



УДК 621.382

DOI: 10.22184/NanoRus.2019.12.89.27.28

РАЗРАБОТКА НАВИГАЦИОННОГО МОДУЛЯ НА ОТЕЧЕСТВЕННОЙ РАДИАЦИОННО-СТОЙКОЙ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЕ

DEVELOPING NAVIGATION MODULE ON DOMESTIC RADIATION-RESISTANT ELEMENT BASE

АЛИМОВ АНТОН А.

Ведущий инженер

Филиал ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»

«НИИИС им. Ю. Е. Седякова»

anton.alimov@rambler.ru.

ALIMOV ANTON A.

Principal engineer

Branch of RFNC-VNIIEF “NIIS named after

Yu. Ye. Sedakov”

anton.alimov@rambler.ru.

Одним из наиболее эффективных способов создания отечественных радиационно-стойких навигационных модулей является применение СБИС, изготовленных из многослойных керамических плат (МКП), произведенных по технологии LTCC, обладающих малыми потерями, высокой прочностью, малой гигроскопичностью.

Основными материалами для производства многослойных печатных плат традиционно являлись органические материалы с низкими значениями диэлектрической проницаемости (FR-4, $\epsilon_r = 3,5 - 4,5$) и керамика с высокими значениями диэлектрической проницаемости ($\epsilon_r = 10 - 12$). Увеличение рабочих частот электронных приборов требовало создания нового материала, который бы, с одной стороны, позволял легко создавать многослойные печатные платы, а с другой стороны, на высоких частотах имел бы характеристики, схожие с керамикой. Новый материал получил название «низкотемпературная совместно обжигаемая керамика» (Low Temperature Cofired Ceramic (LTCC)).

Многослойные керамические платы первоначально изготавливались из оксида алюминия Al_2O_3 (High Temperature Cofired Ceramic — HTCC-технология). Данный материал обжигался при высоких температурах ($T \geq 1500^\circ C$), поэтому слои металлизации выполнялись только из тугоплавких металлов: вольфрама и молибдена. Это вносило ряд ограничений в функциональные возможности приборов, в усовершенствование технологии и снижение стоимости производства.

Свое дальнейшее развитие многослойная керамика получила с внедрением технологии LTCC, когда керамику начали смешивать со специальными стеклами. Температура обжига керамики снизилась до $850^\circ C$, что привело к существенному упрощению производственного процесса. В настоящее время к технологии LTCC относят керамику, обжигаемую при температурах ниже $1000^\circ C$.

Низкие потери СВЧ и относительно невысокая стоимость производства являются ключевыми преимуществами LTCC-технологии для ВЧ- и СВЧ-приборов. По стоимости LTCC-технология приближается к технологии изготовления печатных плат на основе FR-4, а по своим диэлектрическим характеристикам низкотемпературная керамика сопоставима с алюмооксидной керамикой.

Среди основных преимуществ и особенностей LTCC-технологии стоит отметить следующие:

- очень хорошие электрические характеристики и стабильность до миллиметровых длин волн. В зависимости от используемых материалов диэлектрическая проницаемость низкотемпературной керамики варьируется от 6 до 9, а тангенс угла диэлектрических потерь — от 0,001 до 0,006 в гигагерцовом диапазоне;

- превосходная механическая стабильность и сохранение линейных размеров. Это преимущество возникает не только из-за малого коэффициента теплового расширения ($5-7$ мкм/мС), но и из-за эластичных свойств в широком диапазоне температур;

- низкий коэффициент теплового расширения (КТР). КТР низкотемпературной керамики близок к КТР основных полупроводниковых материалов электроники (Si, GaAs, InP). Это позволяет монтировать полупроводниковые кристаллы непосредственно на основание платы;

- хорошая теплопроводность. Теплопроводность LTCC-керамики составляет $2-4$ Вт/мК, что гораздо выше, чем у печатных плат на основе органических материалов ($0,1-0,5$ Вт/мК);

- возможность 3D-интеграции. Технология LTCC-производства позволяет создавать гибридные микросхемы с внедренными в объем изделия пассивными элементами, что освобождает внешние слои для поверхностного монтажа чип-компонентов. При этом обеспечивается высокая точность межслойной коммутации, что позволяет формировать в объеме сложные каскады. Также технология позволяет создавать в заготовках ИС крупные полости и профили для многоуровневого монтажа и монтажа элементов в отверстия;

- герметичность и возможность высокотемпературной пайки. Плотная структура LTCC-керамики не пропускает влагу, поэтому корпуса из керамики могут быть использованы в атмосфере с высокой влажностью без дополнительной защиты. Также LTCC-материалы, в отличие от органических материалов, сохраняют свои свойства во влажной среде (большая часть органических материалов сильно подвержена влиянию влаги);

- возможность существенного увеличения степени интеграции изделий за счет бескорпусного монтажа кристаллов ИС на плату (в том числе за счет применения технологий 3D-монтажа — в колодцы с многоуровневыми наборами контактных площадок, изготавливаемыми прямо в LTCC-плате).

Мировой опыт использования технологии LTCC доказал свою надежность и экономическую эффективность в широком спектре задач электроники. Благодаря всем вышеперечисленным особенностям LTCC-технология нашла широкое



применение в создании многослойных плат для электронных приборов, корпусов микросхем и выступает в качестве альтернативы многослойным печатным платам из стеклотекстолита и высокотемпературной керамики.

Микросхемы с корпусами на основе низкотемпературной совместно обжигаемой керамики успешно применяются в автомобильной, потребительской электронике, телекоммуникациях, спутниковых системах и в военных изделиях. Миллионы устройств уже созданы на основе LTCC-технологии и функционируют в настоящее время.

Изначально LTCC-технология использовалась для крупносерийного производства СВЧ-устройств. Но благодаря своим диэлектрическим и механическим свойствам, а также надежности и стабильности низкотемпературная керамика начала активно применяться и для производства различных сенсоров, механических систем и трехмерных интегрированных структур.

Развиваемая в последние годы технология изготовления многослойных керамических плат с применением керамических материалов совместного низкотемпературного обжига — технология LTCC в филиале «РФЯЦ-ВНИИЭФ» «НИИИС им. Ю. Е. Седакова» позволяет создавать компактные высокоинтегрированные радиоэлектронные устройства. Широкий диапазон рабочих частот многослойных керамических плат позволяет размещать на одной плате планарную антенну, СВЧ-приемопередающий модуль и НЧ-схемы аналоговой и цифровой обработки сигнала.

Типичный модуль, выполненный по технологии LTCC, представляет собой стек из нескольких слоев сырого керамического материала со сформированными переходными отверстиями и проводниковым рисунком, обжигаемый в печи обжига для фиксации многослойной структуры.

Целью данной работы является разработка конструкции и технологии создания малогабаритного модуля спутниковой навигации СРНС (спутниковая радионавигационная система), ГЛОНАСС (глобальная навигационная спутниковая система) и GPS (global positioning system), состоящего из LTCC-плат радиоприемного устройства (РПУ) и модуля цифровой обработки (МЦО), изготовленных с применением бескорпусного монтажа кристаллов аналоговых и цифровых микросхем.

Актуальность данного доклада обусловлена постоянно ужесточающимися требованиями по снижению массогабаритных характеристик аппаратуры спутниковой навигации.

Новизна работы заключается в разработке и исследовании характеристик спецстойкого навигационного модуля специально под многослойные керамические платы (МКП), а также в выборе бескорпусной стойкой элементной базы. Применение LTCC-плат, по сравнению с классической (из стеклотекстолита) технологией, требует применения других подходов на всех

стадиях разработки и производства (в частности применения системы автоматизированного проектирования (САПР)).

Одним из наиболее эффективных способов создания малогабаритной аппаратуры спутниковой навигации на базе отечественной элементной базы является отказ от применения корпусированных микросхем и монтаж кристаллов интегральных схем (ИС) непосредственно на многослойные платы, которые содержат в себе контактные площадки для разварки кристаллов ИС и монтажа необходимых навесных элементов методом пайки. Такой подход позволяет создавать по сути плату-корпус, обеспечивая предельную минимизацию аппаратуры при полном выполнении ее функционала. Для создания подобных плат наиболее перспективным является применение многослойных керамических плат (МКП), изготавливаемых по технологии низкотемпературной совместно обжигаемой керамики (LTCC), обладающих малыми потерями, в том числе в СВЧ-диапазоне, высокой прочностью, малой гигроскопичностью, возможностью создания 3D-интеграции (например размещение бескорпусных ИС в полостях МКП), низким КТР (коэффициент теплового расширения), высокой теплопроводностью за счет свойств материала и создания дополнительных тепловых стоков.

Радиоприемное устройство предназначено для создания СВЧ-тракта L-диапазона, обеспечивающего прием, усиление, фильтрацию, преобразование по частоте и оцифровку сигналов СРНС ГЛОНАСС и GPS.

Модуль цифровой обработки предназначен для обеспечения выделения из сигналов космических аппаратов навигационной информации, измерения текущих навигационных параметров, решения навигационной задачи, обеспечения связи по внешним интерфейсам, а также управления работой модуля спутниковой навигации в целом.

В ходе выполнения работы были разработаны структурные схемы плат РПУ и МЦО, выбрана стойкая элементная база, созданы электрические схемы и КД на платы, проведено изготовление МКП-плат по технологии LTCC, монтаж кристаллов ИС и навесных элементов, выполнены исследования их характеристик (в том числе при воздействии внешних факторов).

Выполненные работы позволили разработать и протестировать на практике технологию создания малогабаритных вычислительных модулей на основе МКП, изготавливаемых по технологии LTCC. Кроме того, были созданы действующие макеты РПУ и МЦО, исследования которых продемонстрировали их работоспособность.

Полученные результаты позволяют обеспечить возможность выполнения опытно-конструкторских работ по созданию малогабаритной аппаратуры спутниковой навигации на основе МКП.



ТЕХНОСФЕРА
РЕКЛАМНО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР

www.technosphere.ru

ЭЛЕКТРОНИКА

НАНОИНДУСТРИЯ

ФОТОНИКА

ПЕРВАЯ МИЛЯ

Аналитика

СТАНКОИНСТРУМЕНТ

Цифровая экономика