

Влияние малых доз рентгеновского излучения на свойства триглицинсульфата, легированного хромом

© Л.Н. Камышева, С.Н. Дрождин, О.М. Голицына

Воронежский государственный университет,
394693 Воронеж, Россия

(Поступила в Редакцию 18 мая 2001 г.)

Исследовано влияние малых доз рентгеновского излучения на процессы импульсной переполаризации в кристаллах ТГС с разной концентрацией ионов хрома. Показано, что в интервале температур $20.0^\circ\text{C}-T_c$ значения полей активации α неоднозначно зависят от дозы радиации для импульсов тока переключения разной полярности. Обнаружено уменьшение униполярности, созданной ионами хрома, вследствие взаимодействия радиационных дефектов с примесными.

Большая часть работ по импульсной переполаризации триглицинсульфата (ТГС), обзор которых можно найти в монографиях [1–3], выполнена на номинально чистых кристаллах. Особенности переполаризационных свойств кристаллов ТГС с дефектами различного происхождения подробно изучались в [4] и в ряде других работ преимущественно с использованием методики визуализации доменной структуры с помощью нематических жидких кристаллов. Во всех этих работах практически не изучалась зависимость переполаризационных свойств кристалла и таких параметров, как поле активации, подвижность доменных стенок и др., от концентрации дефектов и вообще не рассматривались вопросы взаимодействия примесных дефектов с радиационными, образующимися при воздействии на кристалл жесткого электромагнитного излучения.

Целесообразность таких исследований, обусловленная в первую очередь актуальностью проблемы роли дефектов в формировании внутреннего поля и связанной с ним униполярности кристалла, имеет свою особенность. С одной стороны, облучение создает в кристалле дополнительные радиационные дефекты, действующие подобно примесным, а с другой — оно должно существенно влиять на примесную подсистему, что в результате может вызывать непредсказуемое изменение свойств кристалла. Кроме того, примесные кристаллы ТГС при их практическом применении могут находиться под воздействием жесткого электромагнитного излучения, и важно знать, как при этом будут себя вести их рабочие характеристики.

Особый интерес представляют исследования влияния малых доз радиации (не более 300–500 kR), так как в этом случае могут наблюдаться эффекты, не имеющие места при больших дозах облучения, что было продемонстрировано ранее на примере кристаллов KH_2PO_4 и номинально чистого ТГС [5–8]. В настоящей работе исследовалось влияние малых доз рентгеновского излучения на процессы импульсной переполаризации примесных кристаллов ТГС + Cr^{3+} с целью изучения закономерностей поведения униполярности этих кристаллов при дозированном введении радиационных дефектов.

Кристаллы ТГС + Cr^{3+} выращивались при температуре ниже точки Кюри из раствора, содержащего 1 mol.% соли $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Концентрация ионов хрома не определялась, но для разных образцов была различной вследствие неоднородного распределения примеси по объему кристалла [9]. Степень дефектности и степень униполярности оценивались по величине внутреннего поля смещения E_i , значения которого, как и значения коэрцитивного поля E_c определялись по петлям диэлектрического гистерезиса на частотах 50 и 300 Hz. Исследовались образцы с различными исходными значениями E_i и E_c . Они представляли собой плоскопараллельные пластины полярного среза толщиной ~ 0.1 см и площадью ~ 0.3 см² с напыленными в вакууме серебряными электродами. Образцы облучались в направлении полярной оси кристалла при комнатной температуре характеристическим излучением CuK_α с энергией 30 eV (мощность дозы $N_d \approx 240$ kR/h). Для каждого образца доза накапливалась последовательно с шагом в 20 kR.

Изучение процессов импульсной переполаризации в настоящей работе проводилось по методике, описанной ранее в [10,11]. Частота следования биполярных импульсов переполаризующего электрического поля составляла 300 Hz. Значения полей активации α определялись из зависимостей $i_{\max} = i_{\max\alpha} \exp(-\alpha/E)$, где i_{\max} — максимальное значение импульса тока переключения, E — напряженность переполаризующего поля.

Наблюдавшиеся для исследуемых кристаллов импульсы тока переполаризации противоположных полярностей обладали ярко выраженной асимметрией, обусловленной наличием внутреннего поля смещения, созданного примесью хрома.

Направление внутреннего поля и преимущественное направление макроскопической поляризации образцов определялись из независимых измерений статического пирозлектрического коэффициента. Было установлено, что при совпадении направлений переполаризующего и внутреннего полей соответствующий импульс тока переполаризации имеет значение i_{\max} меньшее, а длительность τ_s — большую, чем в случае взаимно противоположной ориентации этих полей. Согласно введенной

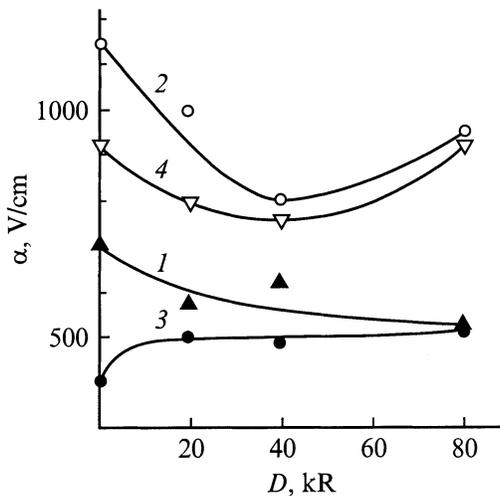


Рис. 1. Зависимости полей активации в "слабых" (1,3) и "сильных" (2,4) полях для примесного ТГС от дозы рентгеновского излучения для положительного (1,2) и отрицательного (2,4) импульсов тока переполаризации. $T = 40^\circ\text{C}$. $E_i = 100 \text{ V/cm}$.

ранее [10] терминологии, такой импульс тока считается положительным: $i_{\text{max}}^+ < i_{\text{max}}^-$, $\tau_s^+ > \tau_s^-$.

Установлено, что для образцов с исходными значениями $E_i \leq 100 \text{ V/cm}$ значения поля активации в "сильных" электрических полях α_2 больше значений этого параметра в "слабых" полях α_1 ($\alpha_2 > \alpha_1$), что характерно для номинально чистого кристалла ТГС [10,11] и указывает на то, что процесс переключения в "слабых" и "сильных" полях осуществляется с преобладанием разных механизмов изменения доменной структуры под действием переполаризующего поля. Для образцов с ярко выраженной униполярностью ситуация качественно меняется: поле α_1 ("слабые" поля) становится больше α_2 ("сильные" поля) во всем исследованном температурном интервале. Это соотношение выполняется для образцов со значениями $E_i \geq 300 \text{ V/cm}$, концентрация ионов хрома в которых значительна (сильно легированные образцы). Напротив, слабо легированными будут считаться образцы со значениями полей E_i , меньшими 100 V/cm .

В случае небольшой концентрации примеси хрома (рис. 1) влияние исходной (примесной) униполярности проявляется в различии значений $\alpha_1^{+,-}$ и $\alpha_2^{+,-}$, определенных соответственно по параметрам положительного и отрицательного импульсов тока переключения.

В результате облучения и с увеличением дозы происходит сближение значений α_2^+ и α_2^- , а также α_1^+ и α_1^- , свидетельствующее, по-видимому, о частичном разрушении внутреннего поля, созданного примесью хрома, под действием рентгеновского излучения. На это указывает и наблюдаемое визуально исчезновение асимметрии импульсов тока с увеличением дозы.

Представленные выше закономерности выполняются и для сильно легированных образцов. Как следует из

рис. 2, значения полей активации α_1 и α_2 в этом случае существенно больше, чем для образцов с малыми E_i . Вторая особенность кривых на рис. 2 заключается в том, что для положительного импульса значения полей α_1 и α_2 , слабо отличаясь при $D = 0$, практически совпадают друг с другом при $D = 20 \text{ kR}$. Дальнейшая эволюция полей α_1 и α_2 такова, что с увеличением дозы радиации α_1^+ быстро возрастает; α_2^+ , напротив, меняется незначительно, оставаясь меньше α_1^+ . Что касается значений α_1 и α_2 для отрицательного импульса, то они сильно отличаются по величине при нулевой дозе. Однако после первого радиационного воздействия ($D = 20 \text{ kR}$) α_1^- уменьшается на фоне ярко выраженного роста α_2^- . При последующем облучении ($D = 40 \text{ kR}$) ситуация качественно меняется: $\alpha_1^- > \alpha_2^-$.

Совпадение значений $\alpha_1^{+,-}$ и $\alpha_2^{+,-}$ для импульсов разных полярностей указывает на то, что при дозе $\sim 20 \text{ kR}$, по-видимому, меняется исходное униполярное состояние, что свидетельствует об отсутствии преобладания какого-либо одного механизма переполаризации при заданном поле E ($\alpha_1 = \alpha_2$). Дальнейшее радиационное воздействие только стабилизирует униполярное состояние, созданное примесными ионами.

Этот достаточно неожиданный результат подтверждается также характером поведения величины переключаемого заряда под действием рентгеновского излучения.

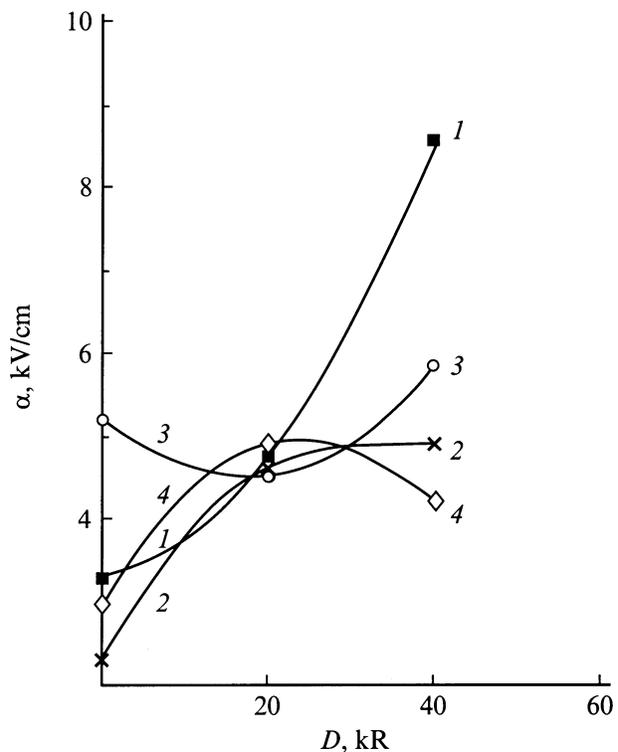


Рис. 2. Зависимости полей активации в "слабых" (1,3) и "сильных" (2,4) полях для примесного ТГС от дозы рентгеновского излучения для положительного (1,2) и отрицательного (3,4) импульсов тока переполаризации. $T = 40^\circ\text{C}$. $E_i = 300 \text{ V/cm}$.

На рис. 3 (кривые 1, 2) представлены зависимости, свидетельствующие о том, что по мере роста дозы облучения происходит увеличение заряда, переключаемого как в импульсном (кривая 1), так и в синусоидальном электрическом поле (кривая 2).

Результаты, приведенные на рис. 1–3, дают основание утверждать, что хелатный комплекс биглицинсульфат хрома, ответственный за возникновение в кристалле ТГС + Cr^{3+} униполярного состояния [12], является весьма чувствительным к действию радиации. Даже небольшие ее дозы нарушают межмолекулярные связи в кристаллической решетке ТГС [13] и вызывают, по-видимому, разрушение хелатного комплекса, что в свою очередь ведет к облегчению условий переполяризации в кристалле с малой исходной величиной внутреннего поля.

Представленные на рис. 3 (кривые 3, 4) зависимости коэрцитивного поля от дозы (измеренные на частоте 50 Hz) также подтверждают это предположение, причем минимум зависимости $E_c(D)$ имеет место при дозах, для которых $\alpha^+ \approx \alpha^-$. Отметим, что зависимости $E_i(D)$, измеренные на частоте 300 Hz, являются более слабыми. Внутреннее поле смещения, измеряемое по петлям диэлектрического гистерезиса, оказалось параметром менее чувствительным к действию облучения: уменьшение E_i для тех же максимальных значений дозы не превышает 10%, что сравнимо с погрешностью определения E_c и E_i по петлям диэлектрического гистерезиса.

В работе [10] было показано, что в зависимости от концентрации примеси хрома в ТГС (в зависимости от E_i) соотношение между α_1 и α_2 может быть разным и меняется от $\alpha_2 > \alpha_1$ к $\alpha_2 < \alpha_1$ с увеличением внутреннего поля. Температура T_0 , при которой $\alpha_2 = \alpha_1$, смещается к температуре фазового перехода при возрастании вну-

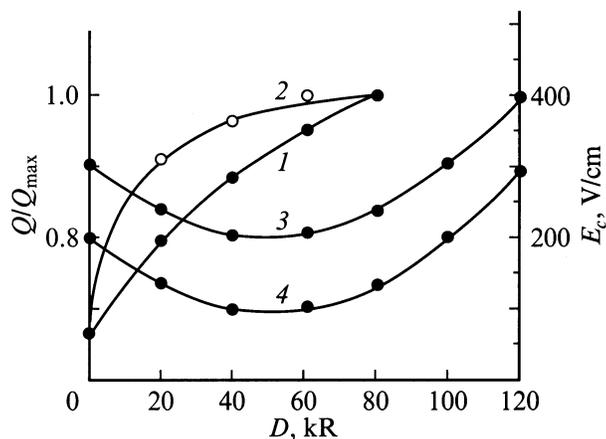


Рис. 3. Зависимости переключаемого заряда Q/Q_{\max} от дозы рентгеновского излучения, полученные по методу импульсной переполяризации (1) и по петлям диэлектрического гистерезиса (2), величина Q_{\max} — значение переключаемого заряда при дозе $D = 80$ kR, $T = 40^\circ\text{C}$; зависимости коэрцитивного поля примесного кристалла ТГС от дозы рентгеновского излучения при температурах 25 (3) и 35°C (4). $E_i = 100$ V/cm.

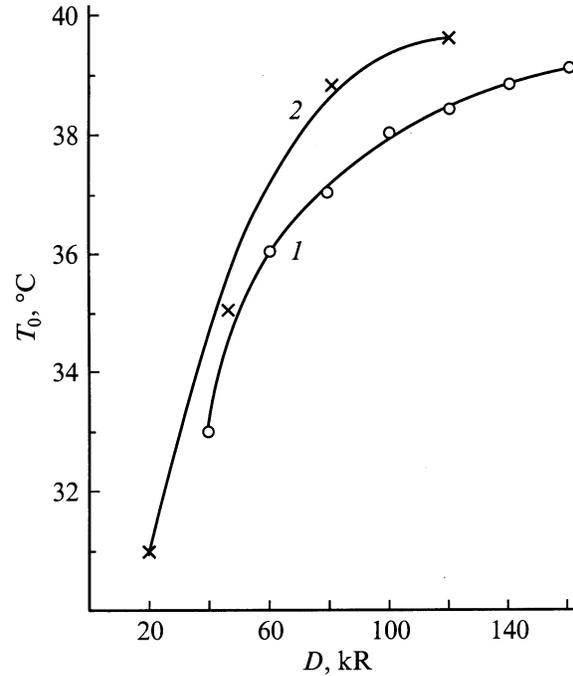


Рис. 4. Зависимость от дозы температуры T_0 , ниже которой $\alpha_1 > \alpha_2$, а выше — $\alpha_1 < \alpha_2$, для номинального чистого ТГС (1) и кристалла ТГС + Cr^{3+} (2).

тренного поля. Подобная ситуация имеет место и в том случае, когда источником униполярности являются радиационные дефекты. Как следует из рис. 4, и в номинально чистом ТГС (кривая 1), и в кристалле ТГС + Cr^{3+} с малой исходной униполярностью (кривая 2), подвергнутых рентгеновскому облучению, с ростом дозы происходит смена соотношения между значениями полей активации в "слабых" и "сильных" полях от $\alpha_1 < \alpha_2$ к $\alpha_1 > \alpha_2$ с такой же растущей зависимостью температуры T_0 от дозы, т. е. от концентрации радиационных дефектов.

Основной вывод настоящей работы заключается в том, что малые дозы рентгеновского излучения (не более 100 kR) могут частично разрушать созданное ионами хрома униполярное состояние кристалла ТГС и приводить к возрастанию переключаемой части макроскопической поляризации.

Список литературы

- [1] Е.В. Пешиков. Действие радиации на сегнетоэлектрики. Фан, Ташкент (1972). 136 с.
- [2] Дж. Барфут, Дж. Тейлор. Полярные диэлектрики и их применение. Мир, М. (1981). 527 с.
- [3] М. Лайнс, А. Гласс. Сегнетоэлектрики и родственные им материалы. Мир, М. (1981). 736 с.
- [4] Л.И. Донцова, Н.А. Тихомирова, Л.А. Шувалов. Кристаллография **39**, 1, 158 (1994).
- [5] Л.Н. Камышева, Н.А. Бурданина, О.К. Жуков, Б.М. Даринский, Л.Н. Сизова. Изв. АН СССР. Сер. физ. **34**, 12, 2612 (1970).

- [6] L.N. Kamysheva, S.D. Milovidova, A.S. Sidorkin. J. Phys. Soc. Jap. Suppl. **B49**, 24 (1980).
- [7] Л.Н. Камышева, С.Н. Дрождин, О.М. Сердюк. ЖТФ **58**, 8, 1607 (1988).
- [8] Б.А. Струков, С.А. Тараскин, Сонг Йонг Вон, В.М. Варикаш, П.А. Пупкевич. Изв. РАН. Сер. физ. **57**, 6, 12 (1993).
- [9] М.С. Цедрик. Физические свойства кристаллов семейства триглицинсульфата. Наука и техника, Минск (1986). 216 с.
- [10] Л.Н. Камышева, О.А. Косарева, С.Н. Дрождин, О.М. Голицына. Кристаллография **40**, 1, 93 (1995).
- [11] Л.Н. Камышева, О.М. Голицына, С.Н. Дрождин, А.Д. Масликов, А.Б. Барбашина. ФТТ **37**, 2, 388 (1995).
- [12] В. Виндш. Изв. АН СССР. Сер. физ. **39**, 5, 914 (1975).
- [13] А.Т. Демьянчук. Автореф. канд. дис. Киев (1976). 28 с.