

К. т. н. В. Г. СПИРИН

Россия, г. Арзамас, НПП "Темп-Авиа"  
E-mail: temp@arzamas.nnov.ru

Дата поступления в редакцию  
17.09—02.12 2003 г.

Оппонент к. т. н. А. А. ЕФИМЕНКО  
(ОНПУ, г. Одесса)

## МЕТОД КОМПОНОВКИ ПЛАТ МИКРОСБОРКИ

*Метод характеризуется высокой плотностью упаковки и минимальной себестоимостью изготовления плат, а также учетом тепловых режимов компонентов микросборки.*

В настоящее время широкое распространение получило проектирование электронной аппаратуры на основе тонкопленочных плат и плат поверхностного монтажа [1].

Изготовление плат поверхностного монтажа характеризуется низкой себестоимостью, однако этому виду плат присущ и ряд недостатков:

- относительно низкая плотность межсоединений — 5 линий/мм (в тонкопленочных платах — до 50 линий/мм);
- при установке резисторов на платы возрастают ее размеры и себестоимость сборки;
- материал платы обладает низкой теплопроводностью.

По прогнозам [1], удельный вес тонкопленочных плат в электронной аппаратуре, в частности, в многокристалльных модулях, будет возрастать. И это несмотря на то, что изготовление тонкопленочных плат с многоуровневой коммутацией характеризуется высокой трудоемкостью и низким выходом годных, что приводит к значительному возрастанию себестоимости.

В теории и практике компоновки тонкопленочных микросборок (МСБ) доминирует функционально-узловой метод. Такой подход к проектированию МСБ характеризуется относительно высокой себестоимостью изготовления тонкопленочных плат. Если посмотреть на современную тонкопленочную плату с установленными компонентами, то видно, что компоненты покрывают площадь платы не более чем на 20—30%. А если посмотреть на ту же плату без компонентов, то можно выделить участки платы, насыщенные пленочными элементами, и довольно большие участки, свободные от пленочных элементов, на которых и устанавливаются большие по размеру компоненты с малым числом выводов. Это свидетельствует о нерациональной, с экономических позиций, компоновке МСБ.

Методы компоновки плат развиваются в направлениях получения максимальной плотности упаковки и минимальной себестоимости изготовления электронных устройств. Поэтому и в предлагаемом методе будем преследовать следующие цели:

- плотность упаковки каждой платы МСБ должна быть максимальной;
- МСБ должна содержать платы(у) с одним уровнем коммутации.

Компоненты устанавливаются на плату разными методами монтажа и характеризуются различной мощностью рассеяния. Наиболее распространенными способами крепления бескорпусных компонентов к плате являются пайка и приклеивание [2, с. 90]. Пайку обычно используют для обеспечения электрического соединения основания кристалла полупроводникового прибора с платой, а также для обеспечения эффективного теплоотвода. В других случаях применяется приклеивание, причем часто для создания более эффективного теплоотвода в состав клея вводят порошки с высокой теплопроводностью ( $Al_2O_3$ ,  $BeO$ ). Другие способы крепления компонентов к плате в данной статье не рассматриваются в силу их ограниченного применения при монтаже МСБ.

Все компоненты МСБ разделим по способу их монтажа на плату — с помощью клея или припоя.

Методом пайки на поликоровую плату обычно устанавливаются полупроводниковые приборы средней мощности.

В свою очередь, приклеиваемые компоненты разделим на две категории:

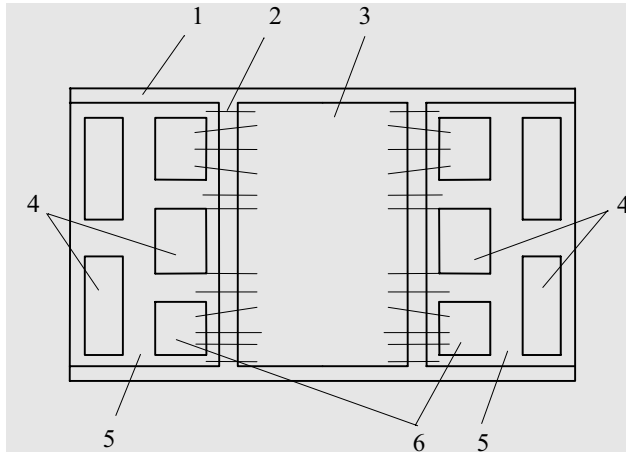
- 1) интегральные схемы (ИС), которые характеризуются большим количеством выводов;
- 2) компоненты с малым количеством выводов: полупроводниковые приборы (диоды, транзисторы и т. д.) и реактивные компоненты — конденсаторы, катушки индуктивности, трансформаторы.

Совершенно очевидно, что для компонентов первой категории требуются платы с высокой плотностью межсоединений, а для второй категории — с невысокой, поэтому компоновку МСБ выполняем на двух типах плат — тонкопленочных и печатных. Каждую категорию приклеиваемых компонентов komponuem на разных платах — бескорпусные ИС на тонкопленочных платах (материал платы: ситалл или поликор), а полупроводниковые и реактивные компоненты — на платах из тонкого стеклотекстолита, например СТПА-5 толщиной 0,1—0,2 мм.

На тонкопленочных платах формируют резисторы. Для тонкопленочных резисторов (ТПР) с мощностью рассеяния менее 90 мВт рекомендуется использовать ситалловые подложки, а при мощности рассеяния свыше 90 мВт — поликоровые [3]. Если в состав МСБ

входят ТПР с широким диапазоном рассеиваемой мощности, то критерием выбора материала подложки будет минимум суммарной площади всех ТПР. В этом случае минимизируется площадь платы.

Все платы соединяются между собой проволоочными перемычками. В простейшем случае на одной поверхности основания МСБ можно выполнить монтаж всех компонентов на одной тонкопленочной и одной печатной плате. В принципе возможны и такие сочетания: одна тонкопленочная и две печатные платы (рисунки) и наоборот, а также другие сочетания плат.



1 — основание; 2 — межплатные перемычки; 3 — тонкопленочная плата; 4 — реактивные компоненты; 5 — однослойная печатная плата; 6 — полупроводниковые приборы

Достоинствами этого метода компоновки МСБ является следующее.

— Возможность получения высокой плотности межсоединений на тонкопленочной плате, в результате чего может быть достигнуто покрытие площади платы знакоместами кристаллов до 60—80%, что позволит уменьшить массогабаритные характеристики МСБ.

— Снижение себестоимости изготовления МСБ за счет уменьшения площади платы, изготавливаемой по тонкопленочной технологии, и применения односторонней печатной платы для поверхностного монтажа, поверхность которой также можно покрыть на 60—80% компонентами.

— Возможность установки как бескорпусных компонентов, так и компонентов в мини-корпусах, на платах для поверхностного монтажа.

Недостатком данного метода компоновки является небольшое возрастание объема монтажа межплатных перемычек, а также возрастание площади, занимаемой межплатными коммутационными элементами. Этот недостаток в некоторых случаях можно преодолеть за счет разварки выводов смежных полупроводниковых и реактивных компонентов непосредственно на тонкопленочную плату (см. рис.). Компоновка реактивных и полупроводниковых компонентов на плате (платах) для поверхностного монтажа будет целесообразной в том случае, если при перемещении компонента от ИС не нарушается работоспособность МСБ.

Минимальную площадь  $S_{\text{п}}$  платы рассчитывают по формуле

$$S_{\text{п}} = K_{\text{д}} (\Sigma S_{\text{з}} + \Sigma S_{\text{р}} + \Sigma S_{\text{кп}}), \quad (1)$$

где  $K_{\text{д}}$  — коэффициент дезинтеграции площади;

$S_{\text{з}}$  — площадь посадочных мест (знакомест) компонентов;

$S_{\text{р}}$  — площадь ТПР;

$S_{\text{кп}}$  — площадь периферийных контактных площадок.

Коэффициент дезинтеграции площади равен 1,5...2,5 и учитывает площади, занимаемые проводниками и периферийными полями платы. Величина  $K_{\text{д}}$  определяется из практики проектирования плат.

На практике большие потери в плотности упаковки тонкопленочных плат происходят только из-за того, что выбирают размеры платы, кратные сторонам базовой подложки [4, с. 171]. В основном потери происходят по двум причинам. Во-первых, трудно выполнить электрические схемы, адекватные площадям стандартных плат. Во-вторых, по краям подложек предусматривают технологические поля, свободные от тонкопленочных элементов. Для прямоугольных подложек эти поля обычно составляют 1,5—2 мм от края. Если на подложке располагают несколько плат, то при мультипликации фотошаблона в состав изображения платы будут входить технологические поля.

Поэтому выбор размеров платы следует производить одновременно с разработкой схемы мультипликации фотошаблона. Размеры платы определяются расчетной площадью  $S_{\text{п}}$  и особенностью конструкции МСБ. Они должны быть выбраны таким образом, чтобы схема мультипликации фотошаблона занимала не менее 75—85% площади подложки и не выходила за пределы ее технологических полей.

Оценку тепловых режимов компонентов на этапе компоновки МСБ можно произвести по [5, с. 137—146]. Недостатком известной методики является высокая трудоемкость расчета, а также то, что она распространяется только на корпусные МСБ. Поэтому в практике конструирования МСБ она нашла весьма ограниченное применение. Учитывая важность обеспечения тепловых режимов компонентов, в том числе и в МСБ с нестандартными корпусами, возникает необходимость разработки алгоритма оценки тепловых режимов компонентов.

В дальнейшем будем полагать, что отвод тепла от каждого компонента или тонкопленочного резистора осуществляется только за счет теплопроводности (кондукции).

Следует отметить, что разнообразие методов монтажа компонентов и плат, а также большое количество материалов плат, делают затруднительным выбор монтажных структур для формирования кондуктивного тракта компонента без проведения предварительного расчета. Конструкция кондуктивного тракта компонента характеризуется толщиной и теплопроводностью каждого из слоев многослойной монтажной структуры: "соединительный слой 2 — плата — соединительный слой 1" (СС2—П—СС1). С помощью СС2 соединяют компонент с платой, а с помощью СС1 — плату с основанием МСБ.

Для упрощения описания алгоритма размещения компонентов на платах выберем материалы монтажной структуры, которые наиболее часто применяются при проектировании МСБ. (При необходимости этот список может быть расширен.) В качестве соединительных слоев выберем клей и припой, а в качестве материалов платы — стеклотекстолит, ситалл и поликор. Значения параметров этих материалов приведены в табл. 1.

Таблица 1

| Параметр                                                     | Соединительный слой |        | Материал платы   |        |         |
|--------------------------------------------------------------|---------------------|--------|------------------|--------|---------|
|                                                              | Клей                | Припой | Стекло-текстолит | Ситалл | Поликор |
| Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(мм·°C)          | 0,0015              | 0,039  | 0,001            | 0,0015 | 0,03    |
| Толщина $h$ , мм                                             | 0,1                 | 0,065  | 0,2              | 0,6    | 0,5     |
| Удельное тепловое сопротивление $r$ , мм <sup>2</sup> ·°C/Вт | 66,67               | 1,667  | 200              | 400    | 16,67   |

В качестве соединительных слоев СС1, СС2 для стеклотекстолитовых и ситалловых плат обычно используют клей, т. к. соединительный слой из припоя применять неэффективно — ввиду большого теплового сопротивления материалов плат. Способность структуры П—СС1 проводить тепло можно оценить по общему удельному тепловому сопротивлению  $r$  единицы поверхности структуры в соответствии с выражением

$$r = r_{\text{п}} + r_1 = h_{\text{п}} / \lambda_{\text{п}} + h_1 / \lambda_1, \quad (2)$$

где  $r_{\text{п}}$ ,  $r_1$  — удельное тепловое сопротивление соответственно платы и СС1;

$h_{\text{п}}$ ,  $h_1$  — толщина;

$\lambda_{\text{п}}$ ,  $\lambda_1$  — коэффициенты теплопроводности.

Рассчитанные по формуле (1) значения удельного теплового сопротивления монтажных структур для выбранных материалов приведены в табл. 2.

Таблица 2

| Структура П—СС1        | $r$ , мм <sup>2</sup> ·°C/Вт |
|------------------------|------------------------------|
| Ситалл — клей          | 467                          |
| Стеклотекстолит — клей | 267                          |
| Поликор — клей         | 83,3                         |
| Поликор — припой       | 18,3                         |

Выбор параметров конструкции кондуктивного тракта компонента производят в соответствии с перечнем материалов (табл. 1), рекомендованных к проектированию, по следующему алгоритму.

1. Производят выбор материала СС2 в соответствии с техническими условиями на компонент.

2. Компоненты заменяются плоскими источниками тепла (ИТ) с той же мощностью рассеяния и площадью, равной площади компонента. Находят максимальную допустимую температуру  $T_{\text{д}}$  участка платы, расположенного под компонентом, (т. е. температуру плоского ИТ) непосредственно из технических условий на компонент или путем расчета:

— Если в технических условиях приведены значения максимально допустимой температуры  $T_{\text{п}}$   $p$ — $n$ -перехода и теплового сопротивления  $R_{\text{пк}}$  переход-корпус, то температуру  $T_{\text{д}}$  находят по формуле

$$T_{\text{д}} = T_{\text{п}} - P(R_{\text{пк}} + R_2) = T_{\text{п}} - P[R_{\text{пк}} + h_2 / (\lambda_2 S)],$$

где  $P$ ,  $S$  — рассеиваемая мощность и площадь компонента, соответственно;

$R_2$  — тепловое сопротивление слоя СС2.

— Если в технических условиях приведены значения максимально допустимой температуры  $T_{\text{кд}}$  корпуса компонента, то температуру  $T_{\text{д}}$  находят по формуле

$$T_{\text{д}} = T_{\text{кд}} - PR_2 = T_{\text{кд}} - Ph_2 / (\lambda_2 S).$$

3. Для каждого компонента находят перегрев, введенный от других источников тепла, расположенных на плате:

$$\Delta T_{\text{н}} = r(P_{\text{п}} - P) / S_{\text{п}},$$

где  $r$  — минимальное удельное тепловое сопротивление согласно табл. 2;

$P_{\text{п}}$  — мощность, рассеиваемая всеми компонентами и ТПР платы;

$S_{\text{п}}$  — площадь платы, рассчитанная по формуле (1).

4. Для каждого плоского ИТ производят расчет требуемого теплового сопротивления кондуктивного тракта, необходимого для отвода тепла, которое образуется за счет собственного перегрева, по формуле

$$R_{\text{т}} = (T_{\text{д}} - \Delta T_{\text{н}} - T_0) / P,$$

где  $T_0$  — заданная температура основания корпуса МСБ;

$P$  — мощность, рассеиваемая компонентом, для которого рассчитывается перегрев.

5. Для каждого компонента проверяют соответствие:

$$R_{\text{т}} \geq r / S. \quad (3)$$

6. Если условие (3) выполняется, то расчет заканчивают и в качестве конструкции кондуктивного тракта компонента выбирают рассчитанную монтажную структуру П—СС1. Если условие (3) не выполняется, то выбирают более теплопроводящую структуру из табл. 2 и повторяют расчет по пп. 3—5 настоящего алгоритма — до тех пор, пока не выполнится условие (3).

\*\*\*

Данный метод компоновки был применен при изменении конструкции электронного преобразователя (ЭП) акселерометра. Первоначально ЭП содержал две тонкопленочные ситалловые платы размером 12×12 мм, расположенных на противоположных сторонах одного металлического основания. Платы между собой соединялись золотыми перемычками. В результате переконпоновки ЭП одну ситалловую плату заменили на одностороннюю печатную плату с теми же размерами, на которую установили почти все конденсаторы (за исключением малогабаритных корректирующих конденсаторов, которые установили на ситалловой плате, рядом с соответствующими операционными усилителями). Количество межплатных перемычек практически не увеличилось.

Таким образом, предлагаемый метод компоновки наиболее эффективен для МСБ, которые по тем или иным причинам могут содержать несколько плат.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Дорошевич К. К., Дорошевич В. К., Телец В. А. Многокристалльные модули — новое конструктивно-технологическое направление в развитии комплектующих изделий // Технологическое оборудование и материалы. — 1998. — № 4.
2. Гуськов Г. Я., Блинов Г. А., Газаров А. А. Монтаж микроэлектронной аппаратуры. — М.: Радио и связь, 1986.
3. Спирин В. Г. Особенности схемотехнического проектирования тонкопленочных микросборок / В кн.: Прогрессивные технологии в машино- и приборостроении. — Н.-Новгород—Арзамас: НГТУ—АФ НГТУ, 2003. — С. 370—372.
4. Ефимов И. Е., Козырь И. Я., Горбунов Ю. И. Микроэлектроника. — М.: Высшая школа, 1987.
5. Чернышев А. А., Иванов В. Н., Аксенов А. И., Глушенкова Д. И. Обеспечение тепловых режимов изделий электронной техники. — М.: Энергия, 1980.