

ϵ_0 — диэлектрическая проницаемость вакуума, ϵ — диэлектрическая проницаемость материала волновода для анизотропной среды

$$\epsilon = (\epsilon_x \cdot \epsilon_z)^{1/2} (\text{LiNbO}_3 - \epsilon_x = 82, \epsilon_z = 27.5), \quad (5)$$

то из графиков рис. 5 можно рассчитать частотные характеристики модуляторов отсечки волноводной моды. Таким образом, в результате проведенных исследований была определена эффективность работы волноводных амплитудных модуляторов на длине волны оптического излучения $\lambda = 850$ нм от их технологических и оптических параметров, в результате оптимизации был изготовлен модулятор со следующими физико-техническими характеристиками: максимальная глубина модуляции 98% при управляющем напряжении $U = 16$ В, ширина полосы работы $\Delta f = 1.6$ ГГц, энергия $E_{\text{пер}}$, необходимая для переключения из одного состояния в другое, определяется величиной ~ 510 пДж (образец 5).

К достоинствам интегрально-оптических модуляторов отсечки волноводной моды следует отнести простоту топологии оптоэлектронной схемы и технологичность изготовления. Не вызывает затруднений и реализация многоканальных модулирующих структур на единой подложке. Расчеты показывают, что на пластине из ниобата лития с размерами $10 \times 7 \times 1$ мм может быть расположено ~ 100 независимых модуляторов, соединенных с оптическими стандартными световодами, при формировании волноводных каналов на обеих рабочих плоскостях сегнетоэлектрической подложки.

Список литературы

- [1] Егоров В.М., Косцов Э.Г. // Автометрия. 1989. № 3. С. 61–68.
- [2] Семенов А.С., Смирнов В.А., Шмалько А.В. // Квантовая электроника. (Москва). 1987. Т. 14. № 7. С. 1319–1360.
- [3] Войтенко И.Г., Редько В.П., Яковенко Н.А. // Изв. АН БССР. Сер. физ.-мат. наук. 1985. № 4. С. 76–80.
- [4] Ashley Paul R., Chang William S.C. // IEEE. J. Quantum Electron. 1986. Vol. 22. N 6. P. 920–927.
- [5] Takirawa Kuniharu // Opt. Lett. 1986. Vol. 11. N 12. P. 818–820.

Кубанский университет

Краснодар

Поступило в Редакцию

24 октября 1990 г.

В окончательной редакции

19 апреля 1991 г.

06; 08; 12

© 1992 г.

Журнал технической физики, т. 62, в. 4, 1992

ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ УСТРОЙСТВ НА ПАВ С ПОМОЩЬЮ ПОЗИСТОРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

И. П. Раевский, А. Н. Рыбьянец, М. А. Малицкая, В. Г. Полтавцев, А. В. Турик

Устройства обработки сигналов на поверхностных акустических волнах (ПАВ) находят широкое применение в современной радиоэлектронике. Оптимальный выбор материала звукопровода для устройств на ПАВ определяется главным

образом значениями скорости распространения, коэффициента электромеханической связи K_s и температурного коэффициента времени задержки (ТКЗ) ПАВ [1]. Для большинства практических применений желательным является сочетание нулевого ТКЗ и высоких значений K_s .

Звукопроводы устройств на ПАВ изготавливаются в основном из пьезоэлектрических монокристаллов кварца и ниобата лития или из пьезокерамики. Кварц имеет срезы с нулевым ТКЗ, но очень малым K_s ПАВ ($K_s^2 = 0.0026$ для ST-среза [2]). Ниобат лития обладает одним из наибольших значений K_s , но имеет недостаточную для многих применений температурную стабильность ($K_s^2 = 0.057$ при $\text{ТКЗ} = 75 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ для 128° YX-среза [2]). В настоящее время разработан ряд пьезокерамических материалов на основе цирконата—титаната свинца (ЦТС) и титаната свинца с близкими к нулевому ТКЗ. Однако получение таких керамик сопряжено со значительными технологическими трудностями, а улучшение температурной стабильности в большинстве случаев приводит к ухудшению других важных параметров, в частности к снижению K_s .

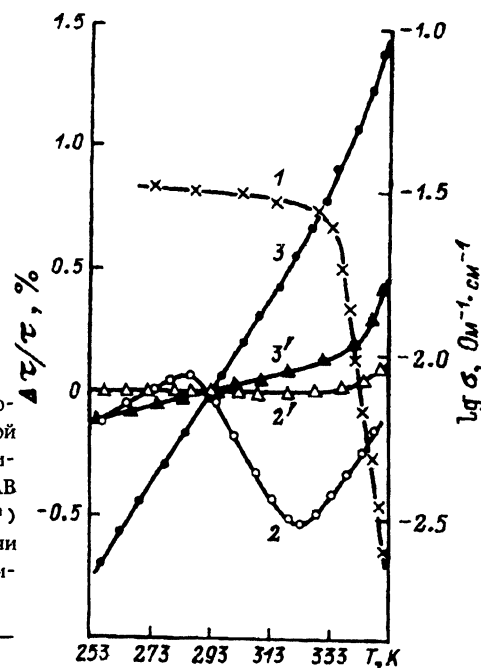
Отсутствие материала, обладающего универсальным сочетанием свойств, заставляет прибегать при конструировании устройств на ПАВ к компромиссным решениям. В настоящее время звукопроводы обычно изготавливают из материалов с высоким K_s , а для повышения температурной стабильности устройств на ПАВ применяются различные методы [3]: схемотехническая термокомпенсация; использование механических воздействий или сильных электрических полей для компенсации температурных изменений параметров; создание слоистых термокомпенсированных структур, например $\text{Au/SiO}_2/\text{LiNbO}_3$. В ряде случаев, несмотря на громоздкость и энергоёмкость, целесообразным оказывается применение внешнего термостатирования [3]. Эффективным путем реализации комплекса требований к современной радиоэлектронной аппаратуре (высокая стабильность, малые габариты и энергопотребление) является переход к созданию устройств функционально и технологически сочетающих в единой конструкции акустоэлектронное устройство и термостабилизирующий элемент. Одним из примеров такого подхода является использование для термостабилизации резонаторов на ПАВ позисторов—терморезисторов с положительным температурным коэффициентом сопротивления (ПТКС), изготовленных из полупроводниковой керамики [4]. Это позволило снизить ТЧК резонатора на ПАВ из ниобата лития YZ-среза с $92 \cdot 10^{-6}$ до $2 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, однако высокая температура стабилизации $T_{\text{ст}} \sim 390 \text{ K}$ использовавшихся в [4] позисторов приводила к ускоренной деградации устройства на ПАВ.

В настоящей работе исследованы характеристики термостабилизированных с помощью позисторных элементов пьезокерамических звукопроводов для устройств на ПАВ, а также возможность управления характеристиками этих устройств путем изменения напряжения питания позисторного элемента.

В качестве материала звукопроводов для устройств на ПАВ были выбраны пьезокерамики ПКР-1 и ПКР-53 на основе системы ЦТС [5]. Пьезокерамика ПКР-1, принадлежащая ромбоэдрической границе морфотропной области, наряду с высоким значением коэффициента электромеханической связи ($K_s^2 = 0.032$) характеризуется аномально высоким ТКЗ $\sim 275 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Пьезокерамика ПКР-53 с ромбоэдрической структурой обладает достаточно высоким значением $K_s^2 = 0.0225$ и имеет нелинейную температурную зависимость времени задержки ПАВ (ТКЗ дважды меняет знак в интервале 253—343 К при среднем значении $\langle \text{ТКЗ} \rangle = 75 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$). Пьезокерамические звукопроводы из керамики, полученной методом горячего прессования, имели форму прямоугольных пластин размером $20 \times 10 \times 2$ мм и поляризовались по толщине в поле $4 \cdot 10^6 \text{ В/м}$ при температуре 413 К. На полированную поверхность звукопроводов фотолитографическим методом наносилась измерительная линия задержки ПАВ, состоящая из входного и двух выходных встречно-штыревых преобразователей с центральной частотой 12 МГц.

Для изготовления позисторных элементов использовались легированные ниобием керамические составы $Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$ ($x = 0.30-0.35$) с добавками стеклообразующих оксидов [6]. Обжиг проводился на подложках из ZrO_2 при 1600–1650 К. Электроды наносились на большие грани элементов размером $20 \times 10 \times 0.5$ мм вжиганием серебрясодержащей пасты с последующей омизацией путем нанесения сплава $InPb$ и термообработки [7]. Позисторные элементы соединялись с обратной поверхностью звукопроводов ПАВ при помощи проводящего клея с хорошей теплопроводностью. Полученные составные звукопроводы монтировались в стандартные металлоглазненные корпуса и герметизировались в атмосфере сухого азота.

Рис. 1. Зависимости от температуры окружающей среды электропроводности σ позисторной керамики $Ba_{0.65}Sr_{0.35}TiO_3:Nb$ (1) и относительного изменения времени задержки $\Delta\tau/\tau$ ПАВ звукопроводов из пьезокерамики ПКР-53 (2, 2') и ПКР-1 (3, 3') до (2, 3) и после (2', 3') подачи напряжения (12 В) на позисторный термостабилизирующий элемент.



Для возбуждения ПАВ использовались радиоимпульсы длительностью 0.5 мкс с частотой заполнения 12 МГц. Измерения температурных зависимостей времени задержки ПАВ и электропроводности позисторной керамики выполнялись по стандартным методикам [8] с использованием термокамеры ТК-1. Напряжение на позисторные элементы подавалось от стабилизированных источников питания Б5-9 или Б5-50.

На рис. 1 показана температурная зависимость электропроводности σ (кривая 1) элемента из позисторной керамики с $x = 0.35$. При резистивном нагревании выше температуры T_c сегнетоэлектрического фазового перехода σ резко уменьшается, что приводит к уменьшению протекающего через элемент тока и стабилизации его температуры вблизи $T_{ст} \sim 340$ К (напряжение питания $u = 12$ В). В температурной области ПТКС поддерживается режим постоянной мощности ($P \sim 0.8$ Вт). Результаты исследования температурных зависимостей времени задержки $\Delta\tau/\tau$ ПАВ до и после подачи напряжения на позисторный элемент приведены на рис. 1. Использование позисторных термостабилизирующих элементов позволило снизить ТКЗ ПАВ пьезокерамики ПКР-1 с $275 \cdot 10^{-6}$ (кривая 2) до $2.5 \cdot 10^{-6}$ К $^{-1}$ (кривая 2'). Резкое возрастание $\Delta\tau/\tau$ ПАВ термостабилизированных звукопроводов (кривые 2' и 3') при температуре 340 К связано с приближением внешней температуры к $T_{ст}$, соответствующей используемому напряжению, и нарушением режима термостабили-

зации. Использование термостабилизирующих позисторных элементов позволяет расширить диапазон термостабилизации и снизить ТКЗ при повышенных температурах, однако, как и в [4], повышение T_{CT} приводит к ускоренной деградации устройства на ПАВ.

Использование термостабилизирующих позисторных элементов позволяет также осуществлять электрическое управление параметрами устройств на ПАВ. Известно, что T_{CT} позисторного элемента зависит от напряжения питания и может изменяться в достаточно широких пределах [7]. Зависимость T_{CT} позисторной керамики от u была использована нами для точной подстройки параметров устройств на ПАВ. Несомненными достоинствами этого метода являются сравнительно невысокое управляющее напряжение и возможность термостабилизации устройства при каждом значении u .

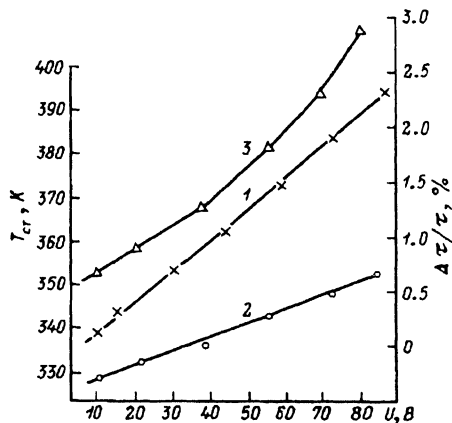


Рис. 2. Зависимости от напряжения питания позисторного элемента из керамики $Ba_{0.65}Sr_{0.35}TiO_3$: :Nb температуры стабилизации T_{CT} (1) и относительного изменения времени задержки $\Delta\tau/\tau$ ПАВ звукопроводов из пьезокерамики ПКР-53 (2) и ПКР-1 (3).

На рис. 2 приведены зависимости T_{CT} (кривая 1) позисторного элемента из керамики с $x = 0.35$ и соответствующих изменений $\Delta\tau/\tau$ ПАВ термостабилизированных звукопроводов, изготовленных из пьезокерамик ПКР-53 (кривая 2) и ПКР-1 (кривая 3) от напряжения питания позистора (толщина элемента 0.5 мм). Как видно из рис. 2, увеличение напряжения с 10 до 80 В приводит к увеличению T_{CT} позистора с 340 до 390 К (наклон регулировочной характеристики ~ 0.7 К/В) и обеспечивает изменение $\Delta\tau/\tau \sim 1\%$ для ПКР-1. Нелинейность зависимости $\Delta\tau/\tau$ ПКР-1 (кривая 3) является следствием нелинейности температурной зависимости $\Delta\tau/\tau$ ПАВ и обусловлена нестабильностью доменной структуры пьезокерамики ПКР-1, принадлежащей области морфотропного фазового перехода [5]. Дальнейшее повышение температурной стабильности звукопроводов устройств на ПАВ может быть достигнуто путем дополнительной термоизоляции корпуса и электрических выводов.

Список литературы

- [1] Поверхностные акустические волны / Под ред. А.Олинера. М.: Мир, 1981. 390 с.
- [2] Кондратьев С.Н., Петржиж Е.А. // Зарубежная радиотехника. 1986. № 1. С. 31–41.
- [3] Lewis M. // IEEE Ultrason. Symp. Proc. New York, 1979. P. 612–622.
- [4] Potter B.R., Schoenwald J.S. // IEEE Ultrason. Symp. Proc. New York, 1975. P. 499–502.
- [5] Мирошниченко Е.М., Рыбьянец А.Н. // Тез. докл. XI Всесоюз. конф. по физике сегнетоэлектриков. Киев, 1986. Т. 1. С. 72.
- [6] Полупроводники на основе титаната бария. М.: Энергоиздат, 1982. 328 с.
- [7] Шефтель И.Т. Терморезисторы. М.: Наука, 1973. 416 с.
- [8] Каринский С.С. Устройство обработки сигналов на ультразвуковых поверхностных волнах. М.: Сов. радио, 1975. 176 с.

Ростовский-на-Дону университет
 Научно-исследовательский институт физики
 Поступило в Редакцию 20 декабря 1990 г.