

## **Моделирование конструкций гибридных интегральных схем частотных фильтров на основе низкотемпературной керамики с применением тонкопленочной технологии**

*В работе рассмотрены варианты реализаций многослойных ГИС частотных фильтров, выполненных по технологии LTCC. В ходе работы рассмотрена возможность расширения диапазона рабочих частот устройств за счет использования технологии нанесения тонких диэлектрических пленок и фотолитографии на поверхности многослойной гибридной интегральной схемы. Проведено моделирование в среде Ansoft HFSS и получены амплитудно-частотные характеристики таких частотных фильтров.*

**Ключевые слова:** частотные фильтры, гибридные интегральные схемы, низкотемпературная керамика, технология LTCC

Устройства фильтрации являются одной из основных составляющих радиотехнических систем. Развитие этой области науки, как и любой другой, основано на стремлении снизить габариты устройства и улучшить его электрические характеристики. В связи с этим ведутся поиски новых топологических решений при проектировании фильтров, новых материалов и модернизация старых технологий.

В настоящий момент одним из перспективных путей проектирования устройств фильтрации является переход к новой гибридной многослойной технологии LTCC. Эта технология позволяет собрать в стек конструкции, которые раньше располагались в одной плоскости, что существенно уменьшает габариты проектируемых устройств, а также использовать совершенно новые топологии фильтров.

Также основной тенденцией последних лет является разработка и производство так называемых многокристальных модулей (МКМ), которые являются более совершенной версией гибридных интегральных схем (ГИС), т.к. имеют более высокую степень интеграции. МКМ классифицируют по типу применяемого основания [1]. Согласно такой классификации можно выделить:

- МКМ-L – микромодули, выполненные на основе печатной платы;
- МКМ-C – микромодули, выполненные на основе многослойной платы из низкотемпературной керамики;
- МКМ-D – микромодули, выполненные на основе кремниевой пластины с оксидом кремния в качестве изолятора между слоями проводников.

В данной работе предлагается совместное использование технологий производства МКМ-C и МКМ-D.

Проектирование частотных фильтров с достаточно широким диапазоном рабочих частот является задачей нетривиальной как при использовании традиционных подходов, так и при использовании новых технологий, потому что с ростом частоты сигнала линейные размеры элементов фильтров становятся соизмеримы с длиной волны, что в свою очередь ведет к возникновению паразитных полос пропускания или заграждения в диапазоне рабочих частот фильтра.

При проектировании многослойных ГИС частотных фильтров используются так называемые «квасисосредоточенные» элементы, которые реализуются в объеме подложки. Емкостные элементы обычно выполняются в виде стековых конденсаторов, обкладки такого конденсатора располагаются в нескольких слоях (рис. 1), индуктивные элементы выполняются в виде стековых катушек индуктивности различной формы (рис. 2).

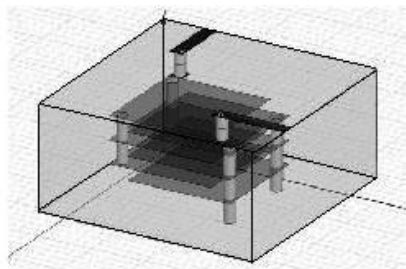


Рис. 1

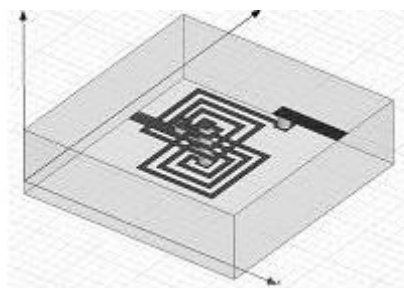


Рис. 2

Для емкостных элементов возникают определенные сложности при реализации конденсаторов большой емкости (более 10 пФ для диапазона рабочих частот 0,1 – 10 ГГц), так как геометрические размеры обкладок становятся соизмеримы с длиной волны сигнала. В [2] приведены следующие способы уменьшения габаритов емкостей:

- 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.

Другим возможным способом решения этой проблемы может быть размещение емкостных элементов в виде тонкопленочных конденсаторов на поверхности многослойной подложки. Методом фотолитографии на поверхности многослойной подложки формируются отрезки микрополосковой линии, являющиеся нижней обкладкой тонкопленочного конденсатора. Затем методом осаждения диэлектрика из газовой фазы формируется тонкая пленка диэлектрика, в качестве которого выступает диоксид кремния  $\text{SiO}_2$ . Толщина такой пленки составляет 0,5 мкм. На последнем этапе методом фотолитографии формируются отрезки микрополосковых линий, которые служат верхними обкладками конденсаторов. Пример разработки широкополосного частотного фильтра, реализованного на поликоровой подложке с использованием тонкопленочных технологий, представлен в [3].

Для иллюстрации данного технологического решения рассмотрим пример проектирования фильтра верхних частот (ФВЧ). Схема электрическая ФВЧ с частотой среза  $\omega_0 = 1$  ГГц приведена на рис. 3.

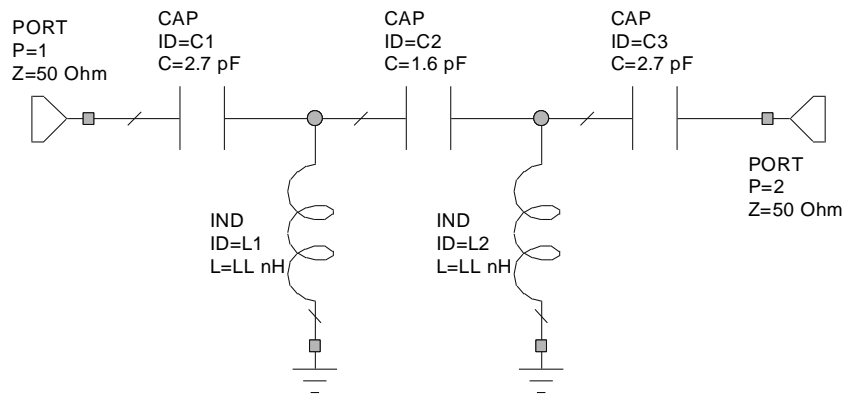


Рис. 3

Затем в среде Ansoft HFSS была построена трехмерная модель многослойной интегральной схемы ФВЧ, в которой были использованы только «квасисосредоточенные» элементы: стековые конденсаторы и катушки индуктивности (рис. 4). На рис. 5 представлена амплитудно-частотная характеристика такого ФВЧ.

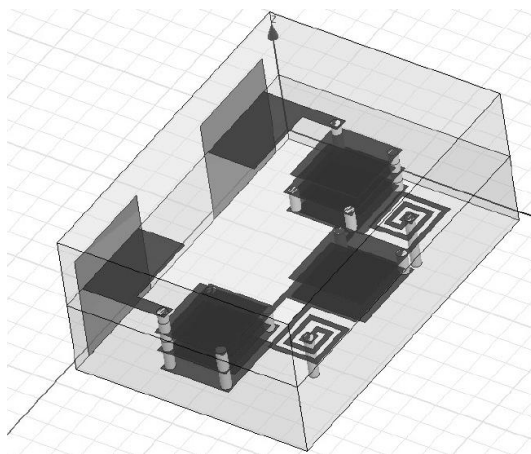


Рис. 4

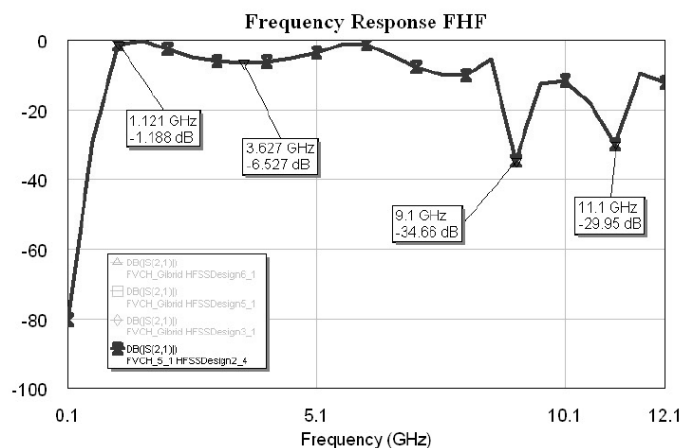


Рис. 5

Очевидно, что с ростом частоты сигнала геометрические размеры составляющих элементов фильтра становятся соизмеримы с длиной волны. Таким образом, сложно обеспечить минимальные потери в полосе пропускания в широком диапазоне частот. В полосе пропускания ФВЧ наблюдается резонанс, что недопустимо. Для решения данной проблемы заменим стековые конденсаторы тонкопленочными, вынесенными на поверхность многослойной интегральной схемы.

Модель конструкции ФВЧ, содержащего тонкопленочные элементы, и его амплитудно-частотная характеристика приведены на рис. 6 и рис. 7 соответственно.

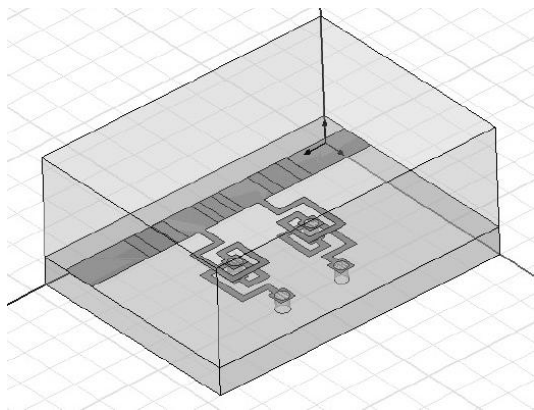


Рис. 6

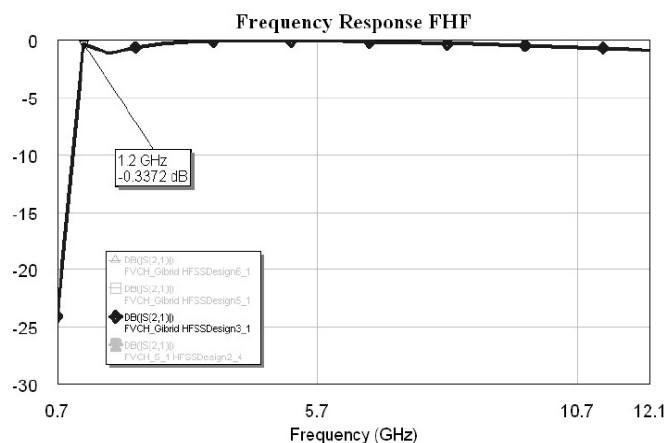


Рис. 7

Однако, как показывает практика, использование интегральных тонкопленочных конденсаторов сопряжено с некоторыми трудностями. В первую очередь, весьма затруднительно идентифицировать годные и негодные интегральные схемы, так как пленка диоксида кремния может иметь разрывы, что в свою очередь ведет к замыканию верхней и нижней обкладки конденсатора. Причиной этого нежелательного явления может быть неверно подобраный режим осаждения диэлектрика из газовой фазы.

#### Библиографический список

1. Семенин, С.Н. Перспективы развития монтажа некорпусированных кристаллов СВЧ и цифровых ИС в устройствах РЭА [Текст] / С.Н. Семенин, А.В. Волосов, Н.В. Голованов // Радиолокационные системы специального и гражданского назначения, под. ред. Ю.И. Белого. – М.: Радиотехника, 2011.
2. Jens Müller. Integrated Capacitors using LTCC [Текст] / Jens Müller, Daniel Josip // Microtech, 2002.
3. Вольхин, Ю.Н. Опыт разработки и изготовления сверхширокополосных многослойных тонкопленочных частотных фильтров [Текст] / Ю.Н. Вольхин, Д.Ф. Вячистый, В.А. Глущенко, Ю.А. Кардаков, Ю.В. Янковская // Сборник докл. научно-техн. конф. «Обмен опытом в области создания сверхширокополосных радиоэлектронных систем» / ОАО «Центральное конструкторское бюро автоматики». – Омск, 2006.