

УДК 621.396.6

С.В. Пономарев, С.Б. Сунцов

Анализ влияния технологического процесса изготовления многослойных интегральных схем на основе керамики с низкой температурой обжига на результаты моделирования напряженно-деформированного состояния модулей для бортовой радиоэлектронной аппаратуры. Обзор

Рассмотрены технологические процессы производства многослойных интегральных схем на основе керамики с низкой температурой обжига. Проведен анализ их влияния на результаты проведения вычислительного моделирования напряженно-деформированных состояний и, как следствие, долговечности бортовой радиоэлектронной аппаратуры.

Ключевые слова: многослойные интегральные схемы, керамика с низкой температурой обжига, технология изготовления, сверхвысокочастотная техника, напряженно-деформированные состояния, радиоэлектронная аппаратура.

Развитие интегральной технологии сделало возможным выполнение отдельных элементов и целых функционально законченных узлов как цифровой, так и высокочастотной частей устройства в виде малогабаритных интегральных схем (ИС).

Новейшие многослойные технологии позволяют объединять все пассивные компоненты сверхвысокочастотного (СВЧ) тракта, включая антенну, в единую ИС. Использование трехмерной конструкции позволяет создавать миниатюрные структуры с высокой степенью интеграции и открывает широкие возможности для улучшения электродинамических, массогабаритных, климатических, экономических и других параметров.

Первые объемные ИС СВЧ-диапазона, идея создания которых логично следовала из опыта разработки полупроводниковых ИС с высокой степенью интеграции, использовали монолитно-интегральную технологию. В последнее время широкое распространение получила гибридная технология многослойных ИС СВЧ-диапазона на основе керамики с низкой температурой обжига (КНТО), аспектам влияния производства которых на долговечность конструкций, а следовательно, и надежность модулей на основе КНТО для перспективной бортовой радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), и посвящена данная работа.

В технологии многослойных ИС на основе КНТО можно выделить два самостоятельных процесса [1]: *изготовление керамических листов и изготовление многослойных структур на их основе.*

Изготовление керамических листов представляет собой процесс, в котором композитный растр в виде суспензии, состоящей из частиц керамики, боросиликатного стекла и различных модификаторов, наносится на плоскую поверхность, называемую *основой*.

Технологический процесс изготовления многослойных структур на основе готовых листов КНТО состоит из нескольких этапов (рис. 1).

Вначале листы нарезаются в размер при помощи резака или лазерного луча умеренной мощности, чтобы предотвратить преждевременный обжиг КНТО. Материалы *DuPont Green Tape* перед проведением последующих технологических операций требуют предварительной просушки.

Затем механическим способом или лазером в листах пробивают отверстия для межслойных соединений.

На следующем этапе на керамические листы методом трафаретной печати наносится рисунок топологии проводящих слоев.

После заполнения отверстий для межслойных соединений и нанесения проводящих слоев производится сушка в течение 5–30 мин при температуре 80–120 °С в зависимости от типа материала.

Керамические листы с нанесенным топологическим рисунком собираются в «стек», и затем под давлением сводятся вместе – ламинируются. Существует два способа ламинирования. Первый способ – так называемое одноосное ламинирование – заключается в том, что стопка листов помещается на 10 мин под механический пресс с давлением в 200 бар, разогретый до 70 °С. Данный способ не подходит для многослойных структур, в которых предполагается наличие полостей, вскрытых окон и т.д. Основной проблемой

одноосного ламинирования является «растекание» керамики на краях. Это приводит к изменению толщины отдельных участков каждого листа, что в ряде случаев оказывается критичным, особенно для СВЧ-применений [2].

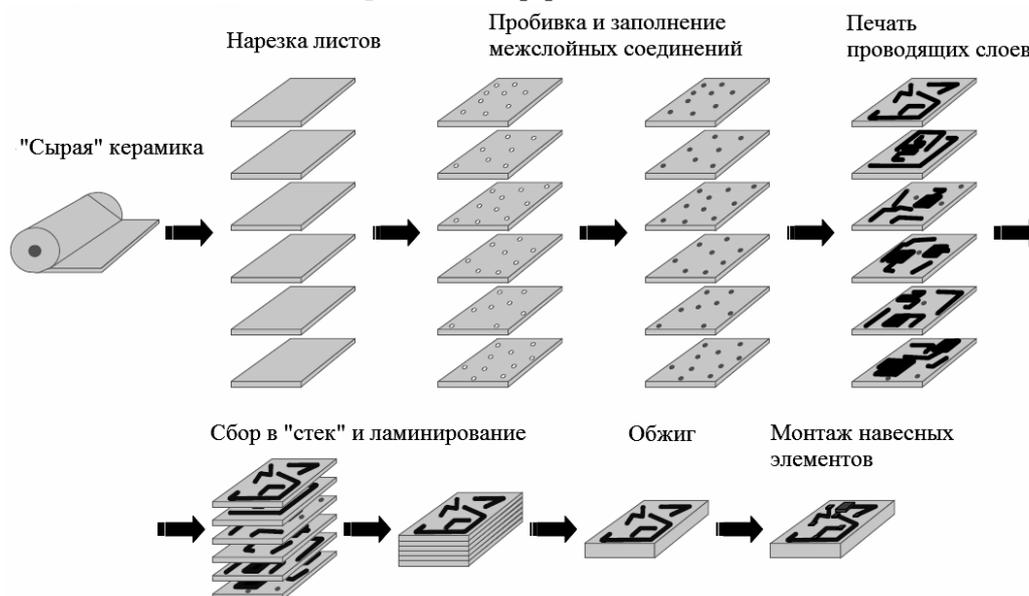
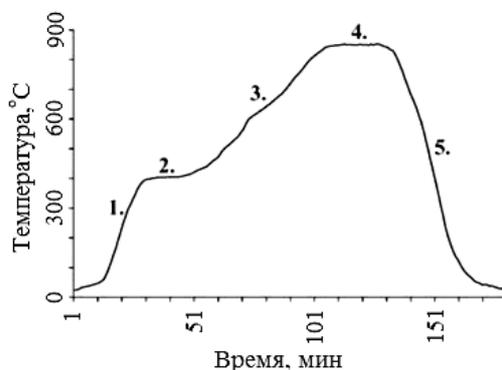


Рис. 1. Технологический процесс изготовления многослойных ИС на КНТО

Второй способ – изостатическое ламинирование. Стопка листов в вакууме упаковывается в фольгу и подвергается давлению в 350 бар в камере с горячей водой. Температура и время выдержки примерно такие же, как и в случае одноосного ламинирования. При этом способе удастся добиться меньших деформаций керамических листов по сравнению с одноосным ламинированием.



На заключительном этапе ламинированный стек из керамических листов помещается в печь, где листы спекаются между собой в процессе обжига. Характерный температурный профиль обжига КНТО структур представлен на рис. 2.

Рис. 2. Температурный профиль обжига керамики марки DuPont Green Tape 951

Этапы 1, 3 и 5 на графике температурного профиля (см. рис. 2) соответствуют периодам нагревания и охлаждения керамики, этап 2 (длительностью 20 мин) предназначен для выгорания органических составляющих, а этап 4 (длительностью 30 мин) – это непосредственно процесс спекания слоев керамики, когда происходит формирование единой структуры.

В процессе обжига в керамических листах выгорают связующие компоненты, вследствие чего многослойная структура дает усадку. Для керамики **DuPont Green Tape 951** усадка находится в пределах 12–16% ($\pm 0,2\%$) – в направлении координат x и y , и в пределах 15–25% ($\pm 0,5\%$) – в направлении z координаты (толщина).

В связи с процессом усадки керамики подлжит изменению ее удельная плотность, которая варьируется в пределах, согласно диаграмме на рис. 3.

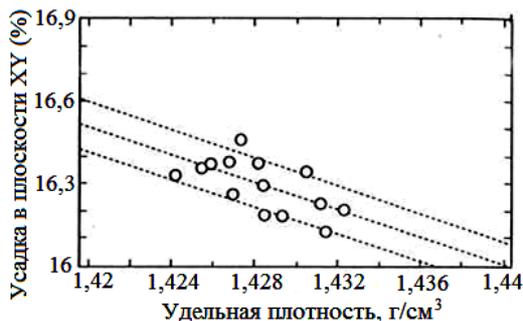
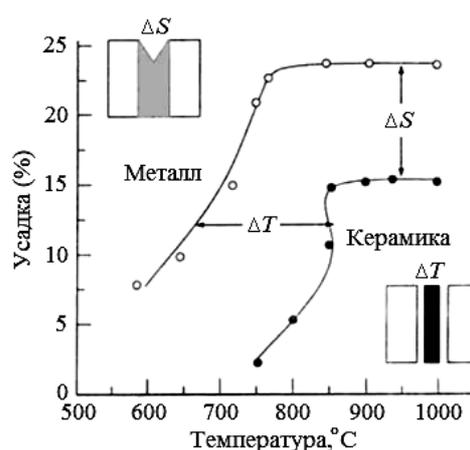


Рис. 3. Корреляция удельной плотности керамики в зависимости от усадки в плоскости XY

На рис. 4 показан процесс усадки керамического и металлического материалов в зависимости от температуры. Здесь ΔT – разность температур на начальном этапе усадки, и ΔS показывает разницу в конце спекания. Вследствие разности значений температурных коэффициентов линейного расширения материалов усадка металла на 15% наблюдается при температуре примерно в 700 °С, тогда как керамика достигает указанного значения усадки при температуре в 850 °С.

Рис. 4. График зависимости усадки керамики и металла от температуры



Заключение. Данные обстоятельства приводят к появлению в технологическом процессе обжига многослойных ИС, отличных от нуля напряжений и деформаций, различного рода расщеплений, расслоений, вздутий модуля, неучет которых, как предполагается, скажется на результатах проведения вычислительного моделирования напряженно-деформированных состояний и, как следствие, долговечности бортовой радиоэлектронной аппаратуры.

Работа выполнена в порядке реализации Постановления № 218 Правительства РФ и договора № 2148 от 05.07.2010 г. ТГУ с ОАО «ИСС» им. академика М.Ф. Решетнева.

Литература

1. Yoshihiko Imanaka. Multilayered Low Temperature Cofired Ceramics (LTCC) Technology. – Berlin: Springer, 2004. – 230 p.
2. Симин А. Многослойные интегральные схемы сверхвысоких частот на основе керамики с низкой температурой обжига / А. Симин, Д. Холодняк, И. Вендик // Компоненты и технологии. – 2005. – № 5. – С. 190–196.

Пономарев Сергей Васильевич

Канд. физ.-мат. наук, зав. лабораторией НИИ ПММ ТГУ
Тел.: 8-903-952-81-97
Эл. почта: psv@nii pmm.tsu.ru

Сунцов Сергей Борисович

Начальник отдела конструирования бортовой РЭА
ОАО «Информационные спутниковые системы» им. академика М.Ф. Решетнева (г. Железногорск)
Тел.: 8-908-020-38-25
Эл. почта: sbsun@iss-reshetnev.ru

Ponomarev S.V., Suncov S.B.

An influence analysis of technological process of the multilayered integrated circuits manufacturing with the use of low burning temperature ceramics on the stress-strain state simulation results of the onboard electronic equipment modules. Review

The technological processes for manufacturing the multilayered integrated circuits based on low temperature burning ceramics are considered. The analysis of their influence on the computer simulation results of the stress-strain state and, as a consequence, the durability of onboard electronic equipment, is carried out.

Keywords: multilayered integrated circuits, low burning temperature ceramics, production technology, microwave technology, stress-strain state, radioelectronic equipment.