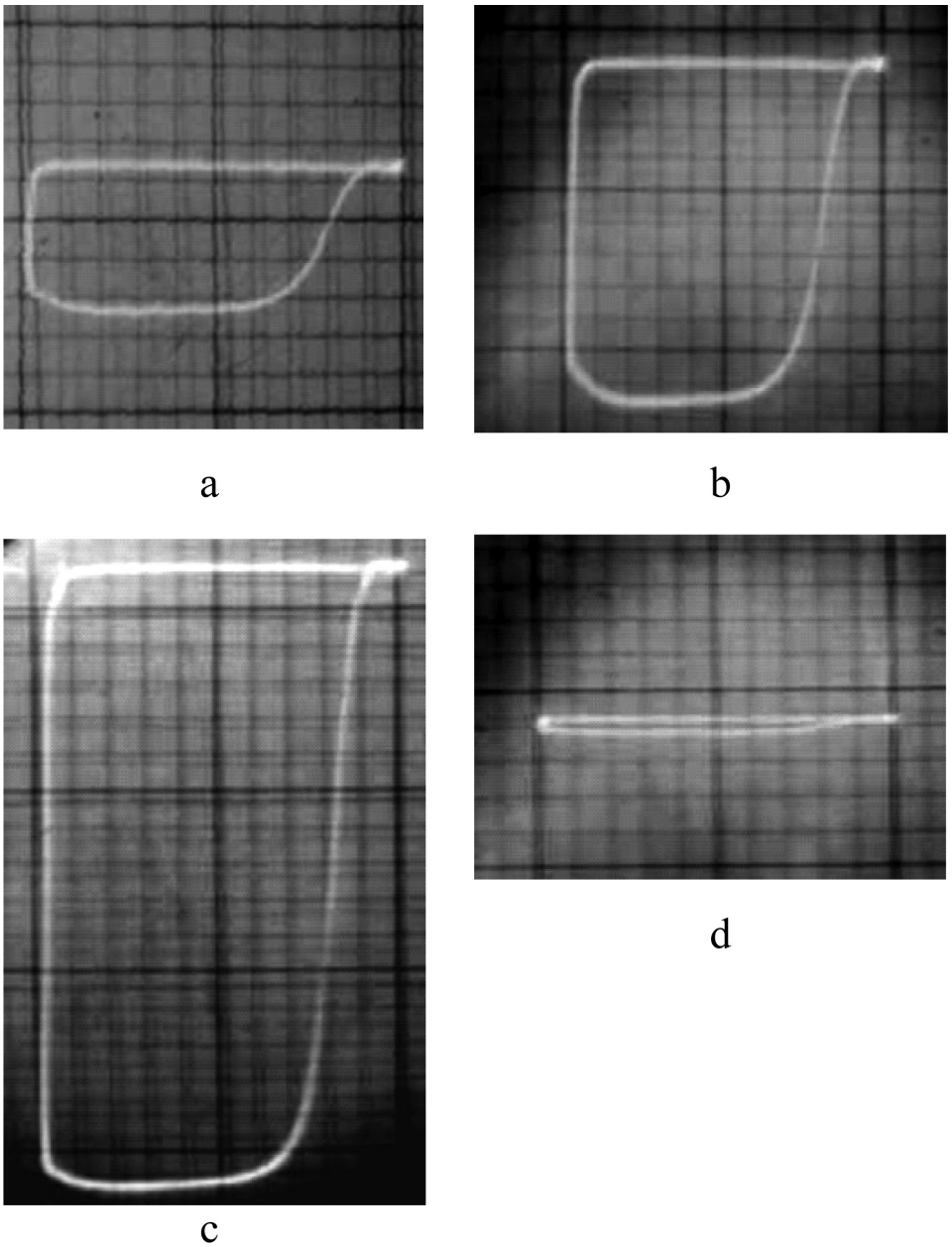


**Рис. 4.** Петли диэлектрического гистерезиса для униполярного кристалла ТГС. *a* — в отсутствие воздействия СКИ ЭМИ; *b* — во время воздействия СКИ; *c* — после выключения СКИ; *d* — через сутки после второго воздействия СКИ ЭМИ.

воздействие СКИ ЭМИ приводит через некоторое время к скачкообразному росту поляризации кристалла при постоянной амплитуде внешнего измерительного поля. Промежутки времени между наблюдаемыми скачками довольно значительны (~5—10 мин), что существенно больше времен, характерных для скачков Баркгаузена в подобных материалах [4, 5]. Относительное же изменение поляризации на ступеньке могут достигать десятков процентов и более от исходного значения. Т.е. под действием электромагнитных импульсов, амплитуда которых порядка 1 кВ, а длительность сопоставима с характерным временем инерционности доменных стенок ($10^{-9}$ с) [5], доменные границы приобретают заметную подвижность, в результате чего наблюдается и резкий рост поляризации кристалла при неизменном измерительном напряжении. На рис. 5 *a*, *c* это хорошо видно по постоянству размера петли гистерезиса в направлении "*X*" и резкому увеличению размера по оси "*Y*".

Приобретенная под воздействием СКИ ЭМИ высокая подвижность доменных стенок, сохраняется длительное время и после выключения воздействия СКИ ЭМИ ($t > t_2$) и способствует росту поляризации кристалла ТГС. Следует отметить, что при повторном воздействии СКИ почти в два раза снижается начальная поляризация, однако существенно возрастает разность величин начальной и конечной поляризации в ходе одного эксперимента (0,89 мкКл/см$^2$ при первом воздействии и 1,25 мкКл/см$^2$ при повторном), а также увеличивается число скачков и почти в два раза сокращается время между скачками. Т.е. повторное воздействие СКИ ЭМИ после длительной релаксации кристалла вызывает еще большую подвижность доменных стенок в кристалле. Обращает на себя внимание тот факт, что после повторного облучения кристалла ТГС и его релаксации в отсутствие полей, его начальная поляризация близка к нулевой.

По-видимому, возникающая при воздействии СКИ ЭМИ высокая подвижность доменных стенок, сохраняющаяся и после выключения СКИ ЭМИ, приводит при длительной релаксации кристалла в отсутствие внешних полей к значительной деполяризации кристалла.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, проведенные эксперименты по влиянию СКИ ЭМИ на процессы поляризации и деполяризации кристалла ТГС показали:

1) при воздействии сверхкоротких электромагнитных импульсов с амплитудой 1 кВ, длительностью ~$10^{-8}$ с и частотой следования 10 кГц на кристалл ТГС, в нем развиваются процессы, приводящие к скачкообразному, ступенчатому росту его поляризации при неизменном значении измерительного поля. Величина поляризации может возрастать в несколько раз;

2) сразу после прекращения воздействия СКИ ЭМИ и при наличии измерительного поля в кристалле достаточно длительное время продолжается ступенчатый рост поляризации;

3) при повторном воздействии СКИ ЭМИ после $24^x$-часовой релаксации существенно возрастает разность между величинами начальной и конечной поляризации. При этом почти в два раза сокращается время между скачками на кривой роста поляризации;

4) при выключении всех полей в кристалле происходят длительные процессы релаксации доменной структуры, приводящие к снижению, а после $2^x$-кратного воздействия СКИ ЭМИ почти полному исчезновению в нем начальной поляризации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Терехов В. А.* Воздействие импульсного электромагнитного излучения наносекундного диапазона на полупроводниковые материалы и структуры / В.А. Терехов, Е. А. Тутов, А.Н. Манько, [и др.] // Труды VII международной научно-технической конференции «Радиолокация, навигация, связь», — 2001. — Т. 3. — С. 1771—1778.

2. *Терехов В. А.* Влияние сверхкоротких импульсов электромагнитного излучения на параметры структур металл — диэлектрик — полупроводник / В.А. Терехов, А.Н. Манько, Е. Н. Бормонтов, [и др.] // ФТП. — 2004. — Т. 38. №12. — С. 1435—1438.

3. *А.С. Сидоркин*. Доменная структура в сегнетоэлектриках и родственных материалах. // ФИЗМАТЛИТ. М. (2000). 240 с.

4. *М. Лайнс, А. Глас*. Сегнетоэлектрики и родственные им материалы // М. Мир, 1981, 132с.

5. *В.М. Рудяк* // УФН. 101. 429. (1970).

6. *В.М. Рудяк* // ИАН. 45. 1586. (1981).