

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ СТЕПЕНИ ИНТЕГРАЦИИ И СНИЖЕНИЯ МАССОГАБАРИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СПП ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОУРОВНЕВЫХ СБОРОК

Е. А. Козлов

ФГУП «ВНИИА им. Н. Л. Духова», Москва

Современный рынок интегральных микросхем предъявляет к конструкции интегральных схем (ИС) все более жесткие условия. Теперь ИС должны быть не только высокопроизводительными и иметь минимальные габаритные размеры, но и обеспечивать при этом максимально возможную функциональность. Повсеместная миниатюризация электронных приборов не оставляет выбора разработчикам современных технологий производства ИС. На сегодняшний день для обеспечения более высокого уровня функциональности при минимальных размерах и максимальном быстродействии остается единственный путь развития конструкции ИС – 3D-интеграция.

Широкий спектр современных изделий, использующих технологии 3D микрокорпусирования и микросборки, или, иными словами, «системы в корпусе» можно упрощенно классифицировать по трем основным группам (см. рис. 1):

1) многокристальные модули с кристаллами, расположенными один на другом («stacked dies») и организацией межсоединений проволочными выводами;

2) многоярусные корпуса (SoP – «system on package») с организацией межсоединений с помощью шариковых выводов или так называемых «бампов»;

3) многокристальные модули, использующие технологии создания для организации межсоединений переходных отверстий в материале самих полупроводниковых кристаллов (TSV – «through silicon vias»).

В работе были поставлены следующие задачи:

1) исследование способов формирования электрического соединения между уровнями микросхемы, созданными структурированными керамическими подложками для многоуровневого 3D-соединения;

2) создание многоуровневого аналога существующей микросхемы БМС1-1 (большая микросхема одноуровневая) – ММС3-1 (малая микросхема трехуровневая), удовлетворяющего всем рабочим характеристикам;

3) разработка многоуровневой микросхемы ММС2-1 (малая микросхема двухуровневая).

Для формирования электрического соединения между уровнями микросхемы исследованы два способа соединения в многоуровневой микросхеме, рис. 1.

Пунктиром указан инструмент ультразвуковой сварки, его размеры, и соответствующие размеры окон, рис. 1,а.

Также представлен предварительный размер металлизированного отверстия в керамике, осуществляющего соединение уровней, рис. 1,б.

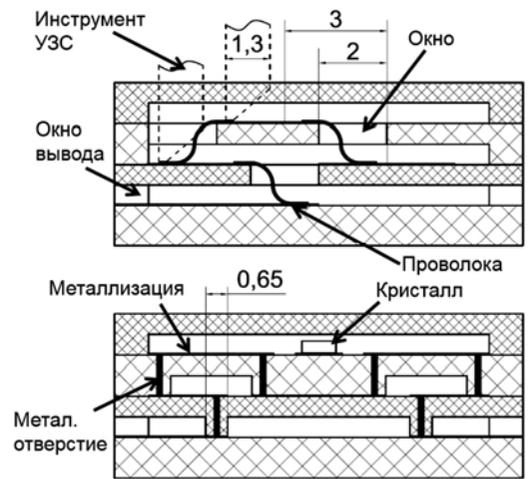


Рис. 1. Способы соединения в многоуровневой микросхеме: а – соединение проволокой, б – соединение металлизированными отверстиями

Проведен сравнительный анализ этих способов соединения:

- соединение проволокой (СП):
  - способ формирования содержит элементы отработанной технологии;
  - малое время создания соединения уровней разваркой проволокой;
  - большая занимаемая площадь подложки для формирования перехода;
  - проволочное соединение подвержено внешнему воздействию.
- соединение металлизированными отверстиями (СМО):
  - сложная технология формирования (в процессе металлизации);
  - одновременное создание электрического и физического контакта уровней;
  - малая занимаемая площадь для создания соединения на обоих уровнях;
  - соединение не подвержено внешнему воздействию.

На основании проведенного сравнительного анализа принято решение разработать многоуровневую микросхему, соединение в которой происходит

с помощью СП, так как данный способ является более доступным и выполнимым в настоящее время на базе института.

Для усовершенствования выбрана микросхема БМС1-1, обладающая следующими недостатками:

- большая площадь подложки микросхемы;
- проблема посадки разных кристаллов на одной подложке;
- проблема проверки отдельных узлов микросхемы на работоспособность до герметизации.

Микросхема была разбита на 3 части по функциональным характеристикам кристаллов (рис. 2), продуманы металлизация и переходные отверстия, все выводы были перенесены на один (нижний) уровень. Размер каждой подложки составил  $12 \times 14$  мм, который является «стандартным» размером серии М, но это не говорит о стремлении к унификации. Скорее наоборот: мы можем сделать размеры подложек иными, даже не одинаковыми между собой при необходимости. Аналогично можно поступить и с выводами – оставить их на одном уровне или вынести на несколько уровней.

Создание микросборки: керамическая пластина из нитрида алюминия предварительно проходит обработку на лазерной установке. В пластине толщиной с помощью лазерной обработки создаются углубления, а также сквозные отверстия прямоугольной формы. Углубления созданы для помещения в пространство их объема полупроводниковых элементов предыдущего уровня. Отверстия созданы для осуществления электрического соединения уровней. Далее пластины химическим способом отмывают от продуктов обработки лазером. После операции отмывки следуют стандартные операции: металлизация с помощью фотолитографии, резка на установке резки и отмывка в органических и неорганических растворах. На каждой отдельной подложке осуществляют монтаж кристаллов и выводов, после происходит поэтапное клеевое соединение уровней микросхемы с сопутствующим созданием электрической связи СП и защитой всех элементов компаундом. После сборки происходит герметизация микросхемы через боковые щели каждого уровня.

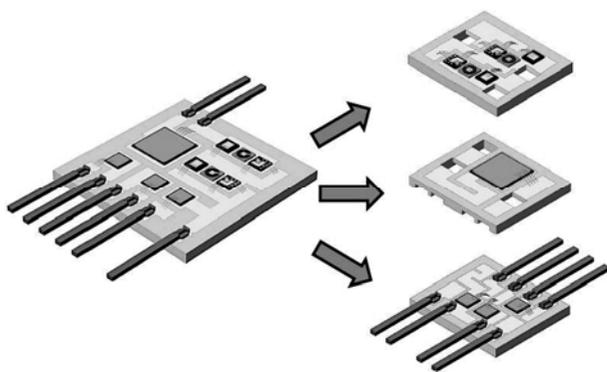


Рис. 2. Разбивка микросхемы на три части по функциональным характеристикам кристаллов

В результате моделирования, отработки технологии, создания опытных образцов и рабочих образцов микросхем, была получена трехуровневая микросхема ММС3-1, представленная вместе с микросхемой БМС1-1 на рис. 3.

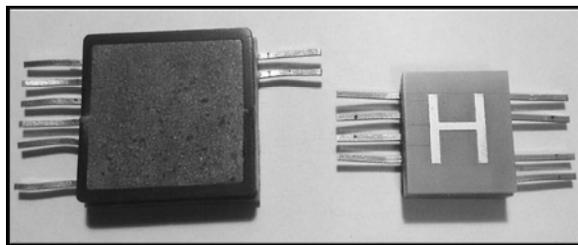


Рис. 3. Микросхемы БМС1-1(слева) и ММС3-1

Массогабаритные характеристики двух микросхем приведены в таблице.

#### Массогабаритные характеристики микросхем

Тип микросхемы	БМС1-1	ММС3-1
Площадь подложки, мм <sup>2</sup>	400	168
Объем микросхемы, мм <sup>3</sup>	1920	810
Вес микросхемы, г	4,35	1,95

Электрические характеристики микросхемы ММС3-1 полностью удовлетворяют ТУ.

На рис. 4 представлен рентгеновская томограмма трехуровневой микросхемы ММС3-1. На рис.4 хорошо видны соединения уровней проволоками и достаточное пространство для размещения кристаллов и их разварки.

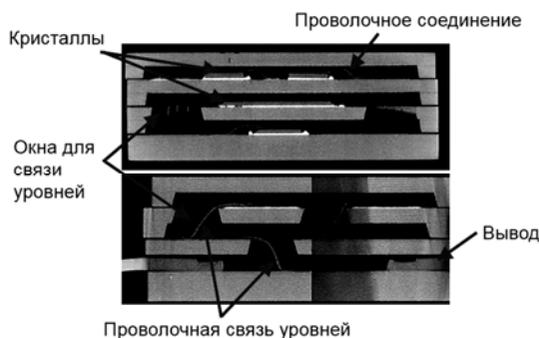


Рис. 4. Рентгеновская томограмма ММС3-1

Был проведен термический анализ модели микросхемы ММС3-1 в программе COVENTOR, показавший, что тепловыделение в микросхеме ММС3-1 более равномерно, чем в БМС1-1.

Используя положительный опыт создания микросхемы ММС3-1 с использованием

способа соединения уровней в микросхеме СП, была смоделирована и разработана серийная микросхема ММС2-1, которая является аналогом микросхемы БМС1-2, но обладает меньшими объемом и площадью подложки.

Хороший результат проектирования микросхемы ММС3-1 и разработки микросхемы ММС2-1 указывает на то, что мы можем подвергнуть подобному разнесению по уровням большинство крупногабаритных микросхем.

В работе также проведены исследования по соединению уровней металлизированными отверстиями в керамике. Преимущества и недостатки данного способа описываются выше. Главное преимущество – малая занимаемая площадь для создания соединения.

Для создания макета была разработана определенная технология, исключающая применение гальваники и каких-либо металлов, кроме алюминия. Основные этапы создания металлизированных отверстий приведены на рис. 5. Изготовленный вариант макета показан на рис. 6. После изготовления макета было подтверждено наличие омического контакта между лицевой и обратной стороной керамической пластины.

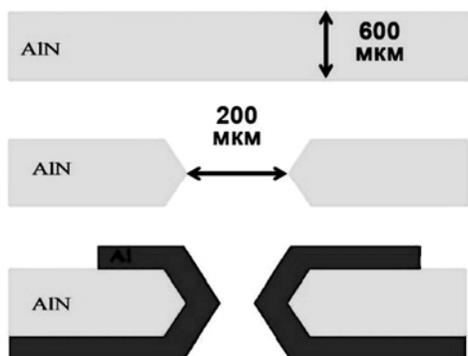


Рис. 5. Этапы создания металлизированных отверстий

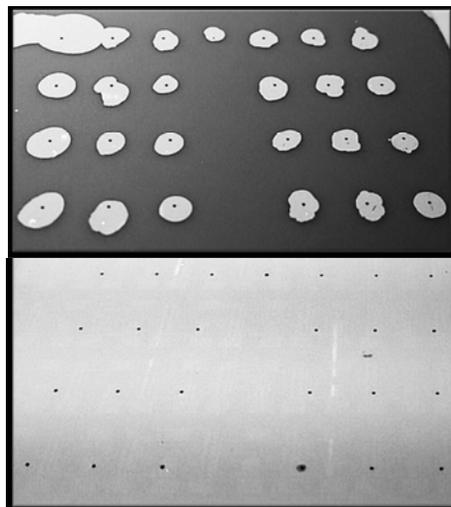


Рис. 6. Изготовленный вариант макета

### Выводы

- 1) исследованы два способа соединения уровней в многоуровневых микросхемах;
- 2) разработан многоуровневый аналог существующей микросхемы БМС1-1 – ММС3-1 с использованием способа СП и его изготовлению. Показано, что для создания данной конструкции может быть использована существующая технологическая база. Количество уровней ограничено размерами оборудования (5-6 уровней);
- 3) разработана серийная микросхема ММС2-1;
- 4) разработана технология изготовления металлизированных отверстий в керамике и изготовлен макет. Показано, что для создания данной конструкции может быть использована существующая технологическая база.