

*Вайман Д.А., Данилов В.С.
Новосибирский государственный технический университет*

Разработка технологии изготовления LTCC керамики для создания приборов СВЧ диапазона

Представлены результаты теоретических исследований и экспериментальных работ по разработке технологии изготовления LTCC керамики для создания приборов СВЧ диапазона. Данная технология позволяет создавать трехмерные интегральные системы из диэлектрического материала и высокопроводящей металлизационной пасты, которые спекаются одновременно за один технологический цикл. Главной особенностью работы заключается в получении низкотемпературной совместно обжигаемой керамики по свойствам сопоставимой с материалом американской фирмы «Ferro» марки «АБМ».

Ключевые слова: LTCC, низкотемпературная керамика, керамическая пленка, обжиг, шликер, технологическая связка.

Если не так давно многие керамические материалы служили только основой (подложкой) для нанесения токопроводящих дорожек и установки навесных компонентов, то уже сегодня требуется не просто многослойные керамические СВЧ платы, но и целые трехмерные интегральные системы. Эту задачу эффективно решает технология низкотемпературной совместно обжигаемой керамики - Low temperature co-fired ceramic (LTCC). Эта система включает в себе две составляющих - это создания керамических «сырых листов» (в английском варианте «green tape») и вторая часть, это последующая обработка и формирование трехмерных интегральных систем. Многие предприятия по всему миру, в том числе и в России, очень эффективно реализуют у себя вторую часть данной технологии, покупая «сырые листы» керамики. Производителей листов LTCC керамики очень мало и основную часть рынка занимают американские компании «Ferro» и «DuPont». Учитывая тот факт, что подавляющее количество потребителей данного материала в России являются оборонные предприятия, то в настоящее время разработка отечественной технологии изготовления LTCC керамики является ключевой задачей для многих научно-исследовательских институтов России [1,2].

Принципиальной особенностью LTCC технологии заключается в возможности обработки и формирования интегральных структур на самых ранних стадиях формирования керамических изделий - перед обжигом. Так как, большинство применяемых для производства керамики исходных веществ являются непластичными, например оксиды, некоторые силикаты, шпинели, стеклокомпоненты и т.д., то для того, чтобы сформировать из порошков непластичных материалов изделие сложной структуры, необходимо придать им связанность, т.е. ввести технологическую связку. Такая связка должна быть в последствии удаляемой и выполнять свою функцию на стадии формирования изделия, выгорая полностью при обжиге и не оставляя вредных для свойств изделия остатков. Именно поэтому развитие керамических технологии в последнее время направленно не только на получение сырьевых материалов высокого качества, но и на разработку технологических связок, которые позволяют обеспечить максимально точную и эффективную обработку керамики на начальных стадиях

формирования изделий с использованием металлизации слоев и нанесения некоторых пассивных компонентов, тем самым существенно увеличивает интеграцию и миниатюризацию изделий в целом.

Данные технологии держатся в строжайшем секрете и какой-либо детальной информации, раскрывающей те или иные секреты найти крайне затруднительно. Поэтому, при формировании теоретической базы использовались различные методы анализа современных зарубежных источников литературы. Расстановка эмоциональных акцентов зарубежных авторов на определенные материалы, оборудование и процессы, частично позволило свести теоретическую базу и накопленный опыт работы с керамикой воедино и раскрыть некоторые секреты, которые представлены в данном исследовании и подкреплены реальными результатами.

Во многих литературных источниках [3-5] приводится следующая схема технологического процесса изготовления устройств на основе ЛТСС керамики (рис. 1).



Рис. 1 .Технология изготовления интегральных структур на основе ЛТСС керамики.

Процесс производства изделий из ЛТСС керамики начинается с создания керамической суспензии путём смешивания керамического порошка, специальных стекол, органических связующих, растворителей и модифицирующих добавок. Чтобы осуществить процесс литья керамической пленки, необходимо придать керамическому порошку свойства жидкости, для этого добавляют целый комплекс различных компонентов. В литературном источнике [3-5] приводят следующие основные компоненты связки, которые представлены на рисунке 2. Каждый компонент данной системы оказывает влияние на сырую керамическую ленту и обеспечивает такие характеристики как прочность, гибкость, пластичность, способность ламинироваться, жесткость, совместимость для трафаретной печати и многие другие характеристики.

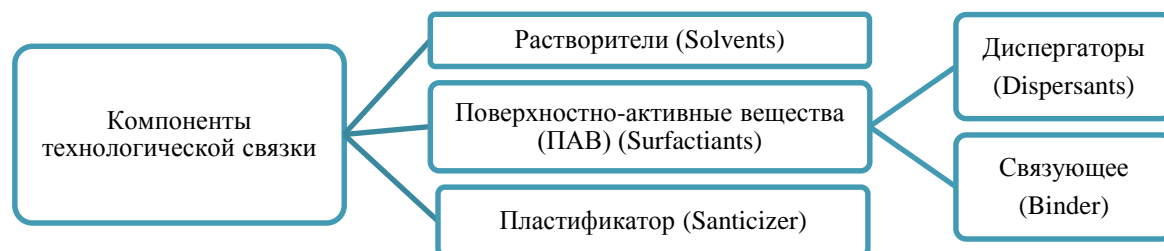


Рис. 2. Структурная схема состава технологической связки для приготовления шликера.

На основании теоретических данных литературных источников [3-5] произведен расчет состава керамического шликера ЛТСС керамики, который представлен в таблице 1.

Таблица 1. Основные компоненты для приготовления шликера.

№	Компоненты	Наименование	Масса, гр.
«Сухие компоненты»			
1	Мелющие тела	Al ₂ O ₃ 93% (цилиндрические, диаметр 8 мм.)	
2	Глинозем	Almatis CT 1200 SG	
3	Стекло	Специализированное электровакуумное стекло	
Компоненты технологической связки			
4	Система растворителей	Толуол 99,5%	
		Этанол 99,8%	
5	Связующее	Поливинилбутираль	
6	Пластификатор	Бутилбензилфталат	
7	Диспергатор	Рыбий жир Menhaden Fishoil Defloc Z3	

В связи с различными взаимодействиями компонентов между собой, приготовление шликера LTCC керамики произведено в три основных этапа:

1 этап - загрузка «сухих» компонентов, растворителей, диспергатора и мелющих тел. Общее правило производителей мельницы: должно быть заполнено не более 2/3 объема банки. Перемешивание произведено при 50ти оборотов в минуту. Время перемешивания «сухих» компонентов составляло 24 часа.

2 этап, добавление связующего и пластификатора. Если объём банки очень большой, то связующее и пластификаторы добавляют постепенно. Банку обратно ставят на валки и крутят с той же скоростью, что и на 1 этапе. Как правило, перемешивание составляет от 18 до 48 часов.

3 этап – дегазация. Целью данного этапа является удаление воздуха и пузырьков из шликера. Вакуумирование шликера LTCC керамики производилось при давлении вакуума 700-720 мм. рт. ст. в течении нескольких минут (например для вакуумирование 4х литров шликера нужно примерно 8-15 минут).

Литье керамической ленты произведено на установке «КЕКО САМ-М3520Н». Далее, пленка на установке была нарезана на листы и произведена перфорация отверстий и полостей (рис. 3).

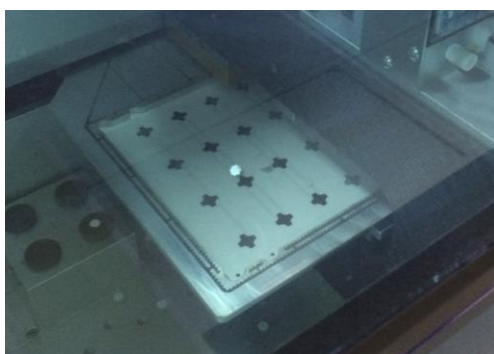


Рис. 3. Перфорация отверстий

Нанесение металлизации на «сырые листы» LTCC керамики произведено методом трафаретной печати. Так как в наличии отсутствовал необходимый трафарет, то для проверки качества совместного спекания разработанной LTCC керамики и металлизационной пасты, с помощью трафарета с другим рисунком на каждый слой была нанесена специальная серебросодержащая паста - CN33-498 фирмы «Ferrotec» (рис. 4).

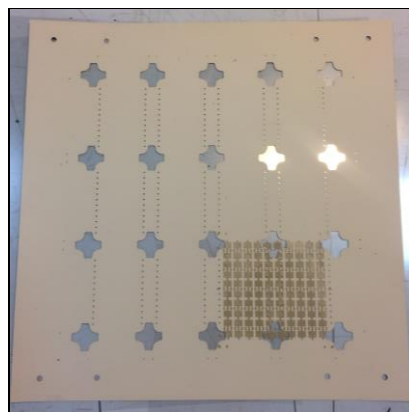


Рис. 4. Нанесение металлизации

После каждого этапа нанесения металлизации, листы керамики прошли воздушную сушку при температуре 90°C, после чего произведена операция формирования стеков, которая включает в себя процесс совмещения листов керамики между собой и сборку их в стопку. Для того, чтобы точно совместить все слои между собой, еще на этапе формирования отверстий, на каждом листе были сформированы специальные реперные метки. Далее, собранный стек «прессуется». В данном случае важно сохранить топологию стека неизменной, потому что велик риск искажения отверстий и полостей во время прессования [4]. Для этого на стек сверху положили специальную силиконовую прокладку. Прессование осуществлено в изостатическом прессе «КЕКО ILS-66»: температура жидкости: + 60°C; время нагрева стека: 5 минут; прессование осуществлялось в течении 15 минут при давлении в 20 МПа. После этого, стек был разрезан на заготовки, с помощью установки резки «сырой» керамики «КЕКО СМ-15». На рисунке ба представлен образец «сырой» заготовки до спекания.

Спекание LTCC керамики произведено в воздушной среде за один этап в две стадии по рекомендованному режиму фирмой «Ferro» для LTCC керамики марки «А6М» (см. Рис. 5).

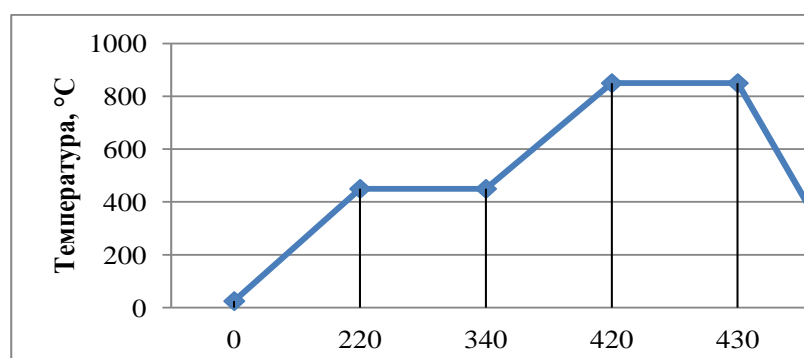


Рис. 5. График спекания

Первая стадия, это нагрев до 450°C и выдержкой в течении двух часов, это необходимо для эффективного процесса удаления всех органических связующих, которые придавали «сырым» листам керамики форму и эластичность. На второй стадии происходит спекание керамики: нагрев до 850°C с выдержкой 10 минут [1]. Образец спекенной детали представлен на рисунке бб.

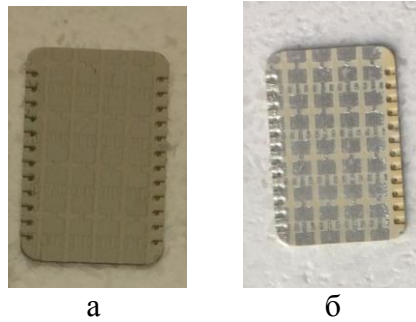


Рис. 6. Образцы деталей из разработанной LTCC керамики: а – до спекания; б – после спекания.

На полученных готовых образцах произведены испытания. Сравнительные результаты измерений различных характеристик представлены в таблице 2.

Таблица 2. Сравнительные результаты испытаний.

№	Характеристики	LTCC керамика Ferro А6М	LTCC керамика собственной разработки
1	Кажущаяся плотность, г/см ³	> 2.45	2,31
2	Предел прочности при статическом изгибе, МПа	170	150
3	Коэффициент термического линейного расширения, 10 ⁻⁶ /°С	7	8,1
4	Теплопроводность, Вт/м·К	2	1,79
5	Диэлектрическая проницаемость	5,9	5,7
6	Удельное электрическое сопротивление, Ом·см	> 10 ¹²	5,1·10 ¹²
7	Усадка ХУ, %	15,4	8,5

По всем параметрам, полученные экземпляры LTCC керамики показали неплохие результаты, в сравнении с популярной низкотемпературной совместно обжигаемой керамикой «А6М» фирмы «Ферго». К тому же визуальный анализ свидетельствует о неплохом совместном спекании, разработанной LTCC керамики с металлизационной пастой CN33-498 (отсутствуют вздутия, пузыри, расслоения и т.д.).

Библиографический список

1. Непочатов Ю. Разработка отечественного керамического материала для изготовления изделий по технологии LTCC / Ю. Непочатов, С Кумачева, Ю. Швецова, А. Дитц // Современная электроника. – 2014. – №4. – С. 12-14.
2. Черных В., Чигиринский С. Направления развития изделий из специальной керамики для производства электронной техники в России // Технологии. – 2012. – №4. – С. 176-182.
3. Mistler R.E., Twiname E.R. Tape casting theory and practice. American ceramic society, 2000, 298 p.
4. Imanaka Y. Multilayered low temperature cofired ceramics (LTCC) technology. Springer sci-ence, Fujitsu Laboratories, Japan, 2005, 229 p.
5. King A.G. Ceramic technology and processing. William Andrew Publishing, U.S.A., 2002, 512 p.