

# МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИЕ ПЛАТЫ И КОРПУСА МИКРОСХЕМ ПОВЫШЕННОЙ СТЕПЕНИ ИНТЕГРАЦИИ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВАКУУМПЛОТНОСТИ

Е. Ермолаев, П. Козлов, В. Егошин, Д. Дмитриев info@zpp12.ru

Продукция ОАО "Завод полупроводниковых приборов" (ОАО "ЗПП", г. Йошкар-Ола) – лидера на российском рынке металлокерамических корпусов (МКК) – известна каждому производителю микросхем ответственного назначения в России. Основное направление деятельности ОАО "ЗПП" – разработка и производство металлокерамических корпусов повышенной сложности, высокой степени надежности, предназначенных для сборки, защиты и функционирования сложных интегральных микросхем и больших матричных кристаллов. Сегодня МКК специального назначения для интегральных микросхем и полупроводниковых приборов производства ОАО "ЗПП" занимают основную долю (около 60%) отечественного рынка керамических изделий. На предприятии, обладающем уникальной технологией, разработано и освоено серийное производство более 700 видов МКК для интегральных микросхем. Приборы, собранные в корпусах ОАО "ЗПП", можно применять в диапазоне температур от –60 до 150°C, при сильных перепадах давления, в самых разных условиях окружающей среды – на суше, море и в космосе. Помимо современного производства предприятие располагает научно-технической и испытательной базой для проведения исследований и разработки новых видов продукции.

Одна из особенностей ИС – высокая сложность выполняемых ими функций, поэтому количество компонентов в одной микросхеме может исчисляться сотнями тысяч и даже миллионами [1]. Функциональная сложность ИС обычно характеризуется степенью компонентной интеграции, то есть количеством транзисторов, размещенных на кристалле [2]. Иногда о сложности ИС судят по плотности упаковки – количеству

компонентов, приходящихся на единицу площади кристалла. Возможность задействовать все ресурсы кристалла определяется корпусом микросхемы, степень интеграции которой зависит от числа и шага выводов корпуса [3]. В результате увеличения числа выводов, в свою очередь, повышается плотность размещения проводящих элементов платы. К тому же тенденция развития микроэлектронной компонентной базы по мере снижения (или сохранения) массогабаритных



Рис.1. Комплекс оборудования для обработки тонких слоев коммутационной платы

характеристик способствует уменьшению толщины слоев многоуровневых плат и корпусов микросхем.

При изготовлении многоуровневых металлокерамических плат и корпусов микросхем с высоким разрешением элементов возникает ряд технологических трудностей. К их числу относится создание вакуумплотной монолитной конструкции плат и корпусов микросхем. При уменьшении толщины керамических слоев выше вероятность появления воздушных полостей в монолитной структуре платы.

Суть проблемы заключается в следующем. После литья и подсушки керамическая пленка состоит из частиц окислов ( $Al_2O_3$ ), промежутки между которыми заполнены органическим связующим, придающим заготовке пластичность, прочность, упругость, что позволяет проводить технологическую обработку заготовок (т.е. резку, нанесение металлизации, прессовку многослойных плат для формирования стека и т.п.). В то же время органическое связующее, заполняющее промежутки между частицами окислов в поверхностном слое, сглаживает поверхность неспеченной керамической заготовки, а после нанесения

металлизационной пасты препятствует проникновению частиц металла в толщу керамической подложки. В результате длина границы раздела металлизационной пленки и керамической подложки уменьшается. Ведущими специалистами предприятия ОАО "ЗПП" установлено, что по мере увеличения толщины керамической пленки уменьшается сопротивление проникновению частиц металлизации в керамическую подложку, а это, в свою очередь, уменьшает толщину металлизационного слоя (табл.1).

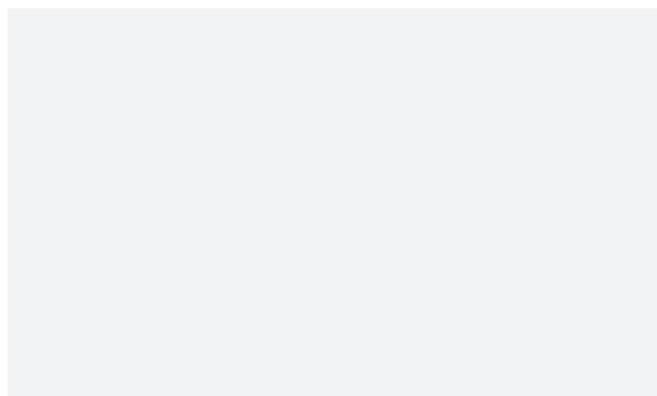
С целью создания металлокерамических структур с высоким разрешением элементов на заводе полупроводниковых приборов внедрили высокотехнологичный производственный комплекс для обработки тонких отдельных слоев коммутационной платы. Основное оборудование в составе данного комплекса показано на рис.1.

Как уже отмечалось, металлокерамическая плата и корпус микросхемы могут состоять из слоев разной толщины. Наши исследования показали, что такие слои отличаются толщиной проводящей коммутации, и это может привести к появлению пустот между слоями корпуса микросхемы.

Следовательно, для обеспечения вакуумплотной конструкции корпуса необходимо выполнять

Таблица 1. Толщина металлизации до и после подпрессовки на керамической подложке разной толщины

Толщина керамической пленки, мкм	Толщина металлизации, мкм	
	при нанесении	после подпрессовки
600	28,1	9,0
480	27,7	10,4
300	28,3	12,1
200	27,9	12,4



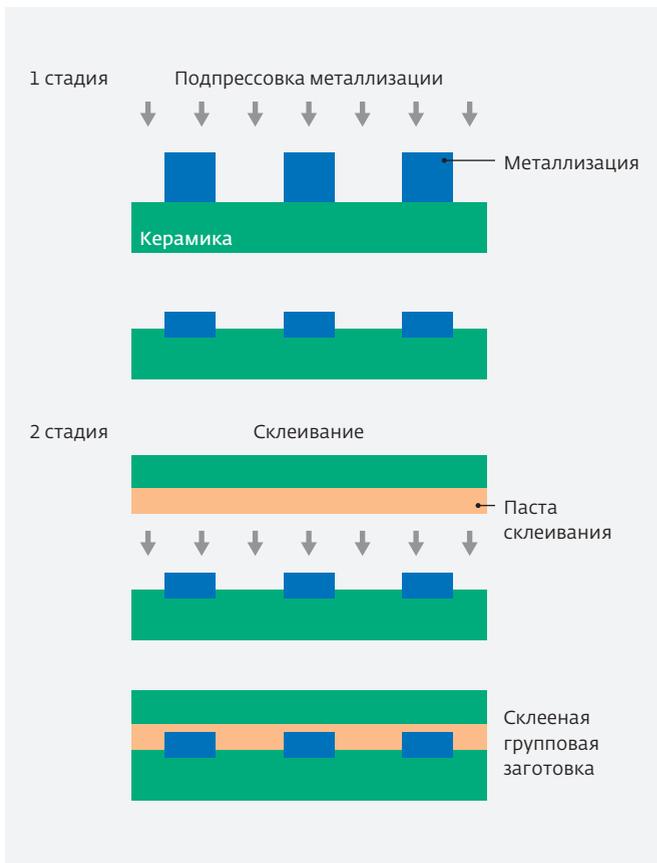


Рис.2. Процесс пакетирования (склеивания) слоев керамической платы

операцию пакетирования, то есть сборки необходимого количества слоев платы в пакет. Причем для каждой толщины керамического слоя установлен определенный режим. Операция пакетирования представляет собой процедуру склеивания в вакуумной камере под действием прессы отдельных слоев керамической платы (рис.2), на которые предварительно наносится паста методом трафаретной печати. Надо помнить о необходимости корректировки по толщине используемых трафаретных сеток в соответствии со значениями толщины металлизационного слоя после подпрессовки. (Вполне логично, поскольку высота межпроводниковых промежутков при уменьшении толщины керамической пленки становится больше).

Для расчета толщины склеивающей пасты, которая наносится на обратную сторону верхнего керамического слоя, предлагается использовать следующую формулу:

$$d_{п.с.} = \alpha \left( 1 - \frac{S_M}{S_{п.с.}} \right) \cdot h_M,$$

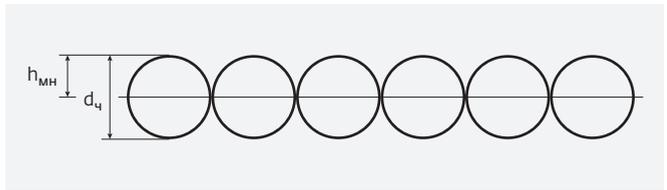


Рис.3. Поверхностный слой металлизации

где  $d_{п.с.}$  – толщина склеивающей пасты, наносимой на верхний керамический слой;  
 $S_M$  – площадь металлизации на поверхности керамического слоя;  
 $S_{п.с.}$  – оптимальная площадь склеивания, перекрывающая площадь металлизации и межпроводниковые промежутки;  
 $h_M$  – высота металлизации на керамическом слое;  
 $\alpha$  – безразмерный коэффициент, который определяет количество пасты над площадью металлизации и находится экспериментальным путем для каждого значения толщины керамической пленки.

Формула найдена из соображения, что объем пасты, нанесенной на обратную сторону верхнего керамического слоя, немного больше объема пасты, распределенной между проводниками нижнего слоя. В свою очередь, объем пасты  $V$ , нанесенной на обратную сторону верхнего слоя, определяется толщиной склеивающей пасты (диаметром трафаретной проволоки):  $V = S_{п.с.} \cdot d_{п.с.}$ . Объем пасты, распределенной между подпрессованными проводниками на нижнем слое, зависит от толщины металлизации –  $V_1 = S_1 \cdot h_M$ , где  $S_1$  – площадь склеивающей пасты, распределенной между проводниками. Она определяется по формуле:  $S_1 = S_{п.с.} - S_M$ .

Таким образом, можно записать:

$$\begin{aligned} V &= \alpha V_1, \\ S_{п.с.} \cdot d_{п.с.} &= \alpha (S_{п.с.} - S_M) \cdot h_M, \\ d_{п.с.} &= \alpha \left( 1 - \frac{S_M}{S_{п.с.}} \right) \cdot h_M. \end{aligned} \tag{1}$$

Поскольку в производстве металлокерамических корпусов для ИС используются пасты, средний размер частиц которых равен 2 мкм, то глубина микронеровностей  $h_{мн}$  в слое металлизации будет составлять 1/2 размера частиц пасты (рис.3). Следовательно, для заполнения микронеровностей необходимо использовать пасту объемом:

$$V_2 = \frac{1}{2} d_ч S_M = h_{мн} S_M. \tag{2}$$



**Таблица 2.** Величина микронеровностей относительно высоты металлизационного слоя для керамической пленки разной толщины

Толщина керамической пленки, мкм	Величина микронеровностей $h_{MN}$ , мкм
600	$0,1h_M$
480	$0,087h_M$
300	$0,076h_M$
200	$0,74h_M$

С учетом выражения (2) коэффициент  $\alpha$  определяется по формуле:

$$\alpha = \frac{V_1 + V_2}{V_1} = \frac{(S_{п.с.} - S_M) \cdot h_M + h_{MN} S_M}{(S_{п.с.} - S_M) \cdot h_M} \quad (3)$$

Исходя из данных в табл. 1 и зная, что  $h_{MN} = 1$  мкм, выразим величину  $h_{MN}$  через  $h_M$  для рассматриваемой толщины керамической пленки (табл.2).

Таким образом, с учетом формулы (3) коэффициент  $\alpha$ , например для керамической пленки толщиной 600 мкм и 200 мкм, определяется следующими выражениями:

Для 0,6 мм:

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{(S_{п.с.} - S_M) \cdot h_M + 0,1h_M S_M}{(S_{п.с.} - S_M) \cdot h_M} \\ &= 1 + \frac{0,1S_M}{(S_{п.с.} - S_M)} = 1 + \frac{0,1}{\left(\frac{S_{п.с.}}{S_M} - 1\right)} \end{aligned} \quad (4)$$

Для 0,2 мм:

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{(S_{п.с.} - S_M) \cdot h_M + 0,74h_M S_M}{(S_{п.с.} - S_M) \cdot h_M} \\ &= 1 + \frac{0,74S_M}{(S_{п.с.} - S_M)} = 1 + \frac{0,74}{\left(\frac{S_{п.с.}}{S_M} - 1\right)} \end{aligned} \quad (5)$$

Аналогично коэффициент  $\alpha$  можно получить для керамических пленок толщиной 480 и 300 мкм. Исходя из выражений (4-5) нетрудно увидеть, что по мере уменьшения толщины керамической пленки снижается и коэффициент  $\alpha$ , поскольку во втором слагаемом числитель уменьшается,

а величина  $\frac{S_{п.с.}}{S_M}$  всегда положительная ( $S_{п.с.} > S_M$ )

и постоянная для одной и той же топологии металлизации. Когда найдены коэффициенты для керамической пленки различной толщины, подставим формулы для  $\alpha$  в выражение (1) и найдем толщину склеивающей пасты для керамической пленки каждой толщины.

Итак, выражение (1) с учетом найденных коэффициентов  $\alpha$  для керамической пленки рассматриваемой толщины принимает следующий вид.

$$\text{Для толщины } 0,6 \text{ мм имеем } d_{п.с.} = h_M \left( 1 - 0,9 \frac{S_M}{S_{п.с.}} \right);$$

$$\text{для } 0,48 \text{ мм - } d_{п.с.} = h_M \left( 1 - 0,913 \frac{S_M}{S_{п.с.}} \right);$$

$$\text{для } 0,3 \text{ мм - } d_{п.с.} = h_M \left( 1 - 0,924 \frac{S_M}{S_{п.с.}} \right);$$

$$\text{для } 0,2 \text{ мм - } d_{п.с.} = h_M \left( 1 - 0,926 \frac{S_M}{S_{п.с.}} \right).$$

Толщина и площадь металлизации, а также оптимальная площадь склеивания поддаются прямому измерению.

Таким образом, определив оптимальное количество пасты, достаточное для заполнения пространства между проводниками, можно корректировать режимы трафаретной печати для керамической пленки каждой толщины, что, в свою очередь, обеспечит создание вакуумплотной конструкции (с учетом правильно подобранного режима температурной обработки) при изготовлении корпусов микросхем с высоким разрешением элементов.

В заключение необходимо отметить, что предложенная методика апробирована экспериментально только для пленок толщиной 0,2-0,6 мм. По мере дальнейшего уменьшения толщины керамических слоев плат и корпусов микросхем начинают действовать размерные эффекты, обусловленные особенностью протекания физико-химических процессов вследствие соизмеримости структурных элементов плат и размерных характеристик используемых материалов, что потребует корректировки предложенных формул.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Немцов М.В.** Электротехника и электроника // Учебник для вузов. - М.: Изд. МЭИ, 2004, 460 с.
2. **Новожилов О.П.** Основы цифровой электроники // Учебное пособие. - М.: ИП РадиоСофт, 2004, 528 с.
3. **Опадчий Ю.Ф., Глудкин О.П., Гуров А.И.** Аналоговая и цифровая электроника (Полный курс) // Учебник для вузов / Под ред. О.П.Глудкина. - М.: Горячая линия - Телеком, 2007, 768 с.