

ПАВ-устройства на термокомпенсированных пластинах. Проблемы и перспективы

С.С. Дорофеева, Т.В. Сеницына, *А.С. Багдасарян

Москва, ООО «БУТИС», 121357 ул. Верейская, 29, стр. 135, e-mail: rabbit-house@mail.ru;

* Москва, Институт радиотехники и электроники РАН им. В.А. Котельникова, 125009,
ул. Моховая 11, корп.7.

Данная работа посвящена исследованию термокомпенсированных многослойных структур $LiTaO_3$ /кремний с целью их применения для реализации устройств на поверхностных акустических волнах.

SAW devices on thermo compensated plates. Problems and prospects. S.S. Dorofeeva, T.V.Sinitsina, A.S. Bagdasaryan. This work is devoted to the research of thermo compensated multi-layer structures $LiTaO_3$ /silicon to use them for the realization on surface acoustic wave devices.

Введение.

Одним из приоритетных направлений развития современной акустоэлектроники, в том числе устройств на поверхностных акустических волнах (ПАВ), является поиск новых пьезоэлектрических материалов, обеспечивающих улучшение температурной стабильности устройств в расширенных диапазонах полос пропускания [1,2]. Актуальность данных исследований связана с тем, что такие материалы как кварц, лангасит и его изоморфы, обладающие высокой температурной стабильностью - температурный коэффициент частоты (ТКЧ) составляет порядка $(0-1,6) \times 10^{-6}$ ед./град – имеют малый коэффициент электромеханической связи k^2 , что ограничивает область их применения узко- и сверхузкополосными ПАВ-устройствами. Используемые для проектирования среднеполосных и широкополосных устройств танталат лития (ТЛ) и ниобат лития (НЛ) имеют большой k^2 (от 5% до 20% для разных типов срезов), при этом величина ТКЧ составляет от -36×10^{-6} ед./град. для ТЛ до -94×10^{-6} ед./град для НЛ. Это приводит к ужесточению требований к прямоугольности амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) ПАВ-устройства, что в ряде случаев, в частности, для ПАВ-фильтров с малым вносимым затуханием, является трудновыполнимой задачей.

На сегодняшний день существуют два альтернативных пути решения данной проблемы, связанных с применением термокомпенсированных многослойных структур типа $LiTaO_3$ /кремний или $LiTaO_3$ /сапфир и $SiO_2/LiNbO_3$. Первый метод основан на использовании в качестве несущей подложки материала с низким коэффициентом теплового расширения (рис.1) [3,4]. Второй – на использовании материалов с различными по знаку ТКЧ [5,6]. Оба метода обеспечивают уменьшение ТКЧ в 2-4 раза, однако первый метод считается более перспективным, поскольку не приводит к увеличению уровня вносимого затухания, что свойственно многослойным структурам типа $SiO_2/LiNbO_3$ (от 2 дБ до 4 дБ в зависимости от толщины пленки SiO_2).

Тем не менее, исследования ПАВ-фильтра на 800 МГц, реализованного на основе многослойной структуры $LiTaO_3$ (20 мкм) /кремний (230 мкм) [7], выявили ряд проблем по их практическому применению, исследованию которых и посвящена данная работа.

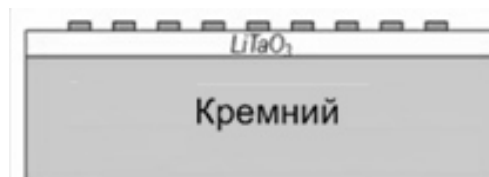


Рис.1. ПАВ-устройство на основе термокомпенсированной многослойной структуры $LiTaO_3$ /кремний.

Результаты экспериментальных исследований.

Основной задачей данной работы было исследование влияния геометрии многослойной структуры $LiTaO_3$ /кремний на ее пьезоэлектрические свойства и параметры ПАВ-устройств с целью выбора оптимальной конфигурации структуры для расширенных частотных диапазонов. Экспериментальные исследования проводились на трех типах конструкций ПАВ-фильтров, реализованных на основе многослойной структуры $LiTaO_3$ 42°УХ-срез (20мкм) /кремний (230мкм): 169 МГц (кольцевая структура на основе реверсивного многополоскового ответвителя - РМПО), 292 МГц и (импедансный тип конструкции), 435 МГц и 800 МГц (на основе продольно-связанных резонаторов) и 1880 МГц (импедансный тип конструкции). Указанный частотный диапазон соответствует изменению относительной толщины пленки более чем в 10 раз (от $0,81\lambda$ до $9,3\lambda$ для граничных значений частотного диапазона, где λ – длина волны или период электродной структуры).

Полученные экспериментальные данные по температурной стабильности ПАВ-фильтров в диапазоне температур от минут 60°C до $+85^\circ\text{C}$ подтвердили первоначальные предположения, что при тонких пленках $LiTaO_3$ будут превалировать электрофизические свойства несущей подложки. Из графика, представленного на рисунке 2, видно, что при относительной толщине пленки $h_{LT}/\lambda=5$ ТКЧ уменьшается более, чем в два раза (-16×10^{-6} ед./град.) по сравнению с исходной величиной для 42°УХ-среза $LiTaO_3$ (-43×10^{-6} ед./град.). При $h_{LT}/\lambda=0,81$ величина ТКЧ составляет -6×10^{-6} ед./град., что позволяет говорить о большой перспективности таких структур.

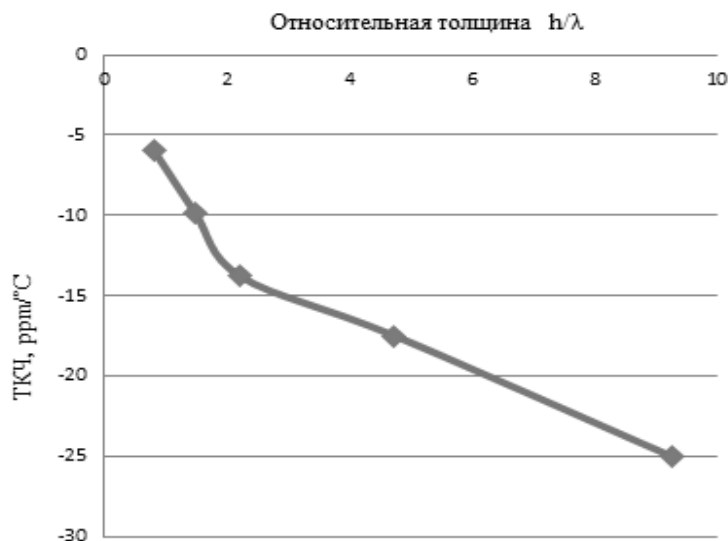


Рис.2. Зависимость ТКЧ от относительной толщины пленки $LiTaO_3$ многослойной структуры $LiTaO_3$ /кремний.

Следует отметить, что при изготовлении ПАВ-фильтров на частоты 169 МГц и 292 МГц, для формирования электродных структур которых использовался метод прямой фотолитографии (максимальная температура обработки пластин $+125^\circ\text{C}$), наблюдался сильный изгиб пластин (до 2,5 мм, рис.3). Это привело к образованию микротрещин в пленке $LiTaO_3$ и, как следствие, к увеличению вносимого затухания ПАВ-фильтров, рис.4. При формировании электродных структур остальных типов фильтров использовался метод обратной фотолитографии (максимальная температура обработки пластин $+80^\circ\text{C}$), при этом изменение уровня вносимого затухания не наблюдалось. Таким образом, данный тип фотолитографии является предпочтительным для реализации ПАВ-устройств на основе многослойных структур.

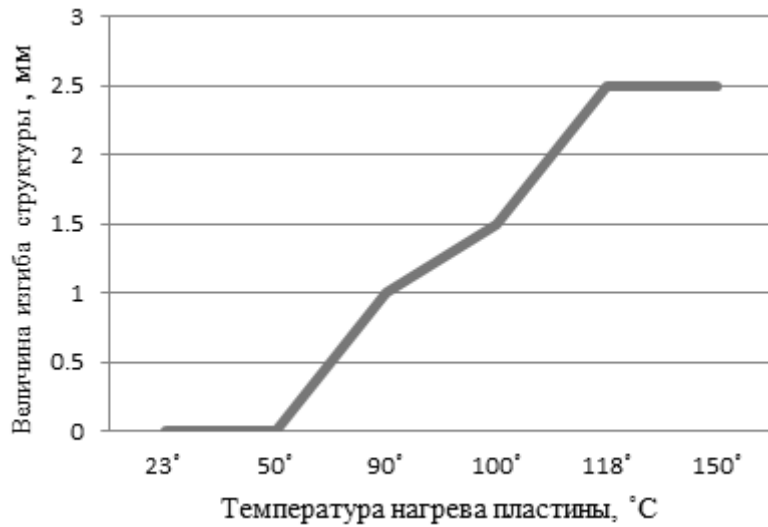


Рис.3. Величина изгиба многослойной структуры $LiTaO_3$ /кремний при нагревании.

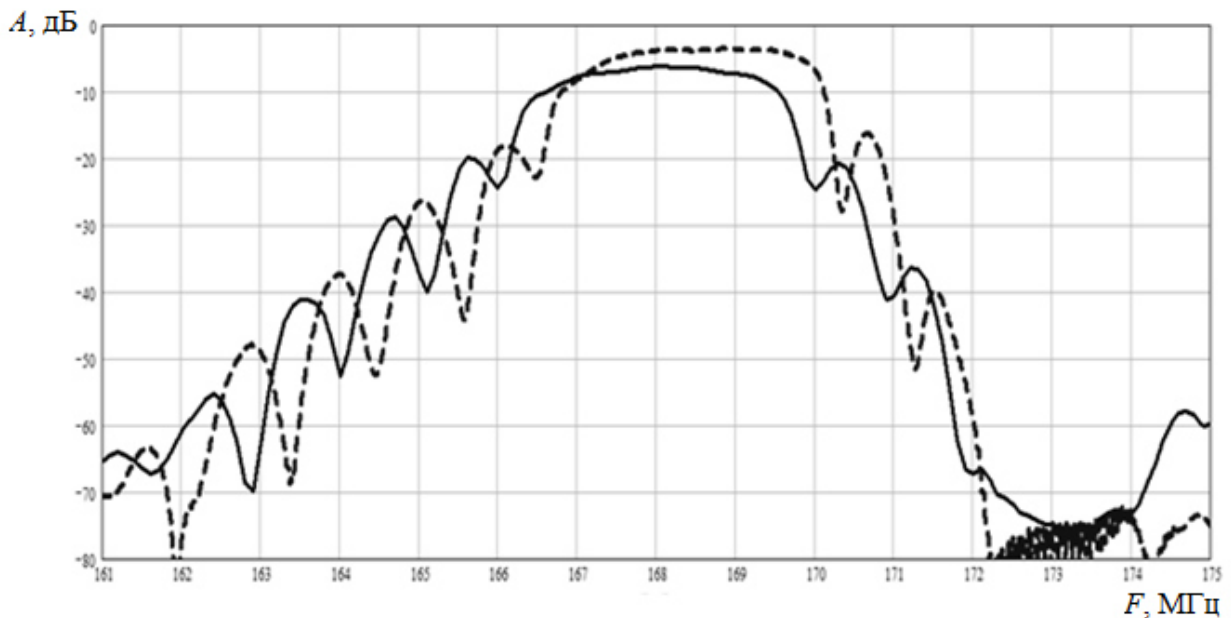


Рис.4. АЧХ ПАВ-фильтра с номинальной частотой 169 МГц: пунктирная линия – подложка $42^\circ\text{УХ-}LiTaO_3$, сплошная линия - структура $LiTaO_3$ /кремний.

Еще одной существенной проблемой при реализации ПАВ-фильтров на основе многослойных структур является возбуждение высокочастотных паразитных мод, связанное с отражением основной волны от границы раздела двух сред, и последующим ее поступлением на выходной преобразователь. Это вызывает значительные искажения АЧХ устройства в высокочастотной полосе заграждения. В качестве примера на рисунке 5 приведена АЧХ ПАВ-фильтра на номинальную частоту 435 МГц в широком диапазоне частот.

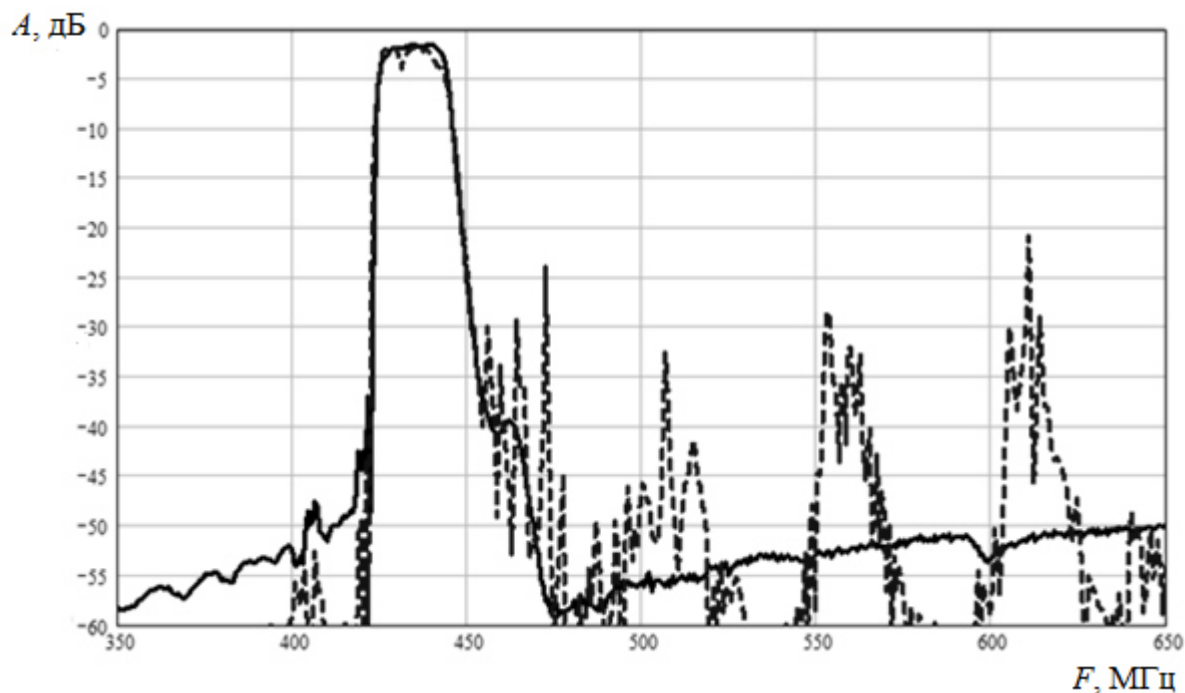


Рис.5. АЧХ ПАВ-фильтра на номинальную частоту 435 МГц: сплошная линия – подложка 42°УХ-LiTaO₃, пунктирная линия - структура LiTaO₃/кремний.

Аналогичная ситуация наблюдалась и на более высоких частотах, рис.6. Рифление обратной стороны многослойной структуры на глубину порядка 100 мкм с шагом 0,7 мм обеспечило уменьшение только одного паразитного пика на частоте порядка $1,14f_0$ на 10дБ.

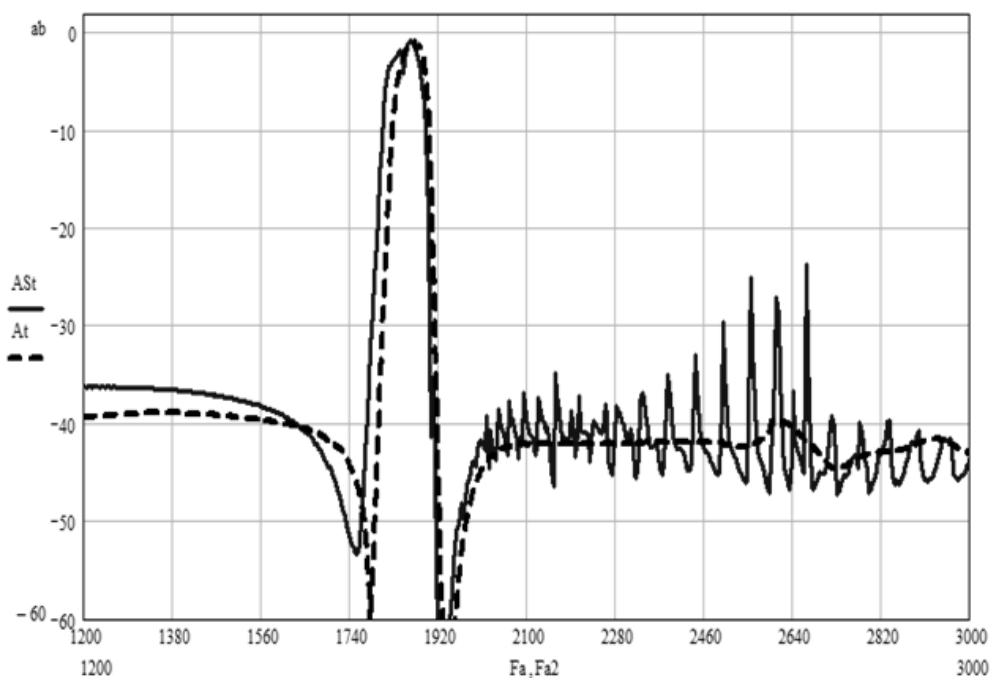


Рис.6. АЧХ ПАВ-фильтра на номинальную частоту 1880 МГц: пунктирная линия – подложка 42°УХ-LiTaO₃, сплошная линия - структура LiTaO₃/кремний.

Выводы.

Из вышесказанного следует, что не смотря на большие перспективы использования многослойных термокомпенсированных пластин в ПАВ-технике, необходимо проведение дальнейших, более глубоких исследований их пьезоэлектрических свойств. В частности, исследование влияния способа соединения несущей подложки и пьезоэлектрической пластины, толщины пьезоэлектрической пленки, геометрических соотношений толщины пленки и несущей подложки на уровень и положение высокочастотных паразитных мод.

Литература

1. Багдасарян А. С., Гуляев Ю. В., Доберштейн С.А., Сеницына Т. В. Техника ПАВ: Ближайшие перспективы // Техника радиосвязи. 2017. № 3 (34). С. 72-84.
2. Багдасарян А. С., Гуляев Ю. В., Сеницына Т. В. Устройства на поверхностных акустических волнах: ближайшие перспективы // В сборнике: Высокие технологии в промышленности России. Тонкие пленки в электронике. Наноинженерия. Сборник научных трудов XXI Международной научно-технической конференции, XXVIII Международного симпозиума и VIII Международной научно-технической конференции. 2016. С. 62–64.
3. Michio Kadota, Shuji Tanaka Improved Quality Factor of Hetero Acoustic Layer (HAL) SAW Resonator Combining LiTaO₃ Thin Plate and Quartz Substrate // Proc. IEEE Ultrason. Symp. 2017.
4. Hayashi J., Gomi M. High-Coupling Leaky SAWs on LiTaO₃ Thin Plate Bonded to Quartz Substrate // Proc. IEEE Ultrason. Symp. 2017.
5. Герасимова Т.А., Кондратьев С.Н., Сеницына Т.В. Термостабильные ПАВ-фильтры на слоистой структуре // Электронная техника, сер. Радиодетали и радиокомпоненты. 1989. вып. 1(74). С.61-63.
6. Nakamura H., Nakanishi H., Fujiwara J., Tsurunari T. A Review of SiO₂ Thin Film Technology for Temperature Compensated SAW Devices // Proc. Sixth International Symposium on Acoustic Wave Devices for Future Mobile Communication Systems. 2015. P. 67-72.
7. Багдасарян А.С., Сеницына Т.В., Дорофеева С.С. Термокомпенсированные ПАВ-устройства на основе многослойных структур // В сборнике: Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. Сборник научных трудов Международной научно-технической конференции «INTERMATIC-2017». Ч.1. 2017. С. 1-4.