

LFC-технология производства керамических подложек для автомобильной промышленности

Кацухико НАКА
(Katsuhiko NAKA)
Перевод:
Евгений КАРТАШЕВ

С помощью LFC-технологии компания Murata производит стеклокерамические подложки, предназначенные для создания электронных модулей, способных надежно работать в жестких условиях подкапотного пространства автомобиля.

В 1980-х годах проводились специальные исследования, целью которых был поиск способов снижения импеданса корпусов процессоров, что необходимо для повышения скорости работы компьютеров. Характерной особенностью перспективной многослойной LTCC-технологии (Low Temperature Co-fired Ceramics — низкотемпературная обожженная керамика, или стеклокерамика) является использование низкоимпедансных серебряных и медных проводников, а также изоляторов с низкой диэлектрической проницаемостью. Murata является пионером применения стеклокерамики, еще в 1986 году компания начала массовое производство LTCC-систем на основе так называемой LFC-технологии (Low-temperature Fireable Ceramics) с серебряными проводниками. Сначала LFC-материалы использовались для изготовления подложек и плат для производства высоконадежных промышленных многокристалльных модулей высокой степени интеграции. Вследствие широкого внедрения компьютерных технологий в автомобильной промышленности данная технология оказалась крайне востребованной для высоконадежных применений, работающих в режимах тяжелых внешних воздействий.

Широкое развитие глобальных сетей также вызвало повышение интереса к LTCC-технологии в части применения ее в радиочас-

товых модулях обмена данными, благодаря возможности повышения степени интеграции и снижения размеров компонентов. Вероятно, вскоре многослойные LTCC-модули будут использовать в автомобильных радарах и датчиках ближней локации. Их применение позволяет повысить безопасность транспортных средств и разрабатывать миниатюрные модули обмена данными для информационных и интеллектуальных систем управления транспортом (ITS — Intelligent Transportation System).

Общие сведения о LFC-технологии

LFC представляет собой многослойный материал на основе стеклокерамики, содержащий серебряные или медные проводящие слои, необходимые для внутрисхемных соединений, и сырые керамические пленки на основе стекло-алюминиевой смеси.

Структура подложки LTCC-модуля показана на рис. 1. При изготовлении LTCC-материала используется сравнительно низкая температура спекания (около 900 °С), что ниже точки плавления материалов проводни-

ков — Ag и Cu и существенно ниже температуры обжига корундовой керамики (около 1500 °С). Разработанный компанией Murata материал LFC на основе боросиликатного стекла отличается высокими экологическими показателями, при его производстве полностью исключено применение свинца и кадмия.

Сырые керамические пленки и связующие пасты, необходимые для производства структуры LFC, разработаны фирмой Murata Manufacturing Co., Ltd, весь цикл их производства осуществляется Murata. Многослойная подложка изготавливается с помощью технологии трафаретной печати: сначала делаются сквозные отверстия в сырой керамической пленке, они заполняются серебряной пастой. Эти отверстия предназначены для соединения верхней и нижней пленки. Затем на каждом слое печатается шаблон, содержащий топологию проводящих проводников, после чего все слои соединяются в процессе обжига. Используя собственный метод беззудачного спекания под высоким давлением, Murata производит беззудачные подложки, отличающиеся хорошей плоскостностью и сверхвысокой точностью соблюдения линейных размеров.

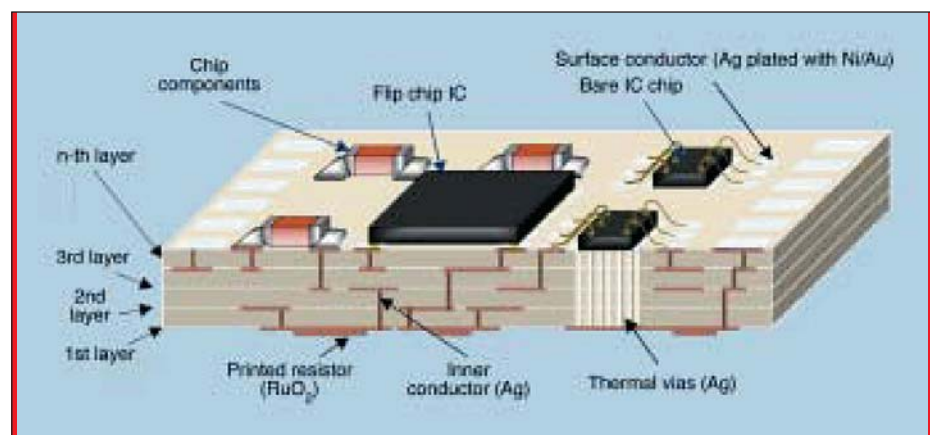


Рис. 1. Структура керамической подложки, изготовленной по методу низкотемпературного обжига

Особенности прессованных безусадочных подложек

При использовании стандартных методов обжига сырых керамических пленок размеры готового материала уменьшаются после обжига примерно на 20% по каждому направлению. Даже при очень строгом контроле соблюдения производственных процессов и условий обжига допуск на линейные размеры готовых форм составляет 0,5% и более. Еще более сложной проблемой является измерение равномерности усадки по всей поверхности сырой пленки. Более всего деформации подвержены углы и края структуры.

LFC-подложки, предлагаемые Murata, формируются с помощью разработанного компанией метода безусадочного обжига при высоком давлении. Эта технология позволяет исключить различные виды деформации благодаря постоянному контролю степени усадки керамических пленок и обеспечивает, таким образом, хорошую плоскостность и высокую точность соблюдения линейных размеров.

При использовании безусадочной технологии давление прикладывается сверху и снизу многослойной сырой керамической структуры (рис. 2) в течение всего времени обжига, при этом контроль усадки производится в направлении толщины структуры. Данный метод позволяет производить достаточно большие панели с очень высокой точностью, например, Murata использует LFC-технологию для изготовления структур размером 200×170 мм. При этом максимальный допуск на отклонение размера составляет всего ±0,05%, что на порядок ниже допуска, получаемого при использовании любой другой технологии.

Существует возможность дальнейшего увеличения размера производимых панелей при сохранении указанных выше допусков. Для производства сверхплоских подложек компания использует модифицированный метод обжига под давлением, при котором печатные проводники запрессовываются на сырую керамику с помощью так называемой технологии спекания (рис. 3). При использовании этого метода можно получить очень гладкую поверхность подложки, он используется для производства сверхплоских подложек с плоскостностью 5 мкм и менее на площади 4×4 мм. Применение технологии

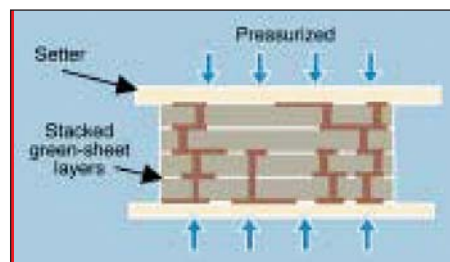


Рис. 2. Безусадочная технология обжига под высоким давлением

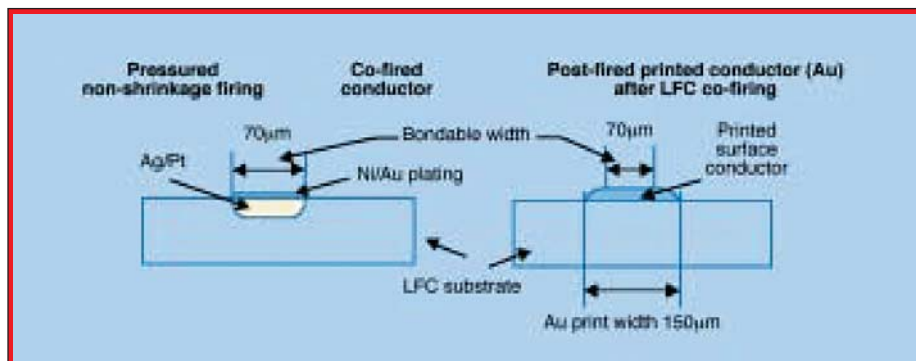


Рис. 3. Поперечное сечение LFC-подложки

спекания позволяет также полностью устранить деформацию углов пластины, что позволяет достичь плоскостности 100 мкм и менее на площади 100×100 мм.

Особенности LFC-материала

Использование LFC-подложек компании Murata, которые производятся в соответствии с новейшими экологическими директивами, позволяет создавать высоконадежные структуры, содержащие печатные резисторы и другие поверхностные элементы схемы (рис. 4). Как правило, при изготовлении материалов покрытия и паст для производства толстопленочных гибридных интегральных схем и LTCC-подложек используются стекла, содержащие свинец. Поскольку стекла данного типа легко растворяются в кислотах и щелочах, это делает невозможным применение для них стандартного процесса предварительной обработки поверхности с помощью щелочной очистки.

В отличие от данного материала в LFC-подложках Murata стекло, содержащее свинец,

не применяется. Для LFC-структур с успехом используется стандартный процесс нанесения никелево-золотого (Ni/Au) покрытия методом химического восстановления, методика использования этого процесса близка к технологии ультразвуковой сварки золотых и алюминиевых проводников. При нанесении Ni/Au покрытия на проводящие слои, спеченные с общей структурой подложки при безусадочном обжиге, соединение выводов элементов и любых токопроводящих трасс с помощью ультразвуковой сварки может осуществляться на всей поверхности подложки. Применение данной технологии позволяет монтировать на подложку так называемые перевернутые кристаллы, или флип-чипы.

Технология печатных резисторов, которые наносятся вместе с токонесущими дорожками, должна обеспечивать высокую плотность размещения многокристалльных модулей, что особенно важно для автомобильных и близких к ним применений. Возможность размещения печатных резисторов под установленными на плате элементами или на обратной поверхности подложки позволяет резко

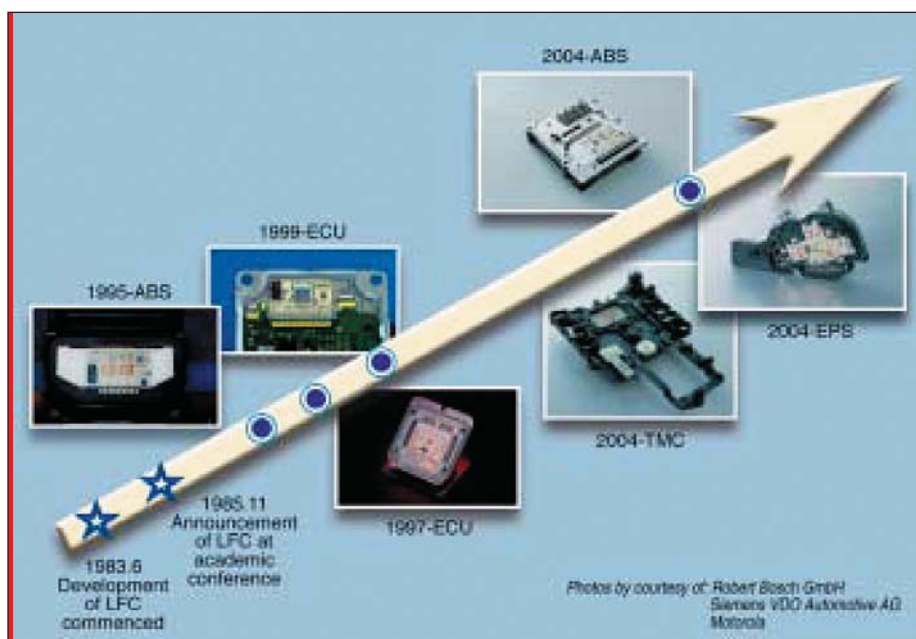


Рис. 4. Развитие и коммерциализация автомобильных модулей на основе LFC-подложек

уменьшить габариты конечной структуры и повысить плотность монтажа. Для производства печатных сопротивлений на LFC-подложках используется толсто пленочный материал RuO_2 , не уступающий по надежности толсто пленочным гибридным интегральным схемам. Номиналы печатных резисторов находятся в диапазоне от 10 Ом до 300 кОм, их ТКС (температурный коэффициент сопротивления) не превышает $100 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$. С помощью лазерной подгонки допуск на сопротивление может быть уменьшен до $\pm 1\%$ и менее.

Примеры применения

Основные требования, которые предъявляются к технологиям, используемым в автомобильной промышленности, — это надежность и безопасность. В первую очередь это относится к новейшей, получающей все большее распространение технологии «управления по проводам» (drive-by-wire), когда управление автомобилем производится с помощью воздействия на сенсоры, а сформированный ими электрический сигнал передается на соответствующие исполнительные устройства. Для подобных применений необходимы высоконадежные малогабаритные модули большой степени интеграции. Что еще более важно, для повышения безопасности и сохранности внутрисалонного оборудования подобные модули должны размещаться в подкапотном пространстве вблизи двигателя, соответственно, они должны быть рассчитаны на работу в крайне тяжелых температурных условиях.

В настоящее время в промышленности повсеместно отказываются от применения свинцово-содержащих припоев, что соответствует экологическим директивам. В автомобильных применениях эта проблема стоит наиболее остро, тем более что паяные соединения испытывают особо сильные нагрузки в условиях больших перепадов температур, характерных для подкапотного пространства. При использовании LFC-структур Murata в автомобильной технике для установки модулей могут применяться различные альтернативные методы, например, монтаж с помощью токо-

проводящего клея с серебряным наполнителем или ультразвуковая сварка, которые имеют гораздо более высокую стойкость к термостратификации, чем пайка. Материалы токопроводящих клеев быстро совершенствуются, что позволит в обозримом будущем широко применять их для монтажа чип-элементов различного типа.

LFC-подложки Murata впервые были использованы для коммерческого применения в 1994 году европейскими производителями электронных систем для изготовления высоконадежных интегральных модулей антиблокировочной тормозной системы (ABS). Автомобильные LFC-модули устанавливаются непосредственно на двигатель или трансмиссию, что позволяет создать новый класс электронных интегрированных модулей управления. Такие компоненты уже производятся рядом ведущих европейских производителей электронных систем. Начиная с этого года, североамериканские компании также начинают производство автомобильных электронных модулей на основе LTCC-структур. Серьезным изучением возможностей этой технологии занимаются и в Японии, где некоторые производители электронного оборудования для автотранспорта уже провели испытания первых опытных образцов и готовятся к их серийному производству.

Основные проблемы, которые необходимо решить для широкого внедрения малогабаритных высоконадежных компонентов на основе LFC-подложек, — это методы определения заведомо исправных кристаллов и разработка технологии их монтажа (в первую очередь — технологии ультразвуковой сварки).

Ожидается, что появление на рынке LFC-подложки, полученной методом низкотемпературного обжига Murata, должно дать толчок развитию миниатюрных надежных модулей с высокой степенью интеграции для широкого спектра применений в автомобильной промышленности и производстве аппаратуры для передачи данных. Прежде всего, их применение позволит создавать оборудование для интеллектуальных транспортных систем будущего. ■