

05

©1994

ДОМЕННАЯ СТРУКТУРА И НЕОБЫЧНАЯ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ АНИЗОТРОПИЯ КРИСТАЛЛОВ LiNbO_3 И LiTaO_3

В. Ю. Тополов, А. В. Турик

Интерес к проблеме большой пьезоэлектрической анизотропии в сегнетоэлектриках и родственных материалах обусловлен как важностью поиска вызывающих увеличение анизотропии физических механизмов, так и многочисленным практическим применением этих материалов. Нами ранее на примере перовскитовых сегнетопьезокерамик типа PbTiO_3 было показано [1,2], что одним из главных факторов, влияющих на пьезоэлектрическую анизотропию полидоменных кристаллов и керамических образцов, является доменная структура (ДС). В связи с этим возникает необходимость исследовать роль ДС в формировании пьезоэлектрических свойств анизотропных материалов, относящихся к другим структурным типам.

Здесь мы сообщаем результаты исследований кристаллов ниобата лития (НЛ) LiNbO_3 и танталата лития (ТЛ) LiTaO_3 , в сегнетоэлектрической фазе $R3c$ которых реализуются различные типы ДС [3-6] в зависимости от методов их выращивания. Особый интерес вызывает не 180° -я ДС (рис. 1) выращенная методом массовой кристаллизации образцов [3,4], впервые описанная авторами [5]. Исследование влияния такой ДС на физические свойства кристаллов, впервые предпринятое в данной работе, позволило установить необычную возможность достижения при определенных условиях очень больших величин анизотропии пьезомодулей полидоменных кристаллов.

Предполагается, что векторы спонтанной поляризации \mathbf{P}_{s1} и \mathbf{P}_{s2} двух типов доменов — механических двойников [3,5] — ориентированы вдоль пространственных диагоналей типа [111] ромбоэдрической элементарной ячейки. Объемные концентрации доменов с \mathbf{P}_{s1} и \mathbf{P}_{s2} равны m и $1-m$ соответственно (рис. 1). Для определения пьезомодулей d_{ij}^p , упругих податливостей $s_{ij}^{E,p}$ и диэлектрических проницаемостей $\varepsilon_{ij}^{\sigma,p}$ (символом p здесь и в дальнейшем обозначены величины, относящиеся к полидоменным кристаллам) использовался метод усреднения физических констант, разви-

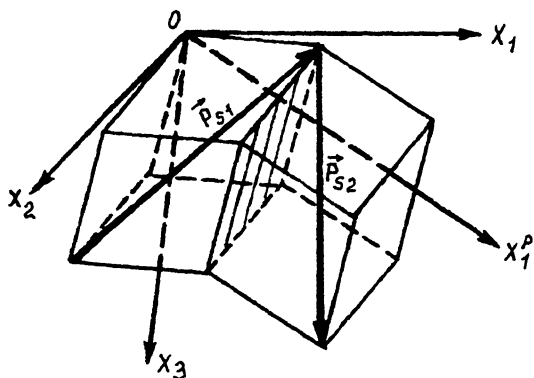


Рис. 1. Схема слоистой ДС, содержащей два типа доменов — механических двойников, разделенных плоской упругокогерентной доменной границей (показана штриховкой).

Оси прямоугольной системы координат $(X_1 X_2 X_3)$ параллельны осям псевдокубической элементарной ячейки с пространственной диагональю $[1\bar{1}\bar{1}] \parallel P_{s1}$ (это направление совпадает с $[1\bar{1}\bar{1}]$ изображенной на рисунке ромбоэдрической элементарной ячейки), ось $O X_1'$ прямоугольной системы координат $(X_1 X_2 X_3)$ параллельна вектору спонтанной поляризации кристалла $P = m P_{s1} + (1-m) P_{s2}$.

тый в работах [7,8] и базирующийся на анализе граничных условий для компонент тензоров механических напряжений и векторов напряженности электрического поля сопряженных доменов.

Для расчетов использовались температурные зависимости упругих, пьезо- и диэлектрических констант, а также параметров элементарной ячейки однодоменных кристаллов НЛ [9-11] и ТЛ [11,12]. Нами рассматривался случай равных объемных концентраций доменов ($m = 0.5$) как один из наиболее вероятных для ДС кристаллов, полученных методом массовой кристаллизации. Ввиду отсутствия в литературе полного набора упругих, пьезо- и диэлектрических констант кристалла НЛ в широком температурном интервале (необходимые данные имеются лишь при температурах $T = 0 \dots 110^\circ\text{C}$ [9]), выполненные для $T = 110 \dots 300^\circ\text{C}$ расчеты носят оценочный характер. Необходимые исходные константы определялись путем экстраполяции данных [9]. Более полное представление о поведении пьезомодулей $d_{ij}^p(T)$ и их анизотропии в интервале $T = 25 \dots 600^\circ\text{C}$ было получено для полидоменного кристалла ТЛ.

Матрица пьезомодулей d_{ij}^p полидоменного ТЛ содержит 27 различных ненулевых элементов, т.е. соответствует триклинной системе. Среди этих элементов представляют интерес те, которые обеспечивают наибольшие значения анизотропии $\zeta_i = |d_{il}^p/d_{im}^p|$ ($l \leq 3, m \leq 3$) при приложении внеш-

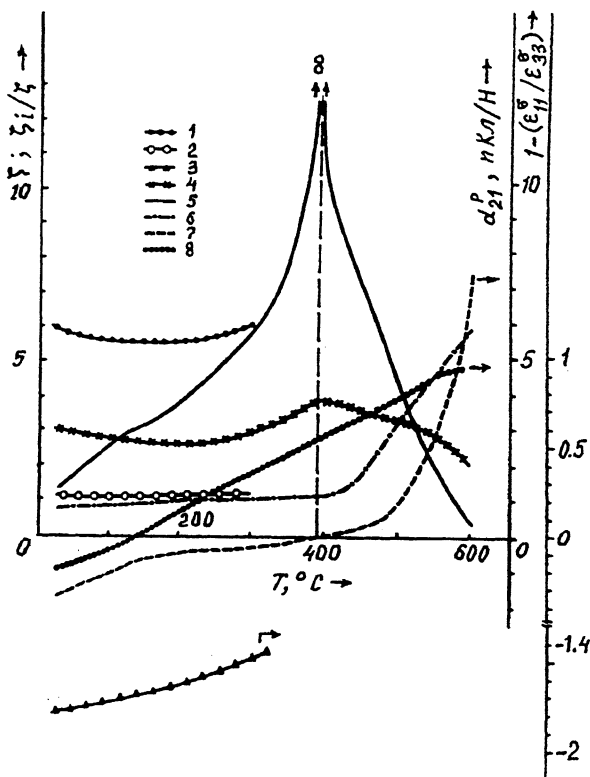


Рис. 2. Температурные изменения пьезо- и диэлектрических свойств одно- и полидоменных кристаллов LiNbO_3 (кривые 1-3) и LiTaO_3 (кривые 4-8).

1,4 — ζ ; 2 — ζ_1/ζ ; 3,8 — $1 - (\epsilon_{11}^\sigma/\epsilon_{33}^\sigma)$; 5 — ζ_2/ζ ; 6 — ζ_3/ζ ; 7 — d_{21}^p .

него поля вдоль одной из осей OX_i^p ($i = 1, 2, 3$). Эти значения ζ_i сравниваются с анизотропией пьезомодулей однодоменного кристалла $\zeta = d_{33}/|d_{31}|$. Как показывают расчеты, температурные зависимости пьезомодулей $d_{21}^p(T)$ и $d_{22}^p(T)$ являются монотонно возрастающими, причем при $T \rightarrow 390^\circ\text{C}$ наблюдается резкий рост $\zeta_2 = d_{22}^p/|d_{21}^p| \rightarrow \infty$, что обусловлено изменением знака $d_{21}^p(T)$ и монотонным уменьшением $\epsilon_{11}^\sigma/\epsilon_{33}^\sigma$ (см. кривые 5, 7, 8 на рис. 2). Заметное понижение ζ_2 при $T > 390^\circ\text{C}$ сопровождается существенным увеличением $\zeta_3 = d_{33}^p/|d_{31}^p|$ (см. кривую 6 на рис. 2) при дальнейшем уменьшении $\epsilon_{11}^\sigma/\epsilon_{33}^\sigma$. Необычный характер пьезоэлектрической анизотропии полидоменного кристалла ТЛ может быть связан с ролью не 180° -й ДС и с влияющими

на $d_{ij}^p(T)$ особенностями [12] температурных зависимостей $d_{ij}(T)$, являющихся сложными функциями диэлектрических проницаемостей, спонтанной поляризации и электрострикционных коэффициентов однодоменного кристалла. Подобное изменение $\zeta_i(T)$ в сегнетоэлектрических и родственных материалах практически не исследовано. Лишь для сегнетопъезокерамик на основе PbTiO_3 определены условия, когда пьезомодуль $d_{31}^* \rightarrow 0$ при изменении температуры, 90°-й ДС кристаллов и состава [1,2].

В полидоменном кристалле НЛ наибольшие из $\zeta_i(T)$ значения $\zeta_1(T) = |d_{11}^p(T)|/d_{12}^p(T) \approx 7$ при $T \leq 300^\circ\text{C}$ оказываются значительно меньше, чем в ТЛ, и лишь в 1.2 раза больше соответствующих ζ (см. кривые 1,2 на рис. 2). Изменение анизотропии d_{ij}^p , вызывающее $\zeta_1 > \zeta_2$ (в полидоменном ТЛ $\zeta_1 < \zeta_2$), связано с изменением соотношений между пьезомодулями d_{ij} и диэлектрическими проницаемостями ε_{ii}^σ однодоменных кристаллов ТЛ и НЛ.

Проведенные исследования иллюстрируют перспективность поиска сегнетоэлектрических материалов с большой пьезоэлектрической анизотропией в низкосимметричных фазах и могут стимулировать получение высококачественных полидоменных (сдвойникованных) кристаллов ТЛ и твердых растворов на их основе с целью практической реализации условия $\zeta_i \gg 1$ в широком температурном или концентрационном интервалах, а также сегнетопъезокерамических образцов с аналогичными свойствами.

Список литературы

- [1] Topolov V. Yu., Bondarenko E. I., Turik A. V., Chernobabov A. I. // *Ferroelectrics*. 1993. V. 140. P. 175–181.
- [2] Topolov V. Yu., Turik A. V., Chernobabov A. I. // *The Eighth Internat. Meet. Ferroelectricity*. 8–13 August 1993. Program Summary and Abstract Book. Gaithersburg, 1993. P. 161.
- [3] Кузьминов Ю. С. Ниобат и танталат лития — материалы для нелинейной оптики. М., 1975. 224 с.
- [4] Кузьминов Ю. С. Электрооптический и нелинейнооптический кристалл ниобата лития. М., 1987. 264 с.
- [5] Deshmukh K. G., Singh K. // *J. Phys. D: Appl. Phys.* 1972. V. 5. N 9. P. 1680–1685.
- [6] Levinstein H. J., Ballman A. A., Capio C. D. // *J. Appl. Phys.* 1966. V. 37. N 12. P. 4585–4586.
- [7] Турик А. В. // *ФТТ*. 1970. Т. 12. В. 3. С. 892–899.
- [8] Аксакава Е., Farnell G. W. // *J. Appl. Phys.* 1988. V. 64. N 9. P. 4469–4473.
- [9] Smith R. T., Welsh F. S. // *J. Appl. Phys.* 1971. V. 42. N 6. P. 2219–2230.

- [10] *Даньков И.А., Токарев Е.Ф., Кудряшов Г.С., Белобаев К.Г.* // Изв. АН СССР. Неорганические материалы. 1983. Т. 19. В. 7. С. 1165-1171.
- [11] *Landolt-Börnstein. Zahlenwerte und Funktionen aus Naturwissenschaften und Technik. Neue Serie. Gr. III, Bd 18.* Berlin etc.: Springer, 1984. 683 S.
- [12] *Yamada T., Iwasaki H., Niizeki N.* // Jap. J. Appl. Phys. 1969. V. 8. N 9. P. 1127-1132.

Ростовский государственный
университет

Поступило в Редакцию
24 марта 1994 г.