

Миниатюризация аппаратуры посредством применения специализированных микросборок на основе отечественных микросхем

М. Шкопкин¹, Ю. Мякочин², С. Девликанова³

УДК 621.38 | ВАК 05.27.06

Тренд развития микроэлектроники хорошо описывается известным законом Мура, согласно которому количество транзисторов на кристалле удваивается каждые 24 месяца. На протяжении долгого времени этот закон относился в основном к технологии, применяемой для разработки интегральных схем и нормам их проектирования. Но в области корпусирования микросхем развитие шло не столь быстрыми темпами. Традиционно кристалл разваривается алюминиевой проволокой. Со временем микросхемы стали точнее, быстрее, производительнее, их характеристики определяются не только дизайном полупроводниковых кристаллов, но и подходами к корпусированию кристаллов в готовую микросхему.

Изобретение компанией IBM технологии монтажа кристалла в корпус методом перевернутого кристалла (Flip-Chip) стало настоящим прорывом, позволившим добиться как уменьшения габаритов конечного изделия, так и улучшения характеристик всей микросхемы^{*}. При использовании этого метода выводы кристалла подключаются к основанию корпуса посредством специально сформированных шариков на контактных площадках, а не через алюминиевую проволоку. Благодаря такому решению значительно улучшаются характеристики соединения кристалла с основанием. Сравнительные параметры каждого из соединений представлены в табл. 1 и 2.

Как видно из данных таблиц, применение метода Flip-Chip позволяет значительно снизить омическое соединение

и индуктивность контакта. В таблицах эти значения приведены для статических сигналов (DC), частот 250 кГц и 100 МГц (типичные значения частот в преобразователях напряжения (DC/DC) и высокоскоростных АЦП).

Еще одно преимущество технологии Flip-Chip состоит в том, что кристалл устанавливается в корпусе «перевернутым». Такое расположение позволяет отводить тепло с кристалла непосредственно через внешнюю металлическую крышку корпуса, контактирующую с обратной стороной кристалла (зачастую для лучшей передачи тепла применяется термопаста).

Общемировые тенденции миниатюризации формируют требования к российским разработчикам ИС: улучшение характеристик микросхем при условии уменьшения их габаритов. Рассмотрим решения для ИС специального применения (с расширенным температурным диапазоном и повышенными требованиями к надежности). В таких системах применяются металлокерамические корпуса. Использование стандартных планарных корпусов приводит к увеличению масса-габаритных характеристик конечной аппаратуры. Один из возможных выходов из ситуации – объединение нескольких полупроводниковых кристаллов

Таблица 1. Параметры алюминиевой проволоки (длинной 3 мм, диаметром 30 мкм)

Параметр/частота	DC	250 кГц	100 МГц
R, мОм	121	121	133
L, нГн	–	1,790	1,785
C, пФ		18,5	18,8

¹ АО «ПКК Миландр», заместитель начальника конструкторского отдела, shkopkin.m@milandr.ru.

² АО «ПКК Миландр», директор центра проектирования радиоэлектронной аппаратуры, myakochin.yuri@ic-design.ru.

³ АО «ПКК Миландр», инженер, devlikanova.s@milandr.ru.

^{*} Ho-Ming Tong, Yi-shao Lai. Advanced Flip-Chip Packaging. Springer, 2013.

Таблица 2. Параметры шарика (bump) диаметром 80 мкм

Параметр/частота	DC	250 кГц	100 МГц
R, мОм	2,8	2,8	2,8
L, нГн		0,0003	0,0002
C, пФ		14,8	14,8



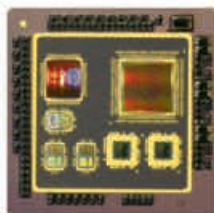
Разработка электронной тропы микросборки в конечной аппаратуре

МИКРОСБОРКИ

Микросборки производства компании «МИЛАНДР» позволяют разрабатывать современную малогабаритную аппаратуру цифровой обработки и захвата сигнала повышенной степени надежности

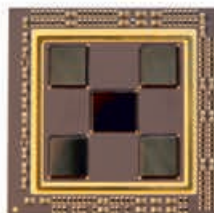
Оптимальное соотношение технических характеристик, надежности и стоимости

«ОСВЕДОМЛЕННОСТЬ»



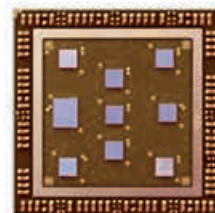
- DSP-процессор до 230 МГц
- Один 8-разрядный приемопередающий LINK-порт до 230 МГц
- 2 канала АЦП по 14 бит, семплирование 15–125 МГц
- Встроенная Флеш-память 16 Мбит (2 М x 8)
- Встроенная СОЗУ 12 Мбит
- Встроенные контроллеры 2 UART, 5 SPI, 2 SSI, LCD-конт-р, VideoCam, 2 МКIU (МКПД), 4 ARINC-429, 2 GPS
- Корпус 51 x 51 мм, CPGA

«ФЛИП-ЧИП»



- 4 DSP-процессора до 450 МГц
- Внешняя DSP шина, 32 бита адреса, 64 бита данных
- Четыре 4-разрядных приемопередающих LINK-порта до 450 МГц
- Встроенная Флеш-память 16 Мбит 2М x 8
- Встроенная СОЗУ 96 Мбит
- Напряжение питания 1.0 В ядро, 2.5 В LINK, 3.3 В Флеш
- Корпус 42 x 42 мм, CPGA

«МОДУЛЬ-АЦП8»



- АЦП 8 каналов по 14 бит, семплирование 15–125 МГц
- Отношение сигнал/шум не менее 70 ДБ
- Когерентный захват сигнала по всем каналам АЦП
- Корпус 41 x 41 мм, CPGA

Мы создаём будущее

124498, г. Москва, Зеленоград, Георгиевский пр-т, д. 5 • info@milandr.ru

+7 (495) 981-54-33 • +7 (495) 981-54-36 (факс)

/ MILANDR.RU

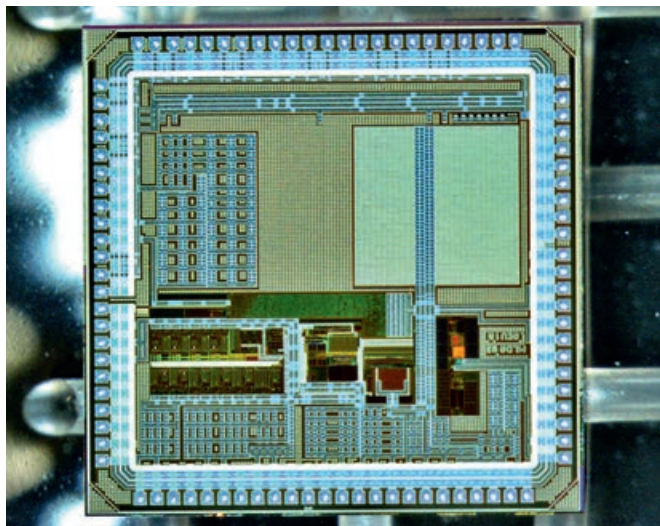


Рис. 1. Вид кристалла АЦП

в общем металлокерамическом основании. Это позволяет уменьшить размеры конечной аппаратуры, повысив ее надежность. Компания АО «ПКК Миландр» применяет такие решения, объединяя несколько кристаллов собственной разработки на одном металлокерамическом основании, и выпускает не отдельные интегральные схемы, а законченные микросборки.

При проектировании микросборок в большей части случаев новые кристаллы не разрабатываются – применяются ранее выпущенные изделия. Это позволяет предложить заказчику (причем оперативно) законченные узлы радиоэлектронной аппаратуры. Более того, так как кристаллы уже были проверены в ранее выпущенных микросхемах, то вероятность некорректной работы микросборки значительно уменьшается. Установка кристаллов методом Flip-Chip в микросборках позволяет дополнительно

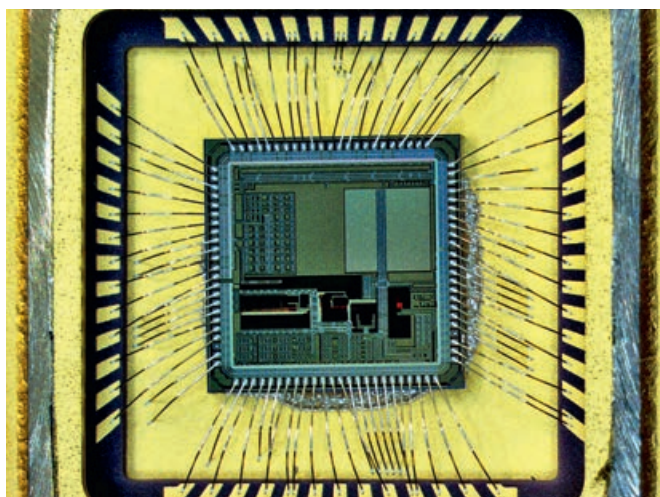


Рис. 2. Разваренный кристалл АЦП

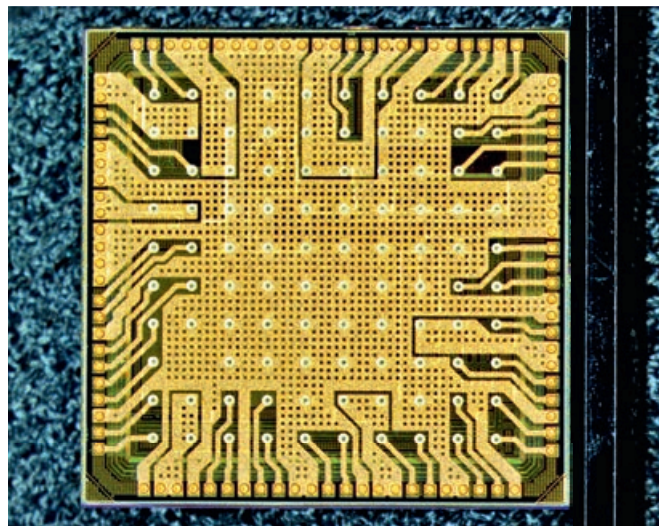


Рис. 3. Кристалл АЦП после формирования слоя RDL

снизить окончательные размеры и наряду с этим улучшить характеристики всей системы, так как исключается применение проволоочной разварки.

Но не все ранее разработанные кристаллы подходят для подобного монтажа. Зачастую шаг выводов микросхемы не позволяет установить на них шарики припоя. Например, если шаг выводов микросхемы меньше 100 мкм, то шарики диаметром 80 мкм поставить нельзя из-за проблем с дальнейшей разводкой подобной конструкции (зазор между проводниками будет меньше 50 мкм) и возможности короткого замыкания соседних шариков при монтаже. Для подобных случаев подходит технология перераспределенного слоя – Redistribution Layer (RDL), когда на готовую пластину с кристаллами специальным образом наносится дополнительный слой металлизации с топологией и распределением выводов по типу Ball Grid Array (BGA).

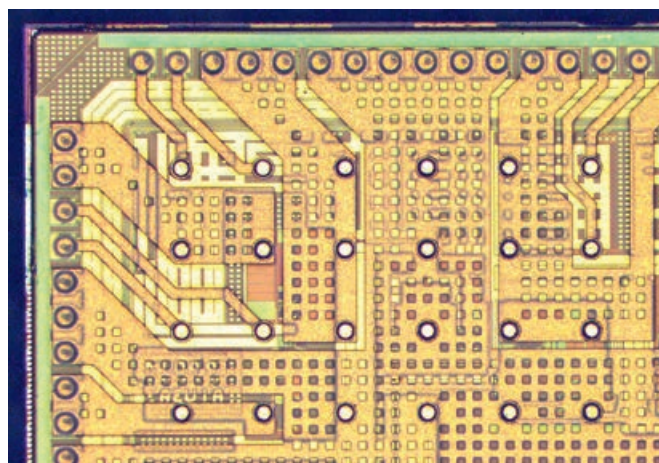


Рис. 4. Кристалл АЦП после формирования RDL (увеличенное фото)

В соответствии с технологией RDL на кристалл со стороны контактных площадок наносится несколько дополнительных слоев. Первый – слой диэлектрика с вырезами под контактные площадки кристалла. Второй – напыленный по трафарету слой металла толщиной около 2 мкм. Допустимые сплавы – титан-алюминий или титан-медь, минимальная ширина проводника и зазор составляют 20 мкм. После этого наносится третий слой: диэлектрик с вырезами под новые выводы, а затем так называемый слой Under-Bump-Metallization (UBM), который представляет собой электрически осажденный никель с покрытием золотом. Этот слой используется для установки вывода в виде шарика припоя. По завершении этих процедур на специальном оборудовании устанавливаются шарики припоя, обычно диаметром 80 мкм, хотя допускается использовать шарики других размеров.

Рассмотрим одну из разрабатываемых в компании АО «ПКК Миландр» микросборок, в которых применяется установка кристаллов методом Flip-Chip. В ее состав входят два ранее разработанных кристалла: высокоскоростной АЦП (с частотой выборки до 125 МГц) и тактовый дистрибьютер для разветвления тактового сигнала. Сама микросборка – это 8-канальный блок захвата данных посредством восьми установленных АЦП, а применение тактового дистрибьютера обеспечивает возможность когерентного захвата данных этими АЦП.

Поскольку при проектировании обоих кристаллов (АЦП и тактового дистрибьютера) не предполагалась их установка методом Flip-Chip, то и требования к расположению контактных площадок таким способом не были реализованы. Поэтому возникла необходимость сформировать на кристаллах слой RDL для корректного разнесения шариков на поверхности кристалла.

В качестве примера рассмотрим кристалл АЦП. Фото АЦП до установки в корпус представлено на рис. 1, разваренный кристалл АЦП – на рис. 2. Длина алюминиевых проволочных соединений (см. рис. 2), применяемых при разварке кристалла в корпус, сопоставима с размером самого кристалла АЦП. Тот же кристалл АЦП, но уже после формирования на нем слоя RDL, показан на рис. 3. Видно, что контактные площадки с шариками равномерно заполняют все пространство кристалла по типу микросхем в BGA-корпусах, обеспечивая необходимые зазоры для разводки сигналов в корпусе (рис. 4 – увеличенное фото кристалла). Шаг сформированных выводов превышает шаг выводов оригинального кристалла. Это и есть основное назначение слоя RDL – разместить выводы на необходимом расстоянии для установки кристалла методом Flip-Chip.

Следует отметить определенные ограничения, характерные для технологии RDL. При большом количестве контактных площадок и малом шаге на кристалле возможны трудности при разработке слоя RDL. Обычно сигнальные цепи идут на внешние ряды шариковых выводов, а центральные

контактные площадки отводятся для цепей питания и земли. Если в кристалле большое количество сигнальных цепей, возможна ситуация, когда будет недостаточно двух внешних рядов для их трассировки, или при малом шаге контактных площадок кристалла не останется места для выхода цепей земли и питания на центральные контактные площадки шариков. В этом случае можно вывести только цепи, необходимые в конкретной работе, и использовать лишь нужный функционал. Это позволит применить микросхему даже с очень большим числом выводов, уменьшить импеданс по цепям питания и сигнальным цепям.

Рассмотренные в статье технологии компания АО «ПКК Миландр» успешно применяет в собственных разработках. Эти подходы позволяют значительно уменьшить габариты конечной аппаратуры. Самое главное – использование технологий Flip-Chip и RDL чаще всего не требует переработки полупроводниковых кристаллов, а значит, в микросборках используются проверенные и верифицированные наработки. Тем самым удается вдохнуть вторую жизнь в выпущенные ранее микросхемы (причем не только разработки АО «ПКК Миландр») и зачастую улучшить конечные характеристики микросхем, так как можно отказаться от проволочных соединений.



МИКРОСХЕМЫ / ПРИБОРЫ / СИСТЕМЫ

Разработка и производство

2019



МИКРОСБОРКИ

Микросборки производства компании «Миландр» позволяют разрабатывать современную малогабаритную аппаратуру цифровой обработки и захвата сигнала повышенной степени надежности.

Оптимальное соотношение технических характеристик, надежности и стоимости

«ОСВЕДОМЛЕННОСТЬ»	«ФЛИП-ЧИП»	«МОДУЛЬ-АЦП»
- DSP-процессор до 230 МГц - Блок 8-канальный преобразователь LFM-порт до 230 МГц 2 канала АЦП по 14 бит, оцифровывание 15–125 МГц - Встроенная флэш-память 16 Мбит (2 М4 × 8) - Встроенный ODRY 12 Мбит - Встроенный контроллер 2 UART, 5 SPI, 2 I2C, LCD-порт, VideoCam, 2 MIPI DSI/CSI 4 ARMv8-A25, 2 GPR - Порт USB 2.0, CPDA	4 DSP-процессора до 400 МГц - Встроенная DSP-память 32 Кб - Адреса: 64 бита, диапазон чипов 10–20 - Чипы 4-х ядерные, ARMv8-A25 до 400 МГц - Встроенная флэш-память 16 Мбит (2 М4 × 8) - Встроенный ODRY 12 Мбит - Напряжение питания 1.0 В ядро, 2.5 В I/O, 3.3 В I/O - Порт USB 2.0, CPDA	- АЦП 8-канальный по 14 бит, оцифровывание 15–125 МГц - Оптимизация сигналов не менее 10 ГГц - Направленный канал сигнала по схеме канала АЦП - Порт USB 2.0, CPDA

Мы создаём будущее

124498, г. Москва, Зеленоград, Георгиевский пр-т, д. 5 • info@milandr.ru
+7 (495) 981-54-33 • +7 (495) 981-54-36 (факс)

/ MILANDR.RU