

Опыт применения технологии LTCC в реализации МШУ СВЧ диапазона в монолитном объёмном интегральном исполнении

Ворожцов А.Л., Петренко И.М., Юст П.А.

Центральное конструкторское бюро автоматики
г. Омск, 644027, Космический пр-т, 24а. Российская Федерация
alek.vorog@yandex.ru

Аннотация: Данная работа посвящена актуальной задаче реализации миниатюрных сверхширокополосных малошумящих усилителей СВЧ диапазона как систем в корпусе, с использованием кристаллов монолитных интегральных схем усилителей с распределенным усилением и монолитных объёмных интегральных схем (МОИС) в LTCC исполнении. Показан процесс разработки LTCC модуля МОИС МШУ и приведены экспериментальные данные измерений полученной LTCC МОИС МШУ.

1. Введение

Одной из тенденций в миниатюризации микроэлектронных устройств является разработка и производство многокристальных модулей в монолитном объёмном интегральном исполнении, так называемых «систем в корпусе». Как правило, система в корпусе (СвК, англ.: SiP «System in Package») – это комбинация нескольких электронных компонентов различной функциональности, собранная в единый модуль, которая обеспечивает реализацию разных функций, обычно выполняемых системой или подсистемой. СвК может иметь в своем составе пассивные компоненты, кристаллы монолитных интегральных схем (МИС) и другие устройства. Применение в качестве основы конструкций СвК многослойных керамических плат, изготовленных по технологии LTCC (Low Temperature Co-fired Ceramic – низко температурная совместно обжигаемая керамика), позволяет создавать миниатюрные высокочастотные радиоэлектронные устройства с уникальными характеристиками. Совместный обжиг всех слоев повышает надежность такой монолитной объёмной интегральной схемы (МОИС) как в процессе производства, так и при эксплуатации в жестких условиях [1].

2. Теория

В 2018 г. на конференции [2] прозвучало сообщение об успешной разработке монолитной интегральной схемы малошумящего усилителя с распределенным усилением (МИС МШУ УРУ) с полосою рабочих частот 2-18 ГГц, коэффициентом усиления (передачи) не менее 12 дБ и габаритами 1,8x2,1x0,1 мм, практически полностью удовлетворяющего нашим исходным данным для проектирования модуля МШУ. В основу миниатюризации конструкции МШУ легла идея создания МОИС в LTCC исполнении, а именно – размещение МИС МШУ УРУ в полости многослойного LTCC модуля, а пассивных элементов (для обвязки кристалла) – на его поверхности. Данное решение позволяет получить выигрыш по массогабаритным параметрам за счет отказа от герметизируемых металлических корпусов и установки модуля МШУ непосредственно на печатную плату (отсутствуют СВЧ разъемы, кабели).

Практически все этапы разработки МОИС МШУ были выполнены в САПР AWR Design Environment (AWRDE), кроме подготовки комплекта конструкторской документации (КД). САПР AWRDE позволяет создавать сложные схемы, состоящие из различных элементов и ЭМ структур, а затем синтезировать топологию на основе созданных схем. AWRDE также может выполнять моделирование, используя любой из набора симуляторов в своём составе [3]. Для ЭМ анализа конструкции LTCC модуля МОИС был выбран 3D ЭМ симулятор Analyst, основанный на методе конечных элементов. При проектировании LTCC модуля МОИС МШУ был подобран минимально возможный размер конструкции с учетом размещения элементов поверхностного монтажа и кристалла усилителя, а также исходя из требований «Руководящих указаний по проектированию изделий на основе низкотемпературной керамики (LTCC)».

Кристалл МИС МШУ УРУ размещался в полости LTCC модуля, дискретные элементы на его поверхности, а сигнальные цепи и цепи питания были расположены во внутренних слоях модуля. В AWRDE строилась ЭМ структура LTCC модуля, а затем в 3D ЭМ симуляторе Analyst производился её ЭМ анализ. Основными критериями при ЭМ моделировании LTCC модуля МОИС МШУ стали коэффициент передачи (S_{21}) и коэффициент стоячей волны по напряжению (КСВН) входа и выхода. Путем изменения геометрии проводников, полигонов земли, а также размещением оптимального количества заземляющих отверстий достигалось максимальное приближение к заданным параметрам.

В результате нескольких итераций был получен модуль МОИС МШУ, состоящий из 10 слоев LTCC керамики с габаритными размерами 6x7x1 мм, параметры которого удовлетворяли заданным требованиям. После достижения соответствия выбранных параметров и требований технического задания (ТЗ) из AWRDE была экспортирована послойная топология в файл в формате DXF. На его основе в САПР «Компас-3D» был создан комплект КД LTCC модуля и передан на предприятие АО «ОНИИП» для изготовления.

В полученный LTCC модуль были смонтированы кристалл усилителя и навесные элементы. Собранный МОИС МШУ была установлена в устройство подключения (рис. 1б.) для контроля параметров на векторном анализаторе цепей P4M-18/4. Результаты измерений в сравнении с данными ЭМ моделирования приведены на рис. 1а. Полученные характеристики в диапазоне частот до 18 ГГц полностью соответствуют ТЗ и подтверждают достоверность данных ЭМ расчета.

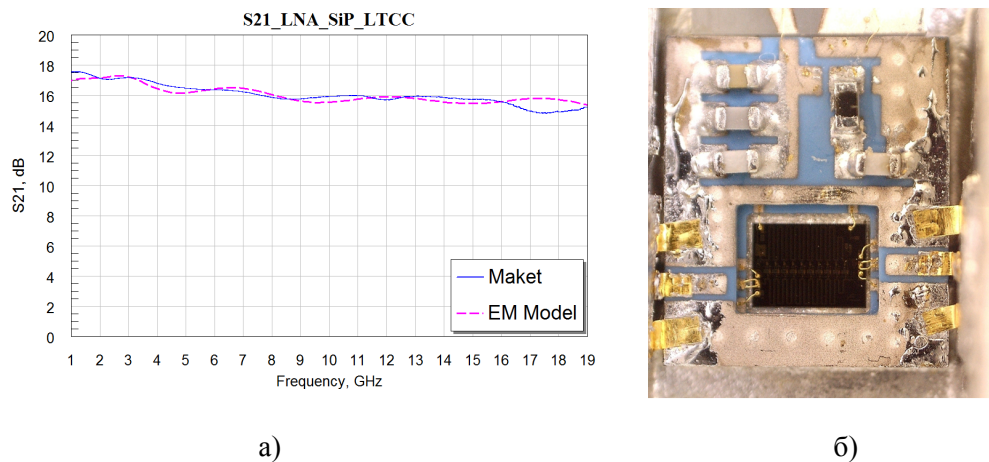


Рис 1. Полученные результаты: а) график АЧХ МОИС МШУ (штриховая – модель; сплошная – образец); б) внешний вид МОИС МШУ

Полученные отклонения коэффициента передачи до 1 дБ от расчетных значений являются вполне приемлемыми и могли быть вызваны потерями в коаксиально-микрополосковом переходе между устройством подключения и МОИС МШУ, неучтенными при калибровке прибора перед измерением. Данные измерений КСВН по входу и выходу не превышают значения 2, что говорит о хорошем согласовании полученной МОИС МШУ. Изменение разности фаз в опорной точке ($F=10$ ГГц при $P_{вх}=-20$ дБм) между любой парой МОИС МШУ в диапазоне рабочих температур ($-60...+100$ °C) составила не более 3 град. эл., что полностью удовлетворяет требованиям ТЗ.

3. Заключение

Применение таких решений как система в корпусе на базе многослойной керамики предоставляет новые возможности снижения массогабаритных характеристик современных радиотехнических средств и систем. Разработанная монолитная интегральная объёмная схема сверхширокополосного малошумящего усилителя СВЧ диапазона в LTCC исполнении показала очень хорошее совпадение результатов моделирования и измерений изготовленных образцов. Достигнутые габариты 6x7x1 мм, особенно достаточно низкий профиль в 1 мм, значительно повышают эффективность применения таких 3D решений для миниатюризации радиоэлектронных устройств.

Список литературы

1. Симин А., Холодняк Д., Вендик И.. Многослойные интегральные схемы сверхвысоких частот // Компоненты и технологии, 2005. №5. С.190-196.
2. Белова Е.В., Житомирский Л.Н., Калинин Б.В. Исследование и разработка малошумящего широкополосного СВЧ усилителя // Доклады 6-й Всерос. конф. «Обмен опытом в области создания сверхширокополосных радиоэлектронных систем» (Омск, 17-18 апреля 2018 г.). 2018. С. 19-24.
3. Среда проектирования AWR // <https://www.awr.com/serve/awr-design-environment-brochure> (дата обращения: 07.05.2020)