

## Отечественные материалы для изготовления изделий по технологии LTCC

Д.Н. Полозов<sup>1</sup>, В.М. Коломин<sup>1,2</sup>, Д.А. Волкова<sup>1</sup>, А.В. Красавина<sup>1</sup>, Т.Н. Сметюхова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>АО «НПП «Исток» им. Шокина»

<sup>2</sup>РТУ МИРЭА

**Аннотация:** в работе приводится информация о технологических возможностях АО «НПП «Исток» им. Шокина» по созданию многослойных керамических изделий по технологии низкотемпературной совместно обжигаемой керамики-металлизационные пасты. В АО «НПП «Исток» им. А. И. Шокина» разработан отечественный стеклокерамический материал, на основании которого изготавливается пленка. Пленка из стеклокерамического материала совместима с проводниковыми металлизационными пастами. На основании разработанной системы керамики-металлизационные пасты возможно изготовление сложных многослойных керамических изделий.

**Ключевые слова:** изделия по технологии низкотемпературной совместно спекаемой керамики-металлизационные пасты, СВЧ фильтры, СВЧ термоаттенюаторы, СВЧ корпуса, отечественный стеклокерамический материал.

### 1. Введение

Технология низкотемпературной совместно обжигаемой системы керамика-металлизационные пасты – это технология производства многослойных керамических плат (МКП), трехмерных интегральных систем и изделий на их основе. Многослойные керамические платы и другие изделия изготавливаются в результате совместного обжига нескольких совмещенных между собой металлизированных диэлектрических стеклокерамических подложек при температурах от 800 °С – 900 °С. LTCC-технология (Low temperature co-fired ceramic) получила широкое развитие благодаря возможности создания объемных структур, позволяющих реализовать сложные схемы в компактном виде. Высокая механическая прочность и герметичность позволяют рассматривать ее как базовую при изготовлении сложных электронных систем, где требуется высокая производительность и надежность [1]. LTCC-технология используется в электронной промышленности для изготовления многослойных керамических плат, корпусирования полупроводниковых изделий и создания других пассивных компонентов [1-5]. Конструктивно-технологические достоинства LTCC наиболее полно проявляются при изготовлении на ее основе СВЧ-микросборок и модулей класса СВК [4]. Для заполнения переходных отверстий и формирования необходимой топологии интегральной схемы из токопроводящих дорожек, и контактных площадок на керамических подложках применяются специальные проводящие (металлизационные) пасты. Благодаря добавлению стекла в оксид алюминия температура обжига снижается от 800 °С – 900 °С, что позволяет использовать в проводниковых пастах металлы с низким удельным сопротивлением (золото, серебро). Использование серебра и золота снижает электрическое сопротивление проводящих слоев. Диэлектрическая проницаемость стеклокерамического материала составляет 7-7,4 на частоте 10 ГГц. В итоге получаются изделия, которые сохраняют свои основные свойства при воздействии высоких температур (до 200-250<sup>0</sup>С) [1, 6].

Основными материалами для производства LTCC-изделий являются керамические порошки, специальные добавки, готовые керамические листы (пленки),

а также пасты для создания проводников и встроенных пассивных компонентов. Все эти материалы образуют специальные LTCC-системы, где каждый компонент используется с учетом химической и физической совместимости с другими элементами. Разработкой LTCC-систем занимаются такие известные фирмы, как Asachi Glass, Kyocera, DuPont, NEC, Hitachi, Fujitsu, Matsushita, Murata, Ferro, Heraeus, KOA Group и другие. Как правило, каждая LTCC-система представляет собой уникальное решение для изготовления определенного типа изделия, и заменить один компонент материалом другого производителя часто не представляется возможным. Например, нельзя применять, проводниковые пасты системы «GT-951» фирмы Du Pont в системе А6-S фирмы Ferro, и наоборот. В связи с этим потребители при выборе материалов LTCC-систем должны учитывать специфику каждой из них и выполнять обязательные требования и рекомендации производителей материалов: не применять в конструкциях МКП материалы разных LTCC-систем, при разработке новых конструкций МКП и изделий руководствоваться рекомендациями или проводить дополнительные исследования режимов спекания МКП и совместимости материалов [1, 3, 5]. Несмотря на высокую трудоемкость и стоимость научных исследований в мире ведутся разработки взаимозаменяемых или альтернативных компонентов LTCC-систем. Например, керамический материал SK-47 фирмы KEKO Equipment Ltd. (ТУ 6365-001-05717914-2019) по своим характеристикам является аналогом керамического материала «GT-951» фирмы Du Pont, и совместим с резистивной пастой DuPont 951 (удельное сопротивление 104 Ом·м) [7, 8]. Кроме этого, фирма KEKO Equipment Ltd. разработала серию паст для материала SK-47: KEKO AgI-1 (серебро), KEKO AgPdS-1 (Ag80Pd20), KEKO AuB-1 (золото), KEKO AuPtS-1 (Au50Pd35Pt15) и др. [7, 9]. Отечественным предприятием АО «НПП «Исток» им. Шокина» совместно с предприятием ООО «НПП «Дельта-Пасты» была разработана LTCC-система на основе материала СКМ [10] и согласованных с ней проводниковых паст [3, 5, 11].

В отечественной LTCC-системе возможно применение нескольких десятков типов металлизационных паст для различных элементов топологии: переходных отверстий, проводников, топологии для последующей термозвуковой микросварки, для пайки или приклеивания. Например, в системе SK-47 применяется 7 паст, в системе СКМ – 12 паст, а в «GT-951» фирмы Du Pont – 28 паст [4]. Но в основном токопроводящие металлизационные пасты применяются для заполнения отверстий межслойных переходов в керамических листах, нанесения внутренних и внешних проводников на «сырые» керамические листы и нанесения внешних проводников на обожженную керамическую плату, используя технологию трафаретной печати [3].

В АО «НПП «Исток» им. Шокина» разработан отечественный стеклокерамический материал (СКМ) и пленка на его основе. Материал СКМ согласован с металлизационными пастами, разработанными в ООО «Дельта-Пасты», г. Зеленоград. Отечественная система керамика-пасты предназначена для изготовления многослойных керамических плат и других изделий по технологии LTCC. В дальнейшем многослойные керамические платы применяются в производстве сверхвысокочастотных, гибридных СВЧ-микросборок и модулей. По качеству и параметрам отечественная система керамика-пасты соответствует разработкам ведущих зарубежных производителей фирм «DuPont» (США), «Ferro» (США). В АО «НПП «Исток» им. А. И. Шокина» реализован замкнутый цикл производства изделий по технологии LTCC начиная от исходных компонентов до изготовления сложных многослойных керамических плат.

Освоено серийное производство малогабаритных многослойных керамических плат с высокоинтегрированной объемной компоновкой цепей питания, управления и СВЧ-трактов в объеме платы. Разработанная технология изготовления изделий LTCC позволят проектировать широкую номенклатуру для устройств СВЧ с рабочей

частотой до 40 ГГц.

В связи с развитием СВЧ электроники и повышением требований к изделиям LTCC, в АО «НПП «Исток» им. Шокина», совместно с соисполнителями, проводятся работы по разработке резистивных и терморезистивных паст, а также их интеграции в конечные изделия. Кроме этого, ведутся работы по созданию технологии формования ферритов методом литья тонкой пленки и последующему внедрению в систему LTCC.

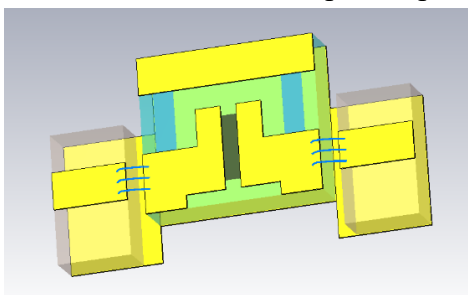
Активно ведутся работы по созданию СВЧ термоаттенюаторов, фильтров и СВЧ корпусов, состоящих из основания и крышки, для поверхностного монтажа, необходимых для создания корпусированной электронной компонентной базы в диапазоне частот до 40 ГГц для применения в СВЧ аппаратуре перспективных систем радиолокации, радиоэлектронного противодействия, идентификации, связи и управления.

## 2. Подготовка образцов и экспериментальные результаты

Благодаря технологии низкотемпературной совместно спекаемой керамики возможно реализовать сложные коммутационные платы, а также создавать металлокерамические корпуса, СВЧ фильтры и СВЧ термоаттенюаторы. Данный раздел посвящен освещению некоторых технологических достижений в области создания изделий по технологии низкотемпературной совместно спекаемой керамики.

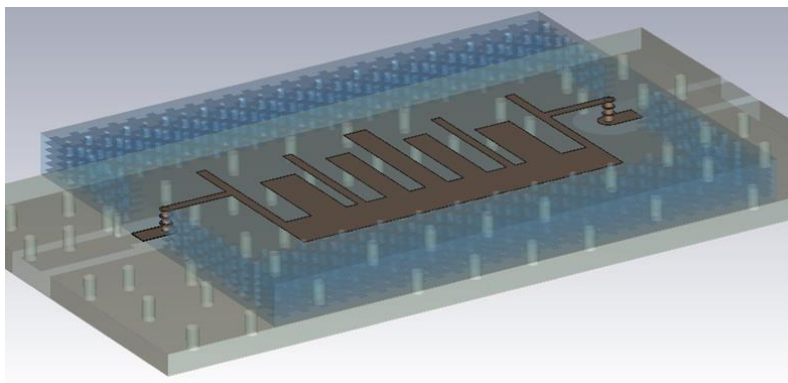
Прорабатывается вопрос о создании СВЧ термоаттенюатора с номинальным значением вносимого затухания 3 дБ при нормальных условиях, который изменяет коэффициент затухания при температурах от минус 60°C до +85°C в заданных пределах. Значение КСВН при нормальных условиях не более 1,4, КСВН в диапазоне температур от -60°C до +85°C не более 1,7.

Разработана топология СВЧ термоаттенюатора для изготовления из материала СКМ, которая позволяет достичь необходимые параметры. Проведено моделирование и оптимизация топологии СВЧ термоаттенюатора. На рисунке 1 представлена модель СВЧ термоаттенюатора с контактами к линии, спроектированная в программе CST.



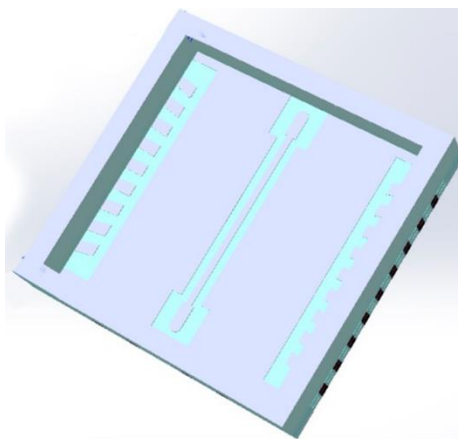
**Рисунок 1.** Модель СВЧ термоаттенюатора, изготовленного из материала СКМ, по технологии низкотемпературной совместно спекаемой керамики.

Кроме этого, спроектирован и изготовлен полосно-пропускающий фильтр от 8,8 ГГц, модель которого представлена на рисунке 2.



**Рисунок 2.** Модель полосно-пропускающего фильтра, изготовленного из материала СКМ, по технологии низкотемпературной совместно спекаемой керамики.

Для антенных микромодулей X-диапазона спроектирована и изготовлена широкая номенклатура металлокерамических корпусов. В качестве примера на рисунке 2 представлена модель SMD корпуса.



**Рисунок 3.** Модель SMD корпуса, изготовленного из материала СКМ, по технологии низкотемпературной совместно спекаемой керамики.

Существует возможность изготовления, по технологии низкотемпературной совместно спекаемой керамики, специальных корпусов для рабочих частот до 40 ГГц.

### 3. Заключение

АО «НПП «Исток» им. Шокина» производит керамические материалы для СВЧ-электроники: вакуумплотная керамика (марка ВК-94-1 и А-995), поглотительная керамика (ПКМ-35Ж, АН-МКХ-2, КТ-30), резонаторная керамика (ЦТО, БЦНТ, БМТ, БСТ), а также теплопроводная керамика (ВНА-99-2). Наиболее перспективной является низкотемпературная совместно спекаемая керамика (LTCC, система СКМ) благодаря которой возможно реализовать сложные многофункциональные изделия.

#### Список литературы

1. В. С. Горяйнов, М. К. Кутузов, В. М. Коломин, Д. А. Бурлакова, Д. Н. Полозов, В. И. Алексеенков, А. Л. Курапова, Исследование и разработка терморезистивных паст для создания свч-термоаттенюаторов // Электронная техника. Сер. 1, СВЧ-техника. – 2024. — №3.— С.22-36.
2. Кондратюк Р. LTCC – низкотемпературная совместно обжигаемая керамика // Наноиндустрия. – 2011. – № 2. – С. 26–30.

3. Вайман Д. А., Красный И. Б., Данилов В. С., Кумачева С. А. Исследование технологических аспектов формирования трехмерных структур с металлизационными слоями из LTCC-керамики // Доклады АН ВШ РФ. – 2017. – № 1(34). – С. 31–45.
4. Ляпин Л. В., Иовдальский В. А.; под ред. Борисова А. А. Многослойные керамические платы ГИС СВЧ-диапазона на основе LTCC: учеб. пособие. – Москва: КУРС, 2023. – 192 с.
5. Косевской В., Кваша М. Опыт разработки и производства СВЧ-микросборок и модулей на основе СКМ – отечественной системы низкотемпературной совместно спекаемой керамики // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2020. – № 10 (00201). – С. 64–69.
6. Ляпин Л. В., Осипов А. В., Далингер А. Г. Низкотемпературная керамика в технологии изготовления многослойных керамических плат LTCC // Электронная техника. Сер. 1, СВЧ-техника. – 2017. – № 4(535). – С. 28–43.
7. Кондратюк Р. Металлизация поверхности низкотемпературной керамики под микросварку // Наноиндустрия. – 2012. – № 2(32). – С. 34–39.
8. Макарович К., Мейлицев В., Чигиринский С. LTCC-система SK-47 от KEKO Equipment Ltd. // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2018. – № 5 (176). – С. 98–106.
9. Беляков А. Ю., Петров Е. В., Попов В. В., Рычко А. Р. Частотные керамические фильтры на основе отечественных LTCC-материалов // Вестник Новгородского государственного университета. – 2018. – № 1(107). – С. 54–57.
10. Seček A., Makarovič K. Metallization, Material Selection, and Bonding of Interconnections for Novel LTCC and HTCC Power Modules // Materials. – 2022. – Vol. 15(3). – P. 1036.
11. RU 2410358 C1. – Дата публикации: 06.07.2009.