

Проектирование конструкций многослойных гибридных интегральных схем устройств частотной селекции диапазона СВЧ на квазисосредоточенных элементах.

В статье приводятся результаты исследования технологии «Система на кристалле» и разрабатывается маршрут проектирования СБИС по этой технологии. В качестве примера проводится проектирование многослойных ГИС частотных фильтров, выполненных по технологии LTCC.

Ключевые слова: гибридные интегральные схемы, устройства частотной селекции, технология LTCC

Технология «Система в Корпусе» (СвК) позволяет реализовать в пределах корпуса микросхемы сложный функциональный узел или устройство в целом за счет совмещения цифровых и аналоговых компонентов устройства в одном корпусе. Возможность размещения в стандартном корпусе функциональных узлов различного назначения, типа и технологии изготовления позволит сократить габариты устройства в сравнении с традиционной реализацией на основе поверхностного монтажа, улучшить энергетические, временные и технологические параметры в целом, сократить и улучшить экономику производственного цикла.

Основные категории технологии СвК включают планарные и собранные в стек системы в 2D и 3D конфигурациях, которые используют взаимосвязи различных структур:

- монтаж проволочными проводниками (wire bond);
- монтаж, при котором кристалл устанавливается на выводы, выполненные непосредственно на его контактных площадках (flip chip);
- монтаж переходными отверстиями в кремнии (through-silicon-via);
- монтаж с помощью шариковых выводов (solder ball).

Все эти структуры схематично показаны на рисунке 1.

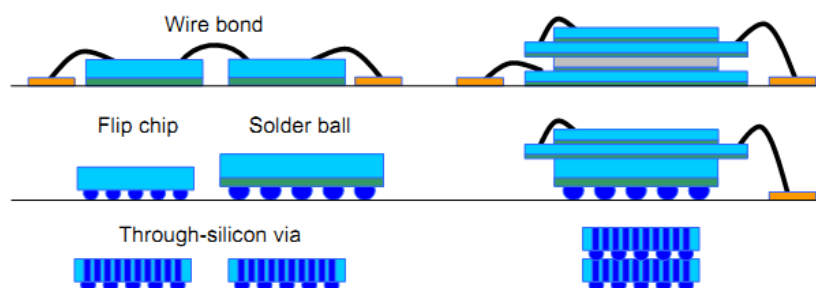


Рис. 1.

Технологии СвК имеют очень широкий спектр применения: мобильные телефоны, ВЧ модули и другие беспроводные приложения, модули камер,

потребительские товары, аудио-визуальные, сетевые и вычислительные устройства, медицинская электроника, оборонная и аэрокосмическая промышленность.

Целью работы является исследование технологии «Система на кристалле», разработка маршрута проектирования СБИС по этой технологии и его реализация на примере проектирования диплексера по технологии LTCC.

Процесс проектирования СвК можно разделить на две части: проектирование аналоговых блоков и проектирование цифровых блоков.

Основные этапы потока проектирования аналоговых блоков СвК схематически изображены на рисунке 2.

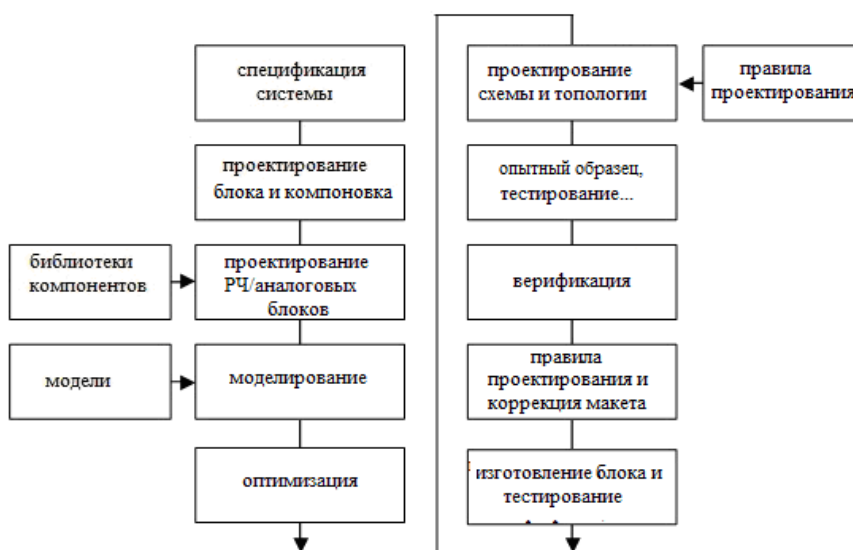


Рисунок 2.

Модель устройства по технологии СвК может быть спроектирована с использованием микрополосковых, копланарных и полосковых линий, которые могут быть проанализированы с использованием стандартных инструментов электродинамического моделирования.

Рассмотрим пример проектирования диплексера. На первом этапе в системе автоматизированного проектирования (САПР) AWR Microwave Office было проведено моделирование схемы электрической диплексера (рис. 3), состоящего из идеальных элементов: катушек индуктивности и конденсаторов, проведен электрический анализ, получена амплитудно-частотная характеристика (АЧХ).

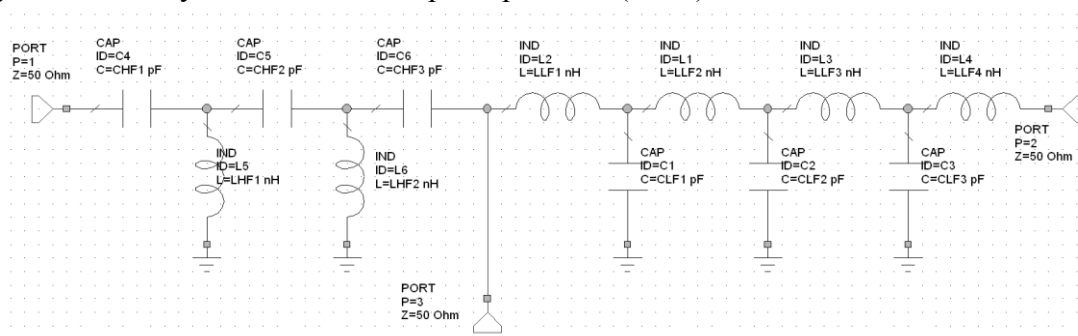


Рис. 3 Схема электрическая диплексера на идеальных элементах

Далее была поставлена задача определить оптимальные по габаритам и электрическим характеристикам конструкции отдельных пассивных элементов, составляющих фильтр.

В [4] подробно описан анализ возможных вариантов реализации катушки индуктивности (КИ) и выбрана оптимальная конструкция в виде плоской прямоугольной стековой катушки. Выбранная модель имеет высокую добротность относительно других рассматриваемых конструкций, и ее характеристика тождественна характеристике идеальной катушки индуктивности в более широком диапазоне частот.

В работе также рассмотрены способы реализации конденсаторов. Представляются интересными плоскопараллельные (рис. 4а), встречно-штыревые (рис. 4б) и стековые конденсаторы (рис. 4в).

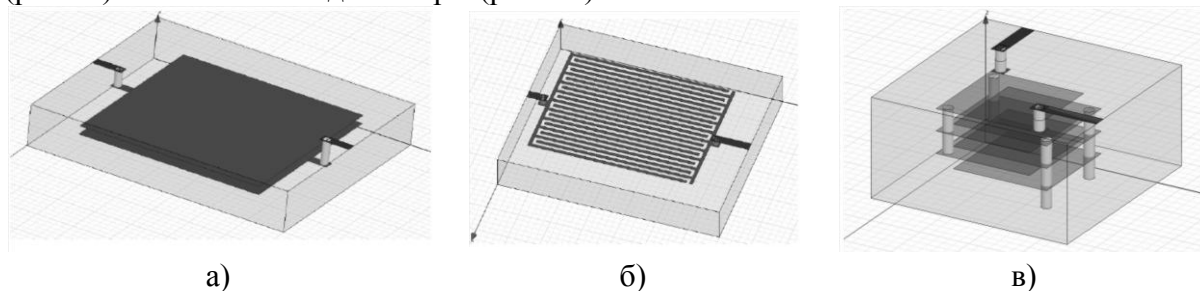


Рис. 4 Варианты реализации конденсаторов:

а – плоскопараллельный конденсатор; б – встречно-штырьевой конденсатор; в – стековый конденсатор

Главным критерием в выборе конструкции конденсатора было достижение его минимальных габаритов. В этой связи мы остановились на стековом конденсаторе (рис. 3в), габариты которого минимальны за счет расположения обкладок в нескольких слоях. Способы уменьшения габаритов емкостей описаны в [5] и включают следующие:

- введение дополнительного слоя керамики и увеличение, таким образом, расстояния между электродами;
- введение слоя из материала с высокой диэлектрической проницаемостью;
- заполнение отверстий материалом с высокой диэлектрической проницаемостью;
- использование паст с высокой диэлектрической проницаемостью.

После того как были выбраны конструкции для реализаций отдельных пассивных элементов, был спроектирован диплексер (рис.5).

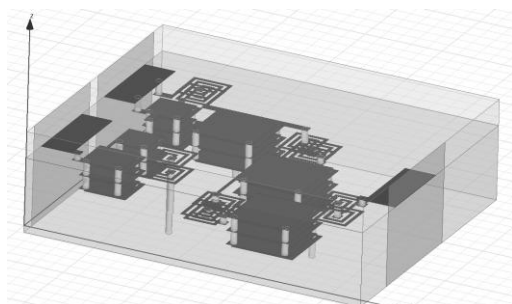


Рис. 5 Конструкция диплексера, реализованного по технологии LTCC на стековых элементах

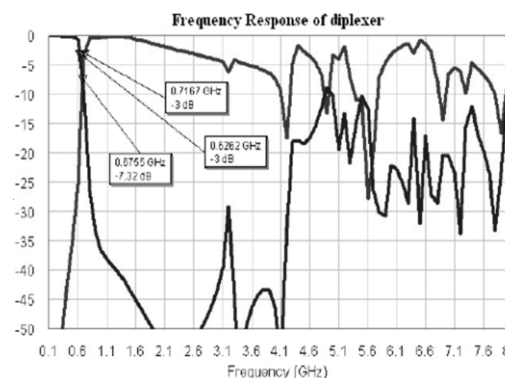


Рис. 6 АЧХ диплексера, реализованного по технологии LTCC на стековых элементах

На АЧХ диплексера (рис. 6) можно видеть искажение характеристики на высоких частотах. Это объясняется размерами элементов, составляющих диплексер. На высоких частотах они представляют собой длинные линии. Решить эту проблему можно уменьшением габаритов элементов составляющих устройство.

На первом этапе были заменены стекковые конденсаторы в фильтре верхних частот на тонкопленочные конденсаторы (рис. 7). Пленка диэлектрика толщиной меньше 1 мкм позволяет формировать конденсаторы с большим номиналом и маленькими габаритами[6].

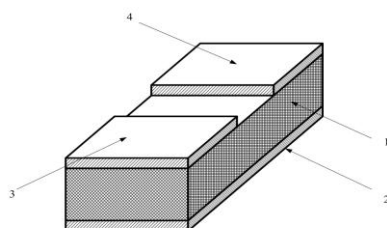


Рис. 7 Конструкция тонкопленочного конденсатора:

1 – слой диэлектрика; 2 – нижняя обкладка конденсатора; 3, 4 – верхние обкладки конденсатора

Модель диплексера с использованием тонкопленочных конденсаторов (рис. 8) имеет габариты $4,5 \times 7,7 \times 2,1$ мм, которая состоит из 15 слоев керамики 951PX производства DuPont толщиной 0,140 мм. Контактные площадки межслойных переходов имели размеры $0,254 \times 0,254$ мм, диаметр штырей, которые являются межслойными переходами, составил 200 мкм, минимальная ширина внутренних проводников и зазоров принималась равной 100 мкм. В тонкопленочных конденсаторах для расчета использовался диэлектрик SiO₂ с диэлектрической проницаемостью 3,6 и толщиной 50 мкм. Применение тонкопленочных конденсаторов увеличило диапазон рабочих частот до 4,9 ГГц (рис.9).

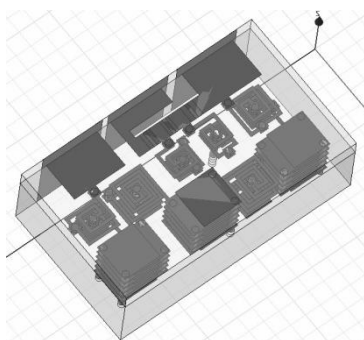


Рис. 8 Конструкция диплексера, реализованная по технологии LTCC с использованием тонкопленочных конденсаторов

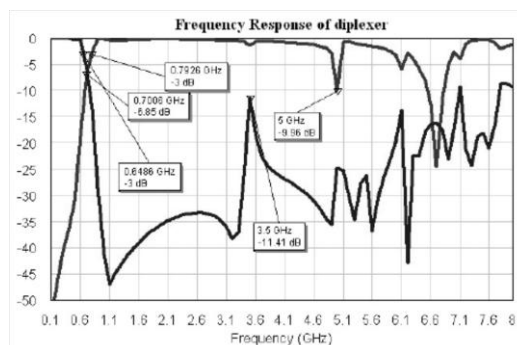


Рис. 9 АЧХ диплексера, реализованная по технологии LTCC с использованием тонкопленочных конденсаторов

Следующим этапом оптимизации конструкции диплексера является переход к конденсаторам, сформированным в объеме [4] (рис.10).

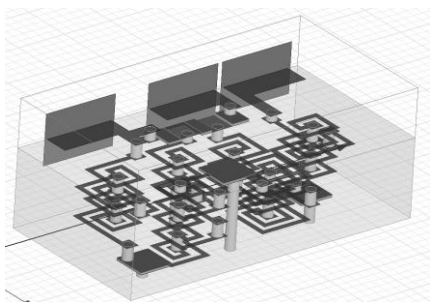


Рис. 10 Конструкция диплексера, реализованная по технологии LTCC с использованием конденсаторов, сформированных в объеме

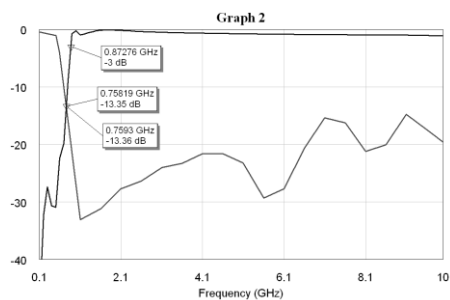


Рис. 11 АЧХ диплексера, реализованная по технологии LTCC с использованием конденсаторов, сформированных в объеме

Габариты модели диплексера, которая состоит из 11 слоев керамики 951PX производства DuPont толщиной 0,140 мм, составляют 3,3×6,1×1,54 мм. Контактные площадки межслойных переходов имели размеры 0,254×0,254 мм, диаметр штырей, которые являются межслойными переходами, составил 200 мкм, минимальная ширина внутренних проводников и зазоров принималась равной 100 мкм. Для формирования конденсаторов в объеме использовался материал 5674, предусмотренный в системе Green tape 951 с диэлектрической проницаемостью 80 и толщиной диэлектрика 45 мкм. Используя интегрируемые в объем конденсаторы, удалось расширить диапазон рабочих частот диплексера до 10 ГГц (рис. 11).

Библиографический список

1. Система в корпусе [<http://www.ostec-group.ru/education/tech/sip/>]
2. System-in-Package (SiP): A Guide for Electronics Design Engineers SiP Technology - Introduction, Categories and Benefits. Dr. David Pedder TWI Report, January 2008 14с.
3. System-in-Package (SiP): A Guide for Electronics Design Engineers Task 2: Reporting - Report No. 3 SiP Design Routes, Guidance, Future Trends. Dr. David Pedder, March 2009 18с.
4. Абрамова Е. Г., Гомзикова Т. А. Определение оптимальных конструкций катушек индуктивности диапазона СВЧ, реализованных с использованием технологии LTCC, Обмен опытом в области создания сверхширокополосных радиоэлектронных систем. - Омск 2010, с 5 – 9.
5. Integrated Capacitors using Jens Müller, Daniel Josip, MicroTech 2002,
6. Ю. Н. Вольхин, В.А. Глущенко, А.А. Дубровская и др. Опыт разработки и применения малогабаритных прецизионных термостабильных конденсаторов СВЧ с изолирующими слоями из SiO₂ и Ta₂O₅ для сверхширокополосных устройств. Омск-2008.- с. 37-45.
7. Jens Muller, Daniel Josip «Integrated Capacitors using LTCC». Microtech. –2002.