

УДК 534.22

Р. М. Тазиев

(Новосибирск)

**УТОЧНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ
МАТЕРИАЛЬНЫХ КОНСТАНТ ЛАНГАСИТА**

Представлено уточнение температурных коэффициентов упругих постоянных лангасита исходя из экспериментальных данных температурной зависимости времени задержки объемных волн в лангасите.

Сравнительно недавно лангасит ($\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$) привлек внимание исследователей как новый пьезоэлектрический материал. Лангасит – тригональный кристалл, принадлежащий к точечной группе симметрии (32), как α -кварц. Он имеет более низкую скорость поверхностной акустической волны (ПАВ) и больший коэффициент электромеханической связи (K^2) ПАВ по сравнению с α -кварцем. Эти свойства наиболее привлекательны для проектирования фильтров промежуточной частоты на ПАВ с миниатюрными размерами и широкой полосой пропускания.

Численному исследованию характеристик распространения ПАВ в лангасите (фазовой скорости, коэффициенту K^2 , температурному коэффициенту времени задержки (ТКЗ)) посвящено достаточно много работ [1–3], и только в нескольких статьях сообщается об их экспериментальном исследовании [4, 5]. Экспериментальные значения скорости и коэффициента K^2 ПАВ находятся в хорошем согласии с их расчетными значениями в X -, Y -, Z - и Z^{+140} -срезах лангасита. Однако измеренные значения ТКЗ ПАВ значительно отличаются от расчетных значений в вышеупомянутых срезах лангасита [4, 5].

В настоящей работе мы попытаемся объяснить причину такого большого расхождения между экспериментальными и расчетными значениями ТКЗ ПАВ. Исходя из экспериментальных значений для ТКЗ объемных волн в лангасите [6], получим уточненные температурные коэффициенты материальных констант лангасита.

Чувствительность ТКЗ ПАВ к различным температурным коэффициентам материальных констант лангасита. Будем исходить из недавно опубликованных [7, 8] данных для материальных констант лангасита и их температурных коэффициентов, которые представлены в табл. 1 и 2. В вычислениях параметров ПАВ используем материальные постоянные [8], поскольку только они обеспечивают наименьшее расхождение между экспериментальными и расчетными значениями скоростей объемных волн (отклонение не превышает 3–5 м/с). Нами были выполнены также предварительные расчеты ТКЗ ПАВ в лангасите с использованием материальных кон-

Таблица 1

Упругие C_{ij} (10^{11} Н/м²), пьезоэлектрические e_{ij} (К/м²)
и диэлектрические константы ϵ_{ij} лангасита

Источник	C_{11}	C_{13}	C_{14}	C_{33}	C_{44}	C_{66}	e_{11}	e_{14}	ϵ_{11}/ϵ_0	ϵ_{33}/ϵ_0	ρ , кг/м ³	α_{11} , 10 ⁻⁶ /°C	α_{33} , 10 ⁻⁶ /°C
[7]	1,893	0,9528	0,1493	2,624	0,5384	0,4216	-0,431	0,108	18,97	52,0	5743	5,07	3,6
[8]	1,888	0,959	0,141	2,614	0,535	0,42	-0,44	0,08	18,92	50,7	5743	5,11	3,6

Примечание. ϵ_0 – диэлектрическая постоянная вакуума.

стант, приведенных в [7, 8]. Как видно из рисунка, действительно, использование данных [8] обеспечивает наилучшее согласие с экспериментами [4, 5].

Используя разложение в ряд фундаментальных материальных констант в окрестности начальной температуры T_0 по $\theta = T - T_0$:

$$C_{ij}(T) \approx C_{ij}(T_0)(1 + TC_{ij}\theta),$$

оценим чувствительность ТКЗ ПАВ к вариациям температурных коэффициентов всех материальных констант лангасита. В этом случае выражение для ТКЗ ПАВ может быть представлено в виде

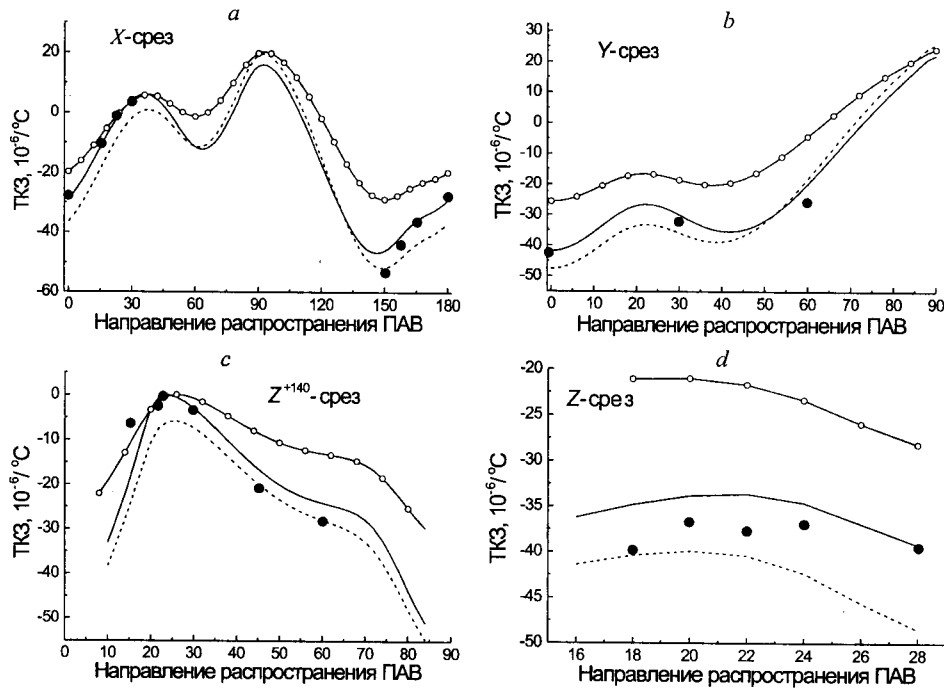
$$\text{ТКЗ} = \alpha_{11} - TCV,$$

где $TCV = -\partial V / \partial T / V_0 = \sum (a_{ij} TC_{ij} + b_{ij} Te_{ij} + d_{ij} T\epsilon_{ij}) - T\rho/2$; TC_{ij} , Te_{ij} и $T\epsilon_{ij}$ – температурные коэффициенты упругих, пьезоэлектрических и диэлектрических констант лангасита соответственно; $T\rho$ – температурный коэффициент плотности; α_{ij} – постоянные теплового расширения. Коэффициенты a_{ij} , b_{ij} и d_{ij} легко вычисляются по формуле возмущения для относительного изменения скорости волны V . Для лангасита, имеющего симметрию α -кварца, ТКЗ ПАВ зависит только от десяти температурных коэффициентов материальных констант: TC_{11} , TC_{13} , TC_{14} , TC_{33} , TC_{44} , TC_{66} , Te_{11} , Te_{14} , $T\epsilon_{11}$ и $T\epsilon_{33}$. Согласно нашим предварительным расчетам наибольший вклад в величину ТКЗ ПАВ в лангасите дают только три температурных коэффициента: TC_{66} , TC_{44} и TC_{14} . Вклад от коэффициентов TC_{11} , TC_{33} заметно меньший, но им нельзя пренебрегать. Вкладом остальных коэффициентов (TC_{13} , Te_{11} , Te_{14} , $T\epsilon_{11}$ и $T\epsilon_{33}$) можно пренебречь. Это позволяет предположить, что наблюдаемое расхождение между расчетными и экспериментальными зна-

Таблица 2

Температурные коэффициенты материальных постоянных лангасита, 10⁻⁴/°C

Источник	TC_{11}	TC_{13}	TC_{14}	TC_{33}	TC_{44}	TC_{66}	Te_{11}	Te_{14}	$T\epsilon_{11}$	$T\epsilon_{33}$
Уточненные данные	-0,663	-0,75	-3,348	-0,941	-0,628	-0,1346	5,87	6,25	1,5	-7,6
[8]	-0,675	-0,75	-3,175	-1,025	-0,675	0,079	5,87	6,25	1,5	-7,6
[7]	-0,53	-0,88	-2,05	-1,04	-0,62	-0,047	4,56	-6,28	1,37	-7,95



Зависимости ТКЗ ПАВ от направления распространения волны в X -, Y -, Z -, Z^{+140} -срезах лангасита: темные кружки – экспериментальные значения [5] (a , b , c) и [4] (d); расчетные значения ТКЗ: штриховая линия с данными из [6], сплошная линия со светлыми кружками – с данными из [7], сплошная кривая – с новыми, уточненными данными температурных коэффициентов упругих постоянных лангасита

чениями ТКЗ ПАВ связано, главным образом, с недостаточной точностью определения именно первых трех температурных коэффициентов материальных констант лангасита из экспериментальных значений ТКЗ объемных волн.

Коррекция температурных коэффициентов материальных констант лангасита. Воспользуемся экспериментальными данными из [6], которые частично представлены в табл. 3. Мы умышленно здесь выбрали только «чистые» направления (вдоль X -, Y -, Z -осей) распространения объемных волн, исключив из рассмотрения другие направления распространения. Наши предварительные численные исследования показали, что определение температурных коэффициентов материальных констант лангасита с минимальной стандартной ошибкой возможно только при использовании значений ТКЗ объемных волн, распространяющихся в «чистых» направлениях. Исходя из восьми экспериментальных значений ТКЗ объемных волн (см. табл. 3), мы можем определить пять температурных коэффициентов: TC_{11} , TC_{33} , TC_{14} , TC_{66} и TC_{44} , которые дают заметный вклад в величину ТКЗ ПАВ. Для их определения необходимо минимизировать квадратичную невязку

$$\sum_{n=1}^8 [\text{TKЗ}_p^{(n)}(TC_{ij}) - \text{TKЗ}_3^{(n)}]^2 = \min,$$

Экспериментальные значения скорости и их температурные коэффициенты (TCV) для объемных волн в лангасите [6]

Направление распространения	Мода	Скорость, м/с	$TCV, 10^{-6}/^{\circ}C$
X	L	5748,7	-21,3
X	FS	3311,5	-43,7
X	SS	2379,6	53,5
Y	QL	5755,3	-29,9
Y	QS	3009,9	-14,1
Y	S	2738,0	13,6
Z	L	6746,7	-40,3
Z	S	3052,2	-27,8

здесь $TKZ_p^{(n)}$ и $TKZ_s^{(n)}$ – расчетные и экспериментальные значения ТКЗ для объемных волн или ПАВ в кристалле лангасита для n -го направления распространения волны. Температурные коэффициенты TC_{13} , Te_{11} , Te_{14} , Te_{11} и Te_{33} , которые не дают ощутимого вклада в ТКЗ ПАВ, были взяты такими же, как в [8], и при минимизации квадратичной невязки не варьировались. Полученные в результате минимизации уточненные значения температурных коэффициентов для материальных констант лангасита представлены в табл. 2. Из таблицы видно, что некоторые из уточненных коэффициентов заметно отличаются от данных [8]. Например, различие в значении температурного коэффициента TC_{66} , дающего наибольший вклад в ТКЗ ПАВ в лангасите, достигает 200 %. Как видно из рисунка, расчетные значения ТКЗ с новыми (уточненными) температурными коэффициентами упругих постоянных лангасита находятся в значительно лучшем согласии со всеми экспериментальными значениями, чем расчетные значения ТКЗ ПАВ с данными [7, 8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Naumenko N. F. SAW and leaky waves in a new piezoelectric crystal of langasite // ISSWAS. 1994. P. 245.
2. Yakovkin I. B., Taziev R. M., Kozlov A. S. Numerical and experimental investigation SAW in langasite // IEEE Intern. Ultrason. Symp. Proc. 1995. P. 389.
3. Sato T., Murota M., Shimisu Y. Characteristics of Rayleigh and leaky surface acoustic wave propagating on a $La_3Ga_5SiO_{14}$ substrate // Jap. Journ. Appl. Phys. 1998. **37B**, N 5. P. 2914.
4. Briot E. H., Bigler E., Solal M. et al. Comparison between theoretical and experimental properties of SAW on Z-cut of langasite // EFTF. 1997. P. 340.
5. Inou K., Sato K. Propagation characteristics of surface acoustic waves on langasite // Jap. Journ. Appl. Phys. 1998. **37B**, N 5. P. 2909.

6. **Турчин П. П.** Нелинейные электромеханические свойства и распространение акустических волн в тригональном пьезоэлектрике $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ в условиях статических внешних воздействий // Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. Красноярск, 1997.
7. **Sakharov S., Senushenkov P., Medvedev A., Pisarevsky Yu.** New data on temperature stability and acoustical losses of langasite // IEEE Intern. Freq. Contr. Symp. Proc. 1995. P. 647.
8. **Sorokin B. P., Turchin P. P., Burkov S. I. et al.** Influence of static electric field, mechanical pressure and temperature on the propagation of acoustic waves in $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ piezoelectric single crystals // IEEE Intern. Freq. Contr. Symp. Proc. 1996. P. 161.

*Институт физики полупроводников СО РАН,
E-mail: taziev@thermo.isp.nsc.ru*

*Поступила в редакцию
21 марта 2001 г.*

Реклама продукции в нашем журнале – залог Вашего успеха!