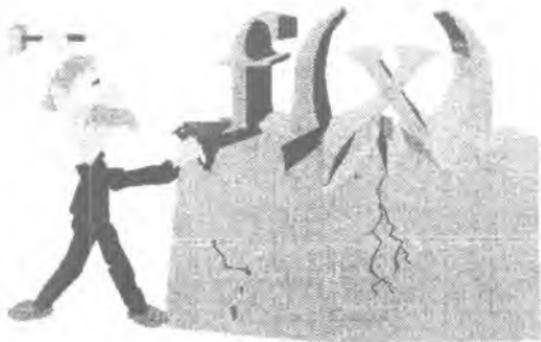


# АКТУАЛЬНЫЯ ПРАБЛЕМЫ

*фізікі,  
матэматыкі,  
інфарматыкі*



$$E_n = -\frac{e\hbar B}{m} \left(n + \frac{1}{2}\right) + \frac{p_z^2}{2m}, \quad (n = 0, 1, 2, \dots).$$

В заключение приведем выражения для коэффициентов  $C_M$  и  $C'_M$ :

$$C_M = 2\sqrt{(M-n)\gamma}, \quad C'_M = 2\sqrt{(M-n-1)\gamma}.$$

Аналогичным образом может быть осуществлено решение задачи о движении релятивистского (безспинового и спинового) электронов в однородном и постоянном магнитном поле.

**С. В. Снисарь, В. И. Янчук**

## ПРОЦЕССЫ ПЕРЕПОЛЯРИЗАЦИИ В КРИСТАЛЛАХ LVTGSP

Для стабилизации доменной структуры триглицинсульфата (TGS), что предопределяет его практическое использование, как было показано в [1], необходима его структурная модификация в процессе выращивания. Наиболее перспективным в этом направлении является путь частичного структурного замещения сульфатной ( $\text{SO}_4$ ) или глициновой ( $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$ ) групп в TGS изоморфными им образованиями. Это сказывается на изменении как микроскопических так и макроскопических переполяризационных параметров кристаллов. Типичным модификатором глициновой группы является L- $\alpha$  аланин (кристаллы LATGS), введение которого в ячейку TGS стабилизирует структуру кристалла [2], а при большой степени замещенности практически подавляет ее динамику. Среди нескольких модификаторов сульфатной группы наибольшее влияние на изменение макроскопических свойств оказывает группа  $[\text{PO}_4]^{3-}$  — кислотный остаток ортофосфорной кислоты. Как показали исследования [3], одновременное введение в ячейку кристалла TGS L- $\alpha$  аланина и группы  $[\text{PO}_4]^{3-}$  приводит к улучшению пьезоэлектрических параметров и расширяет область их температурной стабилизации. Однако переключателные характеристики таких кристаллов заметно ухудшаются, что делает проблематичным их использование в нелинейно-оптических устройствах и приборах СВЧ-диапазона. Поэтому был предложен иной модификатор глициновой группы — L-валин (кристаллы LVTGS), введение которого в решетку TGS значительно активизирует процессы переключения его структуры не ухудшая при этом пьезоэлектрических свойств [4].

Цель исследования — изучение влияния частичного замещения сульфатной и глициновой групп в TGS соответственно группами  $[\text{PO}_4]^{3-}$  и L-валином (кристаллы LVTGSP), выращенных в сегнетоэлектрической ( $t = 32^\circ\text{C}$ ) и параэлектрической ( $t = 53^\circ\text{C}$ ) фазах, на процессы импульсной переполяризации структуры этих кристаллов. Так как известные методики изучения процессов переполяризации основаны на использовании полей, изменяющихся по гармоническому закону, когда скорость изменения поля сравнима со скоростями отклика структуры кристалла, позволяющих определять лишь интегральные параметры процессов переориентации структуры, нами был выбран метод, предложенный Мерцем [5]. Суть метода заключается в

том, что на образец кристалла подается последовательность биполярных прямоугольных импульсов электрического поля (рис. 1а). Фронт нарастания этих импульсов во много раз меньше времени протекания процессов, связанных с зарождением и последующей динамикой доменной структуры кристалла. Это позволяет в рамках модели Мерца судить о процессах зародышеобразования доменов и движения их стенок до полной монодоменизации кристалла. При снятии поля наблюдается обратный процесс — деполяризация. Таким образом, откликом на подачу и снятие электрического поля являются импульсы тока поляризации (импульсы 1, 3; рис. 1б) и деполяризации (импульсы 2, 4; рис. 1б), возникающие в последовательной кристаллу омической цепи. По параметрам импульсов тока судят о процессах образования микродоменов (кластеров) поляризации (время  $t'$ , рис. 1в) и их распространения через кристалл (время  $t''$ , рис. 1в) до его монодоменизации. Относительная величина тока поляризации и деполяризации показывает устойчивость поляризованного состояния кристалла. По разности амплитуд импульсов 1 и 3 определяют наличие и значение внутренних полей смещения (статическую униполярность). Изменяя полярность первого поляризующего импульса напряжения, подаваемого на кристалл, можно исследовать его динамическую униполярность.

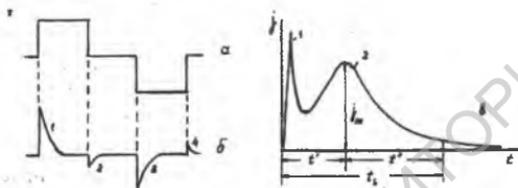


Рис. 1. Форма импульсов напряжения (а), импульса тока переполаризации (б) и классического импульса (в)

Исследования проведены на установке, описанной в работе [6] и усовершенствованной для измерений в области слабых полей. Измерение параметров импульсной переполаризации проведено в полях напряженностью 0... 6 кВ/см. Возможности установки позволили варьировать длительность импульсов напряжения, подаваемого на кристалл, в пределах от 10 мкс до 100 мс. Измерения проведены при длительности импульсов 10 мс, что во много раз больше полного времени переполаризации ( $t_s$ ).

Проведенные исследования показали, что как пороговое поле начала переполаризации (зарождение «классического» импульса тока переключения), так и все изученные характеристики исследуемых кристаллов, в значительной степени определяются температурой их выращивания. Так, пороговое поле кристаллов LVTGSP, выращенных при  $t_p = 35^\circ \text{C}$ , составляет  $E_n = 0,7$  кВ/см, а выращенных при  $t_p = 53^\circ \text{C}$   $E_n = 0,6$  кВ/см. Это сопоставимо с аналогичными значениями для «чистого» TGS и значительно меньше, чем для TGSP.

Сравнительный анализ осциллограмм импульсов тока переключения кристаллов TGS, TGSP и LVTGSP показал, что в отличие от TGS, для TGSP эти импульсы асимметричны в широком интервале полей, что свидетельствует о статической униполярности этих кристаллов. Униполярность кристаллов LVTGSP, выращенных в сегнетофазе, проявляется лишь на начальной стадии переключения (в слабых полях). При выращивании этих кристаллов в паразлектрической фазе их

униполярність проявляється незначительно і лише при першому включенні образця. При наступуючих полевих впливах на кристалл асиметрія імпульсов тока не проявляється.

Характерним для кристаллов LVTGSP, в отличие от TGS и TGSP является то, что по мере увеличения поля, подаваемого на кристалл, происходит уменьшение полного времени переполаризации  $t_s$ , не за счет времени  $t''$ , а за счет уменьшения времени нарастания импульса  $t'$ , что отражается на полевых зависимостях критерия симметрии  $m = t'/t''(E)$ . Значительное уменьшение времени  $t'$  кристаллов LVTGSP по сравнению с TGS и TGSP свидетельствует о положительном влиянии L-валина на процесс зародышеобразования доменной структуры в процессе переполаризации.

Эволюция формы импульсов тока переполаризации кристаллов LVTGSP по мере увеличения напряженности электрического поля свидетельствует о том, что в этот процесс включаются дополнительные механизмы. На это указывают дополнительные максимумы на фронте нарастания импульса.

Качественное совпадение графических зависимостей  $1/t_s(E)$  и  $J(E)$  показывает, что интерпретация процессов переполаризации исследованных кристаллов может быть дана в рамках модели Мерца [5].

Результаты проведенных исследований, в сопоставлении с ранее опубликованными данными, позволяют судить о некоторых механизмах влияния вышеуказанных модификаторов на процессы возникновения униполярности кристаллов и изменения их переполаризационных характеристик.

Так как, согласно исследованиям [7], ион  $[PO_4]^{3-}$  обладает сферической симметрией распределения электронной плотности, то наличие значительной статической униполярности кристаллов TGSP можно объяснить лишь его деформационным влиянием на переключаемые возможности сульфат-ионов [8]. Очевидно, что при выращивании кристаллов в сегнетоэлектрической фазе, когда процесс образования кристаллической структуры происходит в поле спонтанной поляризации, деформационное влияние ионов  $[PO_4]^{3-}$  на группы сульфат-ионов определяется ориентирующим действием этого поля. Иными словами, причиной возникновения статической униполярности кристаллов TGSP, а также LVTGSP при выращивании их в сегнетофазе, является деформационное воздействие на сульфат-ионы групп  $[PO_4]^{3-}$ . Это подтверждается данными о влиянии степени замещенности группы  $[SO_4]^{2-}$  группой  $[PO_4]^{3-}$  в TGS на внутренние поля смещения в зависимости от температуры выращивания кристаллов TGSP. Уменьшение статической униполярности LVTGSP по сравнению с TGSP, очевидно, происходит из-за конкурирующего действия L-валина. Следует предположить, что молекула L-валина, как и молекула L-аланина [2], замещая одну из групп глицина в ячейке TGS, оказывает стабилизирующее воздействие на переключаемые части соседних молекул.

Однако, механизм этого воздействия, очевидно, иной. Если структура L-аланина такова, что его молекулы при внедрении в ячейку кристалла стабилизируют переключаемые части  $NH_3$  молекул глицина практически независимо от температуры выращивания, то действие молекул L-валина зависит от температуры роста кристалла. Можно предположить, что в кристаллах, выращенных в сегнетоэлектри-