

Опыт НИИСИ РАН по разработке подложек для микросхем с перевернутым кристаллом

А. М. Баранов¹, А. А. Подковыров², А. В. Андреев³

¹ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва, Россия, baranov@niisi.ras.ru;

²ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва, Россия, barfey@cs.niisi.ras.ru;

³ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва, Россия, alandreev@cs.niisi.ras.ru

Аннотация. В работе рассматриваются особенности подложек для микросхем с перевернутым кристаллом. Приведены основные характеристики подложек. Описана технология монтажа перевернутого кристалла и материалы подложек.

Ключевые слова: технология перевернутого кристалла, низкотемпературная обжигаемая керамика, высокотемпературная обжигаемая керамика, подложка для микросхемы

1. Введение

Разработка подложки или корпуса для микросхемы представляет собой процесс проектирования и создания физической оболочки, которая защищает кристалл, а также обеспечивает электрические связи кристалла с материнской печатной платой модуля.

ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН уже более 10 лет разрабатывает различные подложки и корпуса для микросхем промышленного, специального и коммерческого применения.

2. Влияние уменьшения проектных норм кристалла на работу микросхемы

Конкуренция мировых производителей кристаллов приводит к стремлению сделать размер транзистора меньше, топологию кристалла компактнее, а количество кристаллов на пластине всё больше.

Уменьшение норм проектирования кристаллов даёт следующие преимущества:

1) Увеличение рабочей частоты: уменьшение размеров транзисторов позволяет увеличить скорость работы электронных компонентов. Более мелкие транзисторы могут быстрее переключаться между состояниями, что в конечном итоге приводит к увеличению рабочей частоты микросхемы.

2) Уменьшение энергопотребления: Более мелкие транзисторы потребляют меньше энергии при переключении, так как им требуется меньше заряда для изменения состояния.

3) Увеличение числа транзисторов: Уменьшение размеров компонентов также позволяет увеличить плотность интеграции микросхемы,

то есть разместить больше транзисторов на одном кристалле.

4) Сокращение размеров устройств: Уменьшение технологических норм кристаллов микросхемы позволяет сократить размеры и уменьшить вес устройств, в которых они используются.

Эти преимущества позволяют создавать более мощные, эффективные и компактные электронные устройства, в том числе мобильного применения.

3. Технология перевернутого кристалла

Ещё одним следствием уменьшения проектных норм стала возможность разместить на существующем кристалле дополнительные интерфейсы. Это привело к тому, что кристаллы из типа «core limited» (площадь кристалла определяется внутренними блоками) перешли в «pad limited» (площадь кристалла определяется количеством падов или контактных площадок, расположенных по периметру кристалла). Площадь кристалла вместо уменьшения стала увеличиваться.

Решением этой проблемы стала технология перевернутого кристалла.

Flip chip (перевернутый кристалл) — это метод монтажа чипа на подложки, при котором контактные площадки на кристалле расположены в виде матрицы, распределённой по всей площади кристалла с нанесёнными на них припоем полусферической формы (bumps) [1, 2].

Кристалл монтируется напрямую, без дополнительных соединительных проводов, активной контактной стороной вниз — на зеркально расположенные ответные контактные площадки подложки (рисунок 1).

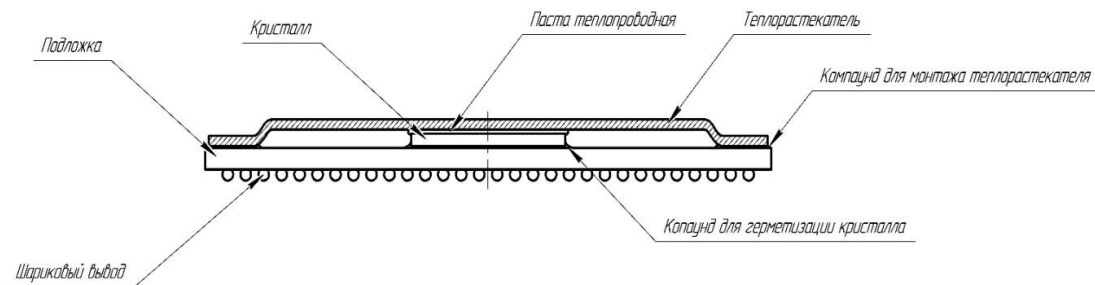


Рис. 1. Конструкция микросхемы, выполненной методом «перевернутого кристалла» (flip chip)

У этого метода есть дополнительные преимущества по сравнению с проволочным монтажом (wire bonding). Матричное расположение контактных площадок земли и питания значительно снижают просадки по току по площади кристалла при интенсивном энергопотреблении. Технология перевернутого кристалла позволяет отказаться от проволочных соединений кристалл-корпус. Моделирование показало [1], что проволочные межсоединения на высоких частотах за счёт своей индуктивности, ёмкости и сопротивления начинают подавлять сигналы высокоскоростных интерфейсов таких, как RapidIO, PCIe, SATA и другие.

Переход на технологию перевернутого кристалла позволяет улучшить характеристики микросхем, повысить их производительность.

4. Полимерные подложки

Конструктивно полимерные подложки представляют собой многослойные печатные платы, выполненные на основе Bismaleimide Triazine (BT resin). Данный материал используется при производстве печатных плат с высокой плотностью расположения проводников и обладает очень хорошей тепловой стабильностью. На рисунке 2 приведена структура слоёв подложки вида 5-2-5. Она содержит относительно толстый (400 – 800 мкм) центральный слой (2 слоя металлизации), обеспечивающий механическую жесткость и прочность платы. Вокруг него симметрично располагаются тонкие (~30 мкм) слои с проводниками (по 5 слоёв).

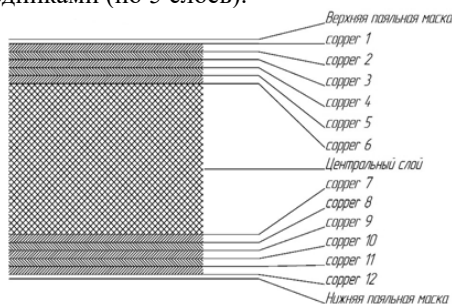


Рис.2. Металлополимерная подложка в сечении

5. Низкотемпературная керамика

Низкотемпературная керамика LTCC (Low Temperature Co-Fired Ceramic) – это широко применяемый материал в качестве подложки микросхем и других компонент, использующихся в различных отраслях промышленности.

LTCC представляет собой «остеклованную» высокотемпературную керамику HTCC (High Temperature Co-Fired Ceramic). За счёт наличия в своём составе стекла спекание LTCC происходит при температурах ниже 1000 °С вместо 1600 °С для технологии HTCC [6]. Это позволяет использовать серебро- или медно-содержащие пасты, вместо молибдена и вольфрама. Серебро или медь обладают гораздо лучшей электрической проводимостью и высокочастотными характеристиками, чем вольфрам и молибден. Использование стекла в составе LTCC приводит к повышенной хрупкости таких подложек. Это накладывает дополнительное требование к аккуратности при проведении испытаний и эксплуатации микросхем на LTCC подложках.

В отличие от полимерных подложек LTCC подложки могут состоять из многих слоёв (до 40) керамики различной толщины. Это позволяет подобрать необходимые параметры волнового сопротивления для дифференциальных пар сигналов и их экранировки слоями земли. После спекания слои керамики становятся монолитной конструкцией. На рисунке 3 приведён вид сечения LTCC подложки.

Все эти факторы делают технологию LTCC оптимальным решением для ряда направлений, которые связаны, с одной стороны, с требованием неприменения органических материалов, с другой – с использованием высокочастотных интерфейсов СВЧ-диапазона, и с третьей – с высокими требованиями к качеству и надежности конечной аппаратуры [3].

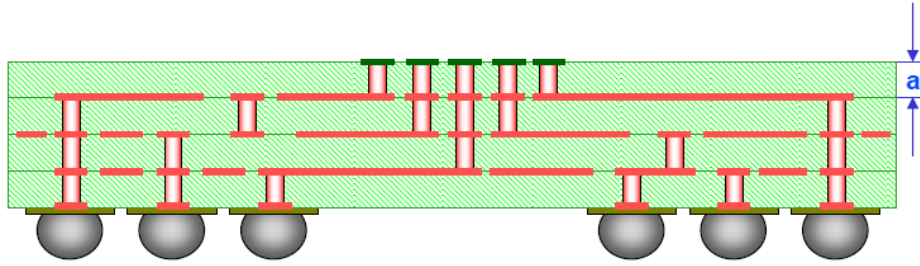


Рис. 3. Вид сечения LTCC подложки

К сожалению, применение серебросодержащих паст устанавливает запретительную цену сложных LTCC подложек микросхем для массового производства. Технологией изготовления относительно дешевых LTCC подложек с медносодержащими проводниками на сегодняшний день владеет фирма Куосера (Япония) [4], [5].

6. Основные характеристики и особенности, разработанных flip-chip подложек

Основными характеристиками подложек являются:

1. Тип основного используемого материала (НТСС, LTCC, полимер),
2. Материалов проводников (вольфрам, золото, серебро, медь)
3. Материалов диэлектрика (различные смеси(пасты) для керамики или составы полимера по артикулу производителя),
4. Количество используемых слоев (задается как $n-2-n$, где n количество тонких слоев, а 2 два слоя вокруг ядра),
5. Количеством и шагом выводов на кристалле,
6. Количеством и шагом выводов на подложке
7. Наличием разного вида темпторастекателей.

В рамках различных опытно-конструкторских работ были разработаны FC-подложки из материалов: LTCC и полимер. На рисунке 4 представлен пример микросхемы с металлокерамическим LTCC основанием. На верхнем слое расположены посадочные места для 14 конденсаторов. Обозначение микросхемы и иная технологическая информация нанесены методом лазерной гравировки непосредственно на перевёрнутый кристалл.

На рисунке 5 представлена микросхема на металлополимерной подложке, кристалл закрыт плоским «шляпообразным» металлическим темпторастекателем.



Рис. 4. Микросхема на LTCC подложке



Рис. 5. Микросхема на полимерной подложке

Ряд параметров подложек микросхем с перевёрнутыми кристаллами приведены в таблице 1.

Таблица 1. Основные характеристики разработанных flip-chip корпусов

Микросхема (порядковый номер)	Материал корпуса	Кол-во слоев под- ложки	Кол-во выводов корпуса	Кол-во вы- водов на кристалле	Шаг выво- дов кри- сталла / UBM*	Кол-во пассивных компон-в (R/C)	Кол-во элементов в кристалле
1	LTCC	23	900	1024	185 мкм / 90 мкм	0/19	-
2	пластик	5-2-5 (12)	1294	3804	185 мкм / 90 мкм	0/7	7×10^7
3	пластик	5-2-5 (12)	1294	3804	185 мкм / 90 мкм	0/10	7×10^7
4	пластик	6-2-6 (14)	898	2778	185 мкм / 90 мкм	0/0	17×10^7
5	пластик	7-2-7 (16)	898	3798	185 мкм / 90 мкм	0/29	8×10^7
6	пластик	5-2-5 (12)	399	1156	185 мкм / 90 мкм	0/22	2×10^7
7	LTCC	36	898	3783	185 мкм / 90 мкм	0/14	4×10^7
8	LTCC	21	898	11170	185 мкм / 90 мкм	0/14	67×10^7
9	пластик	6-2-6 (14)	1294	5640	185 мкм / 90 мкм	0/16	7×10^7
10	LTCC	18	898	2923	185 мкм / 90 мкм	0/16	2×10^7
11	LTCC	17	898	4440	185 мкм / 90 мкм	0/11	2×10^7
12	пластик	6-2-6 (14)	898	4787	162 мкм / 80 мкм	0/15	500×10^7
13	пластик	6-2-6 (14)	1294	5252	162 мкм / 85 мкм	8/22	1×10^7

UBM* (under bump metallization) - металлизация площадки на кристалле под монтаж шариковых выводов

На рисунке 6 приведен график зависимости количества выводов на разработанных в ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН перевёрнутых кристаллах по годам. В зависимости от назначения микросхемы был выбран основной материал подложки, а также соответствующий ему материал проводников и диэлектриков. Причем материал для тонких слоев и для ядра отличаются, т.к. имеют различное назначение, первые для максимально плотной разводки, а второй для придания

жесткой конструкции. Количество и шаг выводов микросхемы определяется в основном наличием определенных интерфейсов, возможностью их дальнейшей трассировки по печатной плате и потреблением питания.

На рисунке 7 указано количество элементов (транзисторов) в данных кристаллах.

На графиках:

по оси X указан год и месяц разработки микросхемы (рис. 6,7),

по оси Y указано количество выводов на кристалле (рис. 6), количество элементов на кристалле (рис.7).

В целом, из графика 6 видно, что количество выводов на кристаллах незначительно растет со временем. На рисунке 7 можно заметить, что количество элементов на кристаллах более-менее однородно. Это объясняется достаточностью применяемых сигнальных интерфейсов в разработанных кристаллах для решения поставленных задач. Такая насыщенность кристалла тран-

зисторами позволяет выполнять требования заказчиков и потребителей по количеству интерфейсов и производительности. Большой всплеск на графике до 5 млрд элементов, объясняется наличием у одной из микросхем типа система-на-кристалле встроенного графического процессора с большим количеством вычислительной логики.



Рис. 6. График количества выводов на кристалле по годам



Рис. 7. График количества элементов на кристалле по годам

7. Заключение

В статье были представлены основные особенности и характеристики, разрабатываемых в ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН подложек для микросхем. Описаны применяемые технологии и использованные при производстве подложек материалы. Проведен анализ основных параметров подложек, составлена сводная таблица. Приведены графики используемого количества выводов на кристалле за последние 10 лет. Из всего

представленного материала можно сделать вывод, что flip-chip-подложки позволяют уменьшать размеры микросхемы, при этом увеличивать количество интерфейсов, размещаемых на ней.

Публикация выполнена в рамках государственного задания ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН по теме FNEF-2022-0004.

Experience of the SRISA RAS in the Development of Substrates for Flip-Chip Technology

A. M. Baranov, A. A. Podkovyrov, A. V. Andreev

Abstract. The paper discusses the development of substrates for flip-chip microcircuits and their features. The main characteristics of the designed substrates are indicated. Flip-chip mounting technology and substrate materials are described.

Keywords: flip-chip technology, low-temperature co-fired ceramics (LTCC), high-temperature co-fired ceramics (HTCC), substrate for the microcircuit

Литература

1. Wikipedia: [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Flip_chip (дата обращения 13.09.2023)
2. Новые проблемы перспективных методик корпусирования // Зарубежная электронная техника. 2018. Выпуск 7 (6656). от 12.04.2018. С. 6–9
3. Чигиринский С. LTCC-технология. Материалы и подготовка шликера // Электроника НТБ. 2010. Выпуск 2. С. 90—92. URL: <http://www.electronics.ru/journal/article/34/> (дата обращения 18.09.2023)
4. Кондратюк Р. Низкотемпературная совместно обжигаемая керамика (LTCC). Преимущества. Технология. Материалы. Ostec-group, Москва, 2011. URL: <https://ostec-materials.ru/knowledge-base/pub/detail/nizkotemperaturnaya-sovmestno-obzhigaemaya-keramika-ltcc-preimushchestva-tekhnologiya-materialy/materials> (дата обращения 13.09.2023)
5. Максимов А. Многослойные металлокерамические корпуса: преимущества и особенности // Электроника НТБ. 2011. Выпуск 3. С. 56-59.
6. Wikipedia: [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/LTCC> (дата обращения 13.09.2023)