

DOI: <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2024.8.12>

УДК: 621.372.54

МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ ТЕРМОСТАБИЛЬНОСТИ ФИЛЬТРОВ НА ПАВ ПРИ ПОМОЩИ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Б.А. Косарев^{1,2}, И.А. Корж²

¹Омский научный центр СО РАН (Институт радиофизики и физической электроники)
644024, Омск, Пр. Карла Маркса, д. 15

²Омский научно-исследовательский институт приборостроения
644071, Омск, ул. Масленникова, д. 231

Статья поступила в редакцию 10 июля 2024 г.

Аннотация. В настоящее время фильтры на поверхностных акустических волнах (ПАВ) широко применяются в радиоэлектронной аппаратуре. Колебания температуры радиоэлектронной аппаратуры в процессе ее эксплуатации или за счет воздействия климатических факторов приводят к смещению частоты фильтров на ПАВ, а значит, к ухудшению соотношения сигнал/шум информационных каналах. Смещение частоты фильтров на ПАВ происходит за счет термических деформаций пьезоэлектрической подложки и корпуса. Одним из способов решения обозначенной проблемы является использование различных термомеханических систем, позволяющих компенсировать уход частоты фильтра на ПАВ. В работе предложено два способа такой компенсации, отличительной особенностью которых является учет температурно-частотной характеристики фильтра на ПАВ. Компенсация ухода частоты фильтра на ПАВ осуществляется за счет изгиба пьезоэлектрической подложки. Если у фильтра преобладает уход частоты в области высоких температур, то при повышении температуры термомеханическая система должна изгибать пьезоэлектрическую подложку

в направлении посадочного места корпуса. Если у фильтра преобладает уход частоты в области низких температур, то при понижении температуры термомеханическая система должна изгибать пьезоэлектрическую подложку в направлении крышки корпуса. По результатам экспериментов уход частоты узкополосного фильтра на ПАВ с центральной частотой 70 МГц и полосой пропускания 30 кГц, содержащего термомеханическую систему, составил не более 2 кГц при изменении температуры от $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Ключевые слова: фильтр на поверхностных акустических волнах, температурно-частотная характеристика, термомеханическая система, стрела прогиба, термостабильность, коэффициент линейного термического расширения.

Финансирование: Работа выполнена по государственному заданию Омского научного центра СО РАН (номер госрегистрации проекта 122011200349-3).

Автор для переписки: Косарев Борис Андреевич, BorisK_88@mail.ru

Введение

В настоящее время фильтры на поверхностных акустических волнах (ПАВ) широко применяются в радиоэлектронной аппаратуре. Колебания температуры радиоэлектронной аппаратуры в процессе ее эксплуатации или за счет воздействия климатических факторов приводят к смещению частоты фильтров на ПАВ, а значит, к ухудшению соотношения сигнал/шум в информационных каналах. Любой фильтр на ПАВ содержит звукопровод с тонкопленочной металлизацией, помещенный в корпус. Колебания температуры приводят к деформации корпуса и звукопровода, изменению скорости распространения ПАВ и смещению частоты фильтра. Данный вопрос особенно важен для сверхузкополосных фильтров промежуточной частоты и его решение имеет ярко выраженное прикладное значение. Одним из способов решения обозначенной проблемы является использование различных термомеханических систем, позволяющих компенсировать уход частоты фильтра на ПАВ.

Известно техническое решение, согласно которому пьезоэлектрическая подложка монтируется в металлокерамический корпус на клей, равномерно нанесенный на посадочное место. Такое жесткое крепление усиливает воздействие термических деформаций корпуса на подложку, способствует ухудшению температурного коэффициента частоты (ТКЧ) и неконтролируемому изменению вида температурно-частотной характеристики (ТЧХ) [1].

Одним из способов повышения термостабильности фильтра на ПАВ является использование биметаллических пластин. Биметаллическая пластина жестко приклеивается на стеклоподобный клей к обратной стороне пьезоэлектрической подложки. Затем термомеханическая система монтируется в корпус и распаивается [2]. К недостаткам такой системы следует отнести ухудшение вибрационной стойкости при отсутствии жесткого крепления биметаллической пластины к посадочному месту корпуса или неконтролируемому изменению вида ТЧХ в случае приклейки пластины к корпусу.

Наиболее близким техническим решением является монтаж пьезоэлектрической подложки на жесткую пластину со сквозными отверстиями по краям [3]. К центру пластины подложка приклеивается на резиноподобный клей с высоким коэффициентом линейного термического расширения (КЛТР). К посадочному месту корпуса пьезоэлектрическая подложка крепится через сквозные отверстия в пластине. К недостаткам данного решения следует отнести отсутствие контроля толщины резиноподобного клея при фиксации пьезоэлектрической подложки в центре жесткой пластины. Так как клей обладает одинаковым КЛТР во всех точках фиксации системы, могут быть получены недостаточная или избыточная величина стрелы прогиба пьезоэлектрической подложки и неконтролируемое изменение вида ТЧХ фильтра на ПАВ.

Целью работы является разработка термомеханической системы для фильтра на ПАВ, которая обеспечит компенсацию ухода его центральной частоты с учетом ТЧХ.

1. Система для термокомпенсации в области низких температур

При понижении температуры термомеханическая система обеспечивает изгиб пьезоэлектрической подложки в направлении крышки корпуса фильтра на ПАВ (рис. 1).

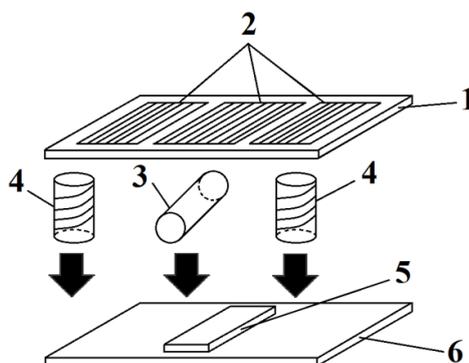


Рис. 1. Конструкция фильтра для термокомпенсации в области высоких температур: 1 – пьезоэлектрическая подложка; 2 – тонкопленочная металлизация; 3 – металлический стержень; 4 – упругий элемент цилиндрической формы; 5 – стеклоподобный клей с низким КЛТР; 6 – посадочное место корпуса.

Упругий элемент 4 формируется из резиноподобного клея с высоким КЛТР. На рис. 2 показан один из вариантов технической реализации упруго элемента 4.

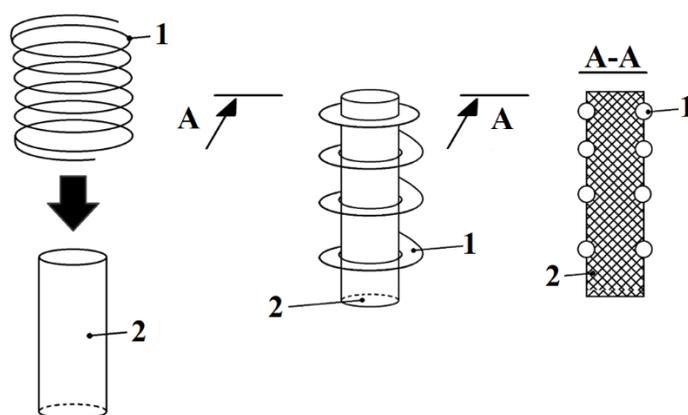


Рис. 2. Конструкция упругого элемента: 1 – мягкая пружина; 2 – резиноподобный клей с высоким КЛТР.

Перед операцией монтажа пьезоэлектрической подложки фильтра на ПАВ в корпус в центре посадочного места на стеклоподобный клей фиксируется металлический стержень. Две мягкие пружины 1 заполняются резиноподобным

клеем 2 и фиксируются на тыльной стороне пьезоэлектрической подложки. После высыхания клея 2 в пружинах 1 на открытые торцы пружин наносится дополнительный слой клея 2 и выполняется операция приклейки пьезоэлектрической подложки в корпус.

Изгиб подложки 1 в сторону крышки корпуса обеспечивается следующим образом. При понижении температуры происходит одновременное линейное термическое сжатие слоя клея 5 и упруго элемента 4. Так как КЛТР резиноподобного клея в упругом элементе 4 на порядок больше КЛТР стеклоподобного клея 5, концы пьезоэлектрической подложки 1 сместятся в направлении посадочного места корпуса 6. После касания подложки 1 и металлического стержня 3 произойдет изгиб подложки по линии касания (рис. 3).

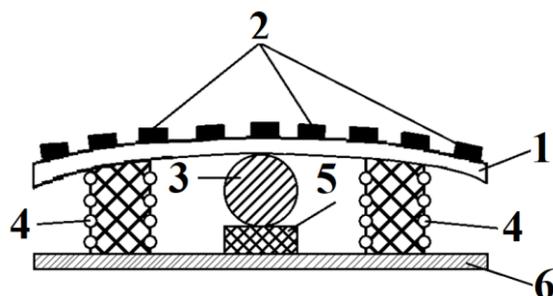


Рис. 3. Формирование стрелы прогиба подложки по линии касания со стержнем: 1 – пьезоэлектрическая подложка; 2 – тонкопленочная металлизация (электроды); 3 – металлический стержень; 4 – упругий элемент; 5 – стеклоподобный клей с низким КЛТР; 6 – посадочное место корпуса.

Описанную термомеханическую систему следует применять, если уход частоты в области отрицательных температур превалирует над уходом частоты в области положительных температур.

2. Система для термокомпенсации в области высоких температур

При повышении температуры термомеханическая система обеспечивает изгиб пьезоэлектрической подложки в направлении посадочного места корпуса фильтра на ПАВ (рис. 4).

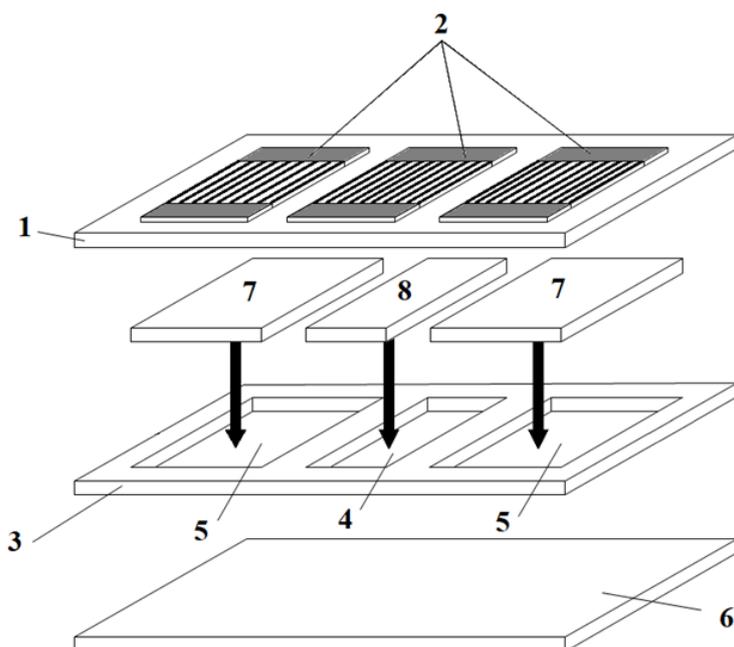


Рис. 4. Конструкция фильтра для термокомпенсации в области высоких температур: 1 – пьезоэлектрическая подложка; 2 – тонкопленочная металлизация; 3 – пластина со сквозными отверстиями; 5, 4 – сквозные отверстия; 6 – посадочное место основания корпуса; 7 – резиноподобный клей с высоким КЛТР; 8 – стеклоподобный клей с низким КЛТР.

Изгиб подложки 1 в сторону посадочного места основания корпуса 6 обеспечивается следующим образом. При повышении температуры происходит одновременное линейное термическое расширение слоев клея 7 и 8. Так как КЛТР резиноподобного клея 7 на порядок больше КЛТР стеклоподобного клея 8, концы пьезоэлектрической подложки 1 сместятся от посадочного места 6 на большее расстояние, чем ее центр (рис. 5).

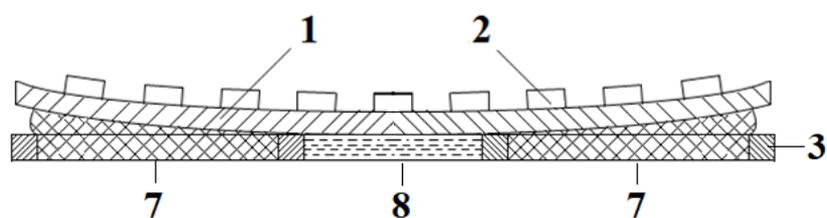


Рис. 5. Формирование стрелы прогиба пьезоэлектрической подложки: 1 – пьезоэлектрическая подложка; 2 – тонкопленочная металлизация (электроды); 3 – пластина со сквозными отверстиями; 7 – резиноподобный клей с высоким КЛТР; 8 – стеклоподобный клей с низким КЛТР.

Образуется стрела прогиба, которая компенсирует линейное термическое расширение подложки 1 при ее нагреве и вызванный этим расширение уход частоты фильтра на ПАВ. В области отрицательных температур изгибу подложки 1 в обратном направлении будет препятствовать пластина 3.

Описанную термомеханическую систему следует применять, если уход частоты фильтра на ПАВ в области положительных температур превалирует над уходом частоты в области отрицательных температур.

3. Экспериментальные результаты и их обсуждение

Для получения экспериментальных результатов было изготовлено два узкополосных фильтра на ПАВ: центральная частота 70 МГц; полоса пропускания 30 кГц; материал подложки кварц YXL/33° – среза, корпус типа SMD – DLCC14/10-1. Один из фильтров был изготовлен с использованием стандартной операции монтажа пьезоэлектрической подложки в корпус (рис. 6).

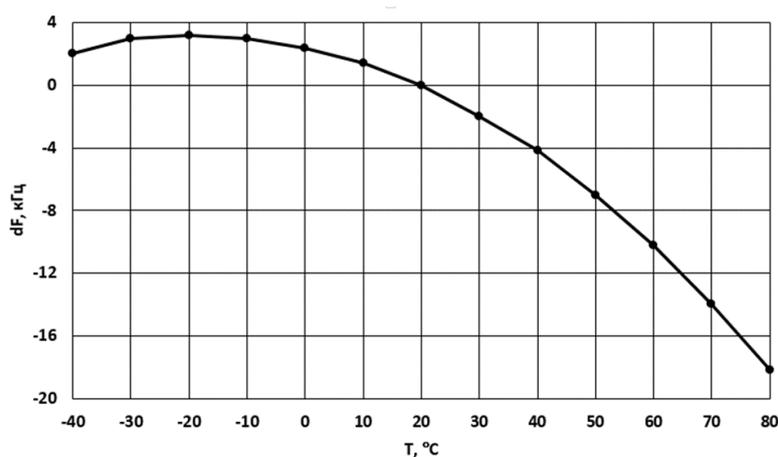


Рис. 6. Частотно-температурная характеристика фильтра на ПАВ без термомеханической системы.

Из рис. 6 видно, что уход частоты значительней в положительном диапазоне температур. При изменении температуры от $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ уход частоты составляет около 19 кГц.

В другой фильтр была интегрирована термомеханическая система с изгибом подложки в направлении посадочного места (рис. 7).

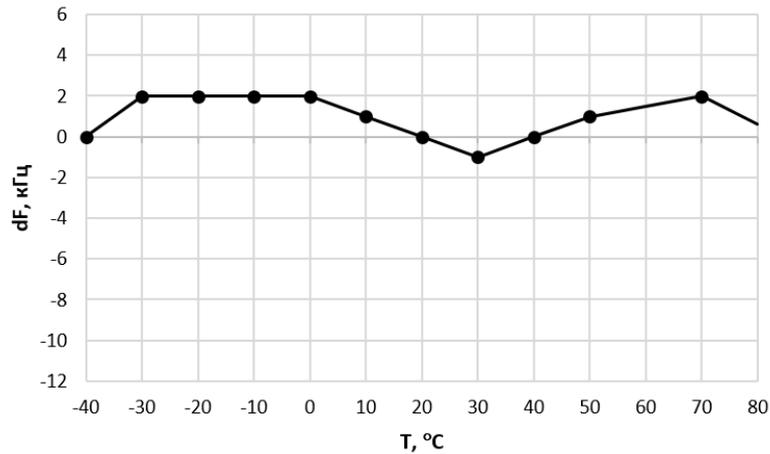


Рис. 7. Частотно-температурная характеристика фильтра на ПАВ с термомеханической системой.

Из показанной на рис. 7 зависимости следует, что уход частоты узкополосного фильтра на ПАВ, содержащего термомеханическую систему с изгибом подложки в направлении посадочного места, составляет не более 2 кГц при изменении температуры от $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Из результатов эксперимента следует, что интеграция в фильтр на ПАВ термомеханической системы позволила уменьшить уход центральной частоты с 19 кГц до 2 кГц при изменении температуры от $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Следует отметить, что использование термомеханических систем в фильтрах на ПАВ имеет технологические ограничения с точки зрения операции монтажа. Во-первых, интеграция термомеханической системы увеличивает трудоемкость изготовления фильтра. Во-вторых, уменьшение масса-габаритных показателей фильтров на ПАВ делает операцию интеграции практически неосуществимой, начиная с 250-300 МГц. При создании термостабильных фильтров на ПАВ для более высокочастотного диапазона используются технические решения, учитывающие неизменную тенденцию к микроминиатюризации радиоэлектронной компонентной базы. К таким решениям относится создание термокомпенсированных слоистых материалов [4, 5]. К недостаткам таких способов улучшения термостабильности фильтров на ПАВ относится сложная технология изготовления, искажение амплитудно-частотной характеристики фильтра, возникновение паразитных откликов.

Заключение

В работе предложены технические решения для повышения термостабильности фильтра на ПАВ, отличительной особенностью которых является учет температурно-частотной характеристики фильтра. Компенсация ухода частоты фильтра на ПАВ осуществляется за счет изгиба пьезоэлектрической подложки. Если у фильтра преобладает уход частоты в области высоких температур, то при повышении температуры термомеханическая система должна изгибать пьезоэлектрическую подложку в направлении посадочного места корпуса. Если у фильтра преобладает уход частоты в области низких температур, то при понижении температуры термомеханическая система должна изгибать пьезоэлектрическую подложку в направлении крышки корпуса. По результатам экспериментов уход частоты узкополосного фильтра на ПАВ с центральной частотой 70 МГц и полосой пропускания 30 кГц, содержащего термомеханическую систему с изгибом подложки в направлении посадочного места, составил не более 2 кГц при изменении температуры от $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Финансирование: Работа выполнена по государственному заданию Омского научного центра СО РАН (номер госрегистрации проекта 122011200349-3).

Литература

1. И.А. Тихонов. Электрические параметры малогабаритного сверхузкополосного ПАВ - фильтра на связанных резонаторах // Техника радиосвязи. 2007. Вып. 12. с. 92-101.
2. Термостабильный фильтр на поверхностных акустических волнах. Патент РФ №2 284 649, Н03Н 3/08, Н03Н 9/64 от 21.12.2004 г., опубл.27.09.2006 г., Бюл. № 27.

3. Патент № 2523958 С2 Российская Федерация, МПК H03H 9/64. Термостабильный узкополосный фильтр на поверхностных акустических волнах: № 2012141630/08: заявл. 28.09.2012: опубл. 27.07.2014 / И.А. Корж, И.А. Тихонов, Б.А. Косарев; заявитель Открытое акционерное общество "Омский научно-исследовательский институт приборостроения" (ОАО "ОНИИП").
4. А.С. Багдасарян, Т.В. Сеницына, С.С. Дорофеева. Термокомпенсированные пав-устройства на основе многослойных структур // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. 2017. Т. 17, № 1. с. 1-4.
5. Hayashi J., Gomi M. High-Coupling Leaky SAWs on LiTaO₃ Thin Plate Bonded to Quartz Substrate // Proc. IEEE Ultrason. Symp. 2017.

Для цитирования:

Косарев Б.А., Корж И.А. Методика повышения термостабильности фильтров на ПАВ при помощи термомеханических систем. // Журнал радиоэлектроники. – 2024. – № 8. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2024.8.12>