

01;05;08

Температурный коэффициент задержки ПАВ в широком интервале температур в кристаллах LGS, LGN

© М.Ю. Двоешерстов, С.Г. Петров, В.И. Чередник, А.П. Чириманов

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
603600 Нижний Новгород, Россия

(Поступило в Редакцию 28 февраля 2000 г. В окончательной редакции 28 июня 2000 г.)

Проведен численный анализ температурного коэффициента задержки 1-го и 2-го порядков ПАВ (поверхностных акустических волн) в широком интервале температур в термостабильных направлениях кристаллов LGS, LGN. Показано влияние металлического слоя алюминия конечной толщины на температурные характеристики ПАВ в этих кристаллах.

Интерес к изучению свойств ПАВ, распространяющихся в новых кристаллах LGS, LGN, вызван тем, что данные кристаллы обладают хорошими термостабильными свойствами и имеют достаточно высокую величину коэффициента электромеханической связи K^2 [1]. В настоящее время расчетным путем [2] найдены срезы и направления в данных кристаллах, имеющие нулевую величину $TKЗ^{(1)}$ (температурного коэффициента задержки 1-го порядка) ПАВ при комнатной температуре $t_0 = 25^\circ$. Одной из важных технических характеристик в технике ПАВ является чувствительность термостабильного направления в кристалле к изменению внешней среды температуры t .

Цель настоящей работы — численный расчет значений $TKЗ^{(1)}$, $TKЗ^{(2)}$ (2-го порядка) ПАВ в термостабильных ориентациях в данных кристаллах в большом интервале рабочих температур — от -100 до $+120^\circ\text{C}$ как на свободной поверхности кристалла, так и на поверхности, покрытой слоем алюминия конечной толщины. Показано, что зависимость материальных констант у кристаллов LGS, LGN от температуры носит сильно нелинейный характер в отличие от хорошо известного ST,X-кварца.

Зависимость всех компонент материальных констант кристалла от температуры t можно записать в следующем виде [3]:

$$C_{ij}(t) = C_{ij}(t_0) (1 + TC_{ij}^{(1)}(t - t_0) + TC_{ij}^{(2)}(t - t_0)^2 + \dots),$$

$$e_{ij}(t) = e_{ij}(t_0) (1 + Te_{ij}^{(1)}(t - t_0) + Te_{ij}^{(2)}(t - t_0)^2 + \dots),$$

$$\varepsilon_{ij}(t) = \varepsilon_{ij}(t_0) (1 + T\varepsilon_{ij}^{(1)}(t - t_0) + T\varepsilon_{ij}^{(2)}(t - t_0)^2 + \dots),$$

$$\rho(t) = \rho(t_0) (1 + T\rho^{(1)}(t - t_0) + T\rho^{(2)}(t - t_0)^2 + \dots), \quad (1)$$

Здесь $TC_{ij}^{(1)}$, $Te_{ij}^{(1)}$, $T\varepsilon_{ij}^{(1)}$, $TC_{ij}^{(2)}$, $Te_{ij}^{(2)}$, $T\varepsilon_{ij}^{(2)}$, $T\rho^{(1)}$, $T\rho^{(2)}$, — температурные коэффициенты констант упругости, пьезоконстант, диэлектрических констант, плотности кристалла соответственно 1-го и 2-го порядков; $i, j = 1-6$. Для расчета $TKЗ^{(1)}$, $TKЗ^{(2)}$, а также относительного изменения времени задержки (частоты) $(\tau - \tau(t_0))/\tau(t_0) = -\Delta f/f_0$ ПАВ можно воспользоваться

следующими выражениями [3,4]:

$$TKЗ^{(1)} = \frac{1}{\tau(t_0)} \frac{d\tau}{dt}, \quad TKЗ^{(2)} = \frac{1}{2} \frac{1}{\tau(t_0)} \frac{d^2\tau}{dt^2} = \frac{1}{2} \frac{dTKЗ^{(1)}}{dt},$$

$$\frac{\tau - \tau(t_0)}{\tau(t_0)} = -\frac{f - f(t_0)}{f(t_0)} = TKЗ^{(1)}(t - t_0) + TKЗ^{(2)}(t - t_0)^2.$$

Здесь $\tau(t)$, $\tau(t_0)$, f , $f(t_0)$ — время задержки и частота ПАВ при t и t_0 . В последнее время различными авторами [5-9] были проведены численные расчеты температурных свойств ПАВ в кристаллах LGS, LGN. Однако рассчитанные величины $TKЗ^{(1)}$, $TKЗ^{(2)}$ ПАВ достаточно сильно отличаются от экспериментально измеренных [7,8]. Это связано с тем, что в различных публикациях значения материальных температурных констант как 1-го, так и 2-го порядков у этих кристаллов различаются. В работе [7] приведены уточненные значения термоконстант и произведены теоретический расчет и экспериментальные измерения величины $\Delta f/f(t_0)$ в кристалле

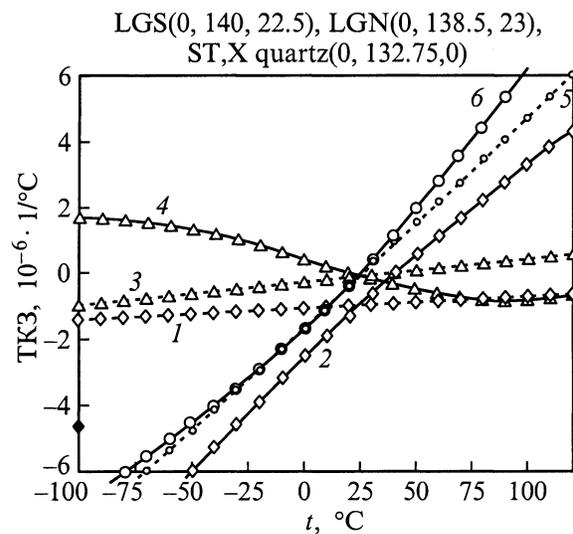


Рис. 1. Зависимости $TKЗ^{(1)}$ ПАВ от температуры t с учетом 1-го (1, 3, 5) и с учетом 1-го+2-го (2, 4, 6) порядков материальных термоконстант для кристаллов LGS, LGN, ST,X-кварца.

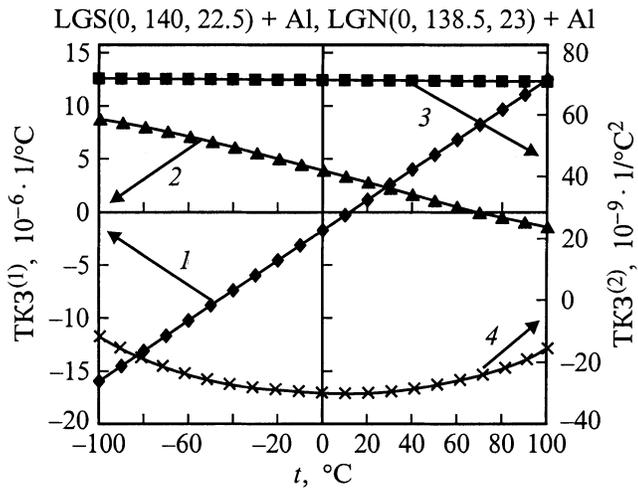


Рис. 2. Зависимости $TKZ^{(1)}$ и $TKZ^{(2)}$ ПАВ от температуры t для системы: Al ($h/\lambda = 0.005$) + LGS ($0^\circ, 140^\circ, 22.5^\circ$) (1, 2) и Al ($h/\lambda = 0.005$) + LGN ($0^\circ, 138.5^\circ, 23^\circ$) (3, 4).

LGS ($0, 140, 24^\circ$) в широком интервале температур. При использовании в расчетах материальных констант из работы [7] теоретические и экспериментальные зависимости $\Delta f/f(t_0)$ от температуры t полностью совпадают.

В качестве примера на рис. 1 показаны рассчитанные численным способом по методу [3,4] зависимости $TKZ^{(1)}$ ПАВ от температуры в кристаллах LGS ($0, 140, 22.5^\circ$), LGN ($0, 138.5, 23^\circ$), ST,X-кварце ($0, 132.75, 0^\circ$) при учете только 1-го и 1-го+2-го порядков температурных материальных констант. В отличие от ST,X-кварца [5] (рис. 1, кривые 5, 6) учет 2-го порядка температурных материальных констант (1) в кристаллах LGS (кривая 2), LGN (кривая 4) существенно изменяет вид зависимости $TKZ^{(1)}$ ПАВ от температуры. Таким образом, можно сделать вывод, что зависимость констант у кристаллов LGS и LGN от температуры t имеет сильно нелинейный характер в отличие от пьезокварца. На рис. 2 показаны зависимости $TKZ^{(1)}$ и $TKZ^{(2)}$ ПАВ от температуры t для системы: слой Al ($h/\lambda = 0.005$) + LGS ($0, 140, 22.5^\circ$) (кривые 1, 2) и Al ($h/\lambda = 0.005$) + LGN ($0, 138.5, 23^\circ$) (кривые 3, 4). При наличии пленки на кристалле LGS величина $TKZ^{(1)}$ ПАВ (кривая 1) имеет нулевое значение при температуре 10°C . Величина $TKZ^{(2)}$ ПАВ (кривая 3) при этом изменяется незначительно и равна $+7 \cdot 10^{-8} \text{ 1/}^\circ\text{C}^2$. Для кристалла LGN величина $TKZ^{(1)}$ ПАВ (кривая 2) изменяется от $+8 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ до $-2 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ и имеет нулевое значение при температуре 50°C . Величина $TKZ^{(2)}$ ПАВ (кривая 4) при этом изменяется от $-3 \cdot 10^{-8} \text{ 1/}^\circ\text{C}^2$ до $-1 \cdot 10^{-8} \text{ 1/}^\circ\text{C}^2$.

Список литературы

- [1] Yakovkin I.B., Taziev R.M., Kozlov A.S. // Proc. IEEE Ultrason. Symp. 1995. P. 389.
- [2] Cunha M.P., Fagundes S.A. // Proc. IEEE Ultrason. Symp. 1998. P. 1.6.

- [3] Олинер А. Поверхностные акустические волны. М.: Мир, 1981. 500 с.
- [4] Dvoesherstov M.Yu., Cherednick VI., Chirimanov A.P., Petrov S.G. // SPIE. 1999. Vol. 3900. P. 283.
- [5] Sarharov S., Senushencov P., Medvedev A., Pisarevsky Yu. // IEEE Freq. Contr. Symp. 1995. P. 647.
- [6] Inoue K., Sato K. // J. Appl. Phys. 1998. Pt. 1. Vol. 37. N 5B. P. 2909.
- [7] Bungo A., Jian C., Yamaguchi K., Sawada Y., Kimura R., Uda S. // IEEE Ultrason. Symp. 1999. P. 1.
- [8] Pisarevsky Yu., Senushencov P., Popov P., Mill B. // IEEE Freq. Contr. Symp. 1995. P. 653.
- [9] Shimizu Y., Terazaki A., Sakaue T. // Proc. IEEE Ultrason. Symp. 1976. P. 519.