

# Технологии флип-чип-монтажа кристаллов CMOS на органические подложки

**В статье рассматриваются основные технологии флип-чип-монтажа кристаллов. За основу выбран кристалл CMOS H, разработанный для SMPS малой мощности высокой степени интеграции.**

Юлия Борисова

## Введение

Одним из главных критериев разработки импульсных стабилизаторов напряжения (SMPS) является увеличение их удельной мощности. Концепции, основанные на стандартных процессах производства CMOS, развиваются в целях оптимизации производительности при сокращении стоимости, при этом используются все более сложные структуры с большим количеством активных элементов [1–2]. Однако электротермомеханические соединения таких преобразователей могут ограничивать их эффективность и увеличивать габаритные размеры.

Технология флип-чип и сопряженные с ней технологии монтажа кристаллов позволяют соединять контактные площадки кристаллов и подложек с помощью адгезионных паст, контактных бампов, медных столбиков или столбиков припоя [3].

Флип-чип-монтаж оптимизирует отвод тепла прибора силовой электроники с большим количеством контактов посредством организации подходящего

дизайна медных дорожек на подложке. Таким образом, тепло будет выведено в окружающую среду через бампы, а их количество — почти обратно пропорционально эквивалентному термическому сопротивлению соединительного слоя.

В статье рассматриваются основные технологии флип-чип-монтажа кристаллов. За основу выбран кристалл CMOS H (рис. 1) разработанный для SMPS малой мощности высокой степени интеграции. Параметры кристалла представлены в таблице 1. Электрические характеристики кристалла: максимально допустимый ток 2 А, максимальное напряжение 5 В, частота переключения 1 МГц. На одном кристалле 70 контактных площадок. Такое количество контактов необходимо для распределения электрических и термических нагрузок. Положение каждой контактной площадки оптимизировано для снижения циркуляции токов на поверхности кристалла. Наличие двух площадок на один контакт позволяет измерять сопротивление контакта по четырем точкам.

Кристалл и подложка разработаны так, чтобы количество и расположение контактных площадок на поверхности кристалла было оптимальным. В публикации проводится сравнение результатов флип-чип монтажа кристалла на подложку с использованием различных технологий по двум параметрам: по количеству полученных соединений и по их электрическому сопротивлению. На рис. 2 показана структура подложки. Ее дизайн позволяет снизить объем платы при увеличении общей поверхности медных выводов для улучшения теплоотводящих характеристик всей сборки.

Таблица 1. Параметры кристалла

Размер кристалла, мм	Мощность, Вт	Количество контактных площадок	Размер контактных площадок, мкм
4,5×2,2	10	70	85×85

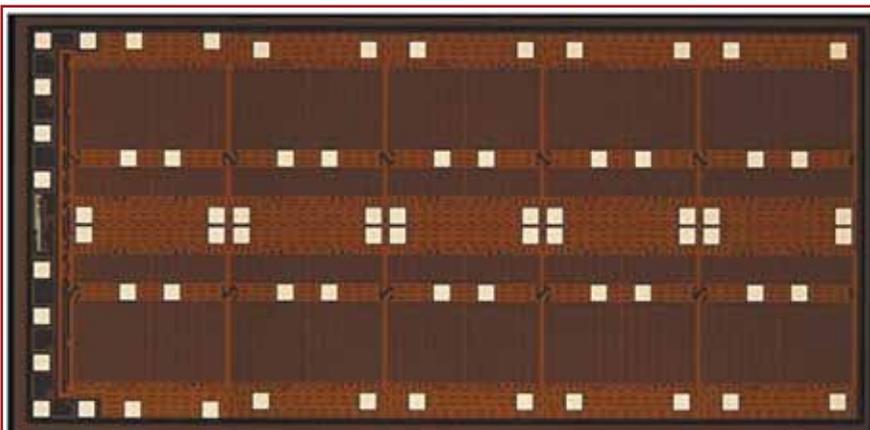


Рис. 1. Силовой кристалл CMOS H

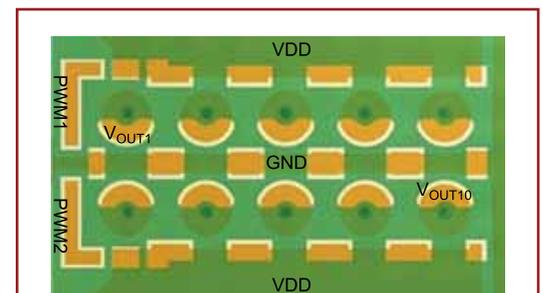


Рис. 2. Структура подложки изготовленной из стеклотекстолита FR4

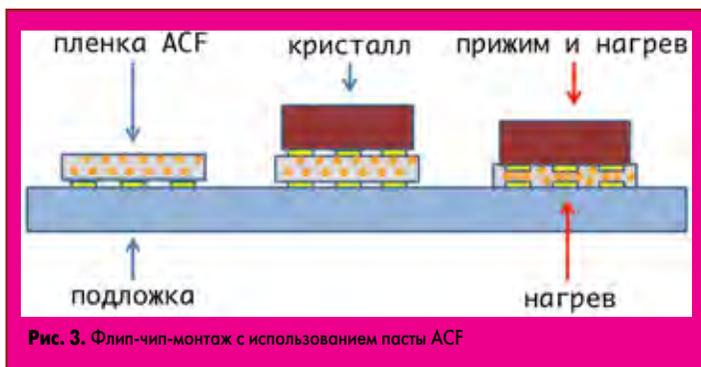


Рис. 3. Флип-чип-монтаж с использованием пасты ACF

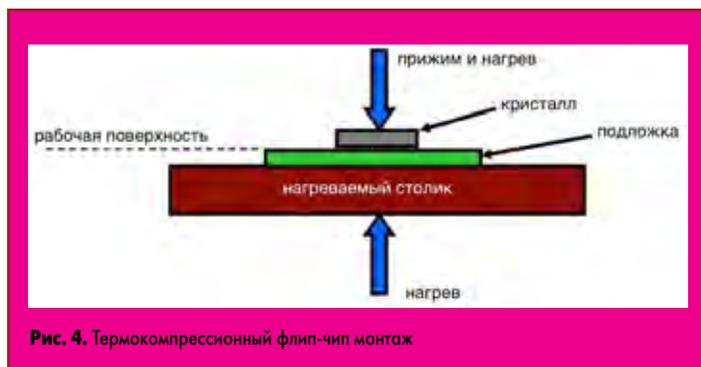


Рис. 4. Термокомпрессионный флип-чип монтаж

**Обзор исследуемых технологий монтажа флип-чип**

**Анизотропный проводящий адгезив**

Анизотропный проводящий адгезив (АСА) не проводит электрический ток сам по себе, но содержит проводящие частицы, которые при определенных условиях создают контакт между площадками кристалла и подложки. Адгезивы могут использоваться в виде пленок (ACF) и паст (ACP) [4]. В статье рассматривается применение адгезивной проводящей пленки для монтажа кристалла с золотыми контактными выводами диаметром 70 мкм на подложку. Как показано на рис. 3, в первую очередь адгезионная пленка помещается на подложку в область предполагаемой установки кристалла. Затем проводится совмещение и выравнивание контактных площадок кристалла относительно контактных дорожек подложки, установка кристалла и его фиксация с помощью пленки ACF. Для получения электрического контакта между кристаллом и подложкой необходимо применять прижим и нагрев в процессе сборки. Такой процесс довольно прост, имеет низкую стоимость и не требует высоких температур нагрева всей сборки, а следовательно, не оказывает негативного влияния на физические свойства подложки.

**Термокомпрессионный монтаж**

Для термокомпрессионного флип-чип-монтажа на контактных площадках кристалла предварительно сформированы золотые бампы диаметром 70 мкм. Затем проводилось совмещение контактных выводов кристалла и контактных дорожек подложки с последующим размещением кристалла на ней. При этом подложка предварительно нагревалась до +200 °С. После установки кристалла вся

сборка нагревалась по заданному температурному профилю до максимального значения +350 °С, и в момент максимального значения температуры осуществлялся прижим кристалла к подложке (рис. 4). Значения требуемого усилия прижима зависят от размера кристалла и количества контактных выводов. Типовые значения усилия прижима находятся в диапазоне 0,1–0,7 Н/бамп [4]. Главный недостаток этой технологии — высокая пиковая температура термического цикла. Стандартная РСВ-подложка из стеклотекстолита FR4 может деформироваться при температурах выше +200 °С [5].

**Ультразвуковой/термозвуковой монтаж**

Технология флип-чип-монтажа с помощью ультразвука схожа с технологией термокомпрессионного монтажа (рис. 4), но в ходе процесса сборки «кристалл-подложка» не подвергается воздействию столь высоких температур, поскольку в этом нет необходимости. На первом этапе проводится предварительный нагрев подложки до температуры около +120 °С. Затем происходит выравнивание и установка кристалла на подложку. После чего осуществляется прижим кристалла к подложке с усилием около 0,06 Н/бамп, и подается ультразвуковой импульс (порядка 1400 мВт) с одновременным увеличением температуры до +150 °С. Благодаря ультразвуковым колебаниям удается достичь электрического контакта между бампами кристалла и дорожками подложки при более низких температурах по сравнению с термокомпрессионным монтажом. Однако процесс требует прецизионного контроля параметров монтажа. С одной стороны, слишком большое усилие прижима и высокая мощность ультразвукового им-

пульса могут разрушить соединения между кристаллом и подложкой. С другой — чересчур низких усилий прижима и ультразвуковой мощности может быть просто недостаточно для получения качественного соединения.

Для тестового флип-чип-монтажа кристалла на подложку использовалась монтажная станция Fineplacer. Она имеет высокую точность, что позволяет работать с кристаллами с большим количеством контактных выводов. Кроме того, применение специально разработанного инструмента типа «пирамидка» для захвата кристалла с двух сторон не накладывает ограничений на передачу ультразвуковой мощности в отличие от обычного плоского вакуумного инструмента.

**Флип-чип-монтаж с использованием оловянно-свинцового припоя**

Четвертой тестируемой технологией монтажа кристалла на подложку РСВ стала технология пайки с помощью припоя SnPb63/37. Для тестов также использовалась монтажная станция Fineplacer. В первую очередь на кристалле были созданы золотые контактные выводы для улучшения смачиваемости контактных площадок и придания им некоторой высоты. Затем на них были сформированы вершины из оловянно-свинцового припоя. После чего проводилось совмещение выводов кристалла и контактных дорожек подложки с последующим размещением кристалла на подложке и пайкой по заданному температурному профилю (рис. 5).

Первые экспериментальные результаты показали, что механическая прочность сборки недостаточно высока. Кристалл легко отделился от подложки вследствие недостаточного количества припоя. Поэтому было принято решение нанести припой непосредственно

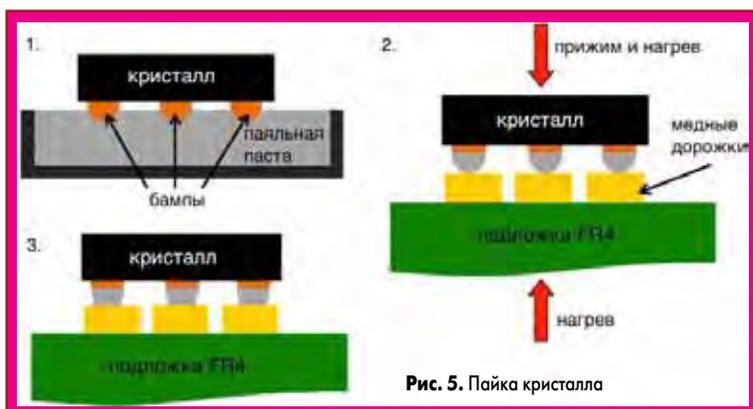


Рис. 5. Пайка кристалла

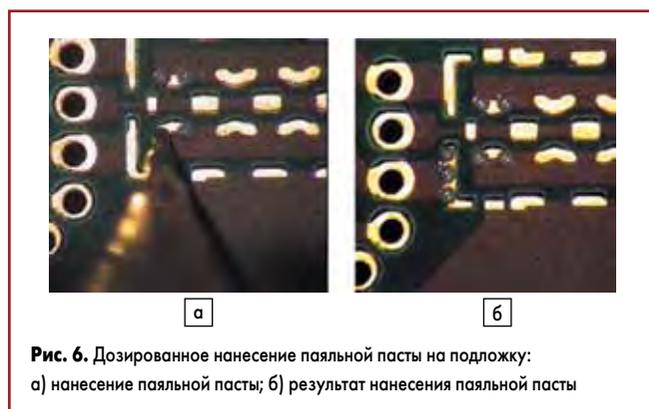
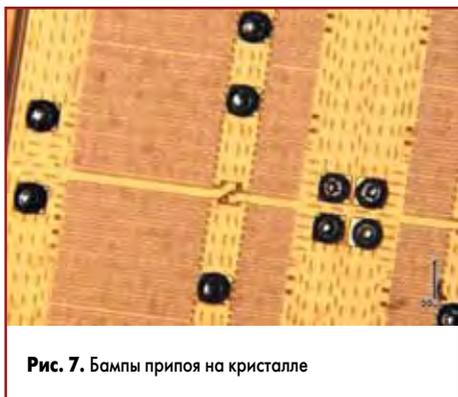


Рис. 6. Дозированное нанесение паяльной пасты на подложку: а) нанесение паяльной пасты; б) результат нанесения паяльной пасты


**Рис. 7.** Бампы припоя на кристалле

на подложку с помощью дозатора, как показано на рис. 6.

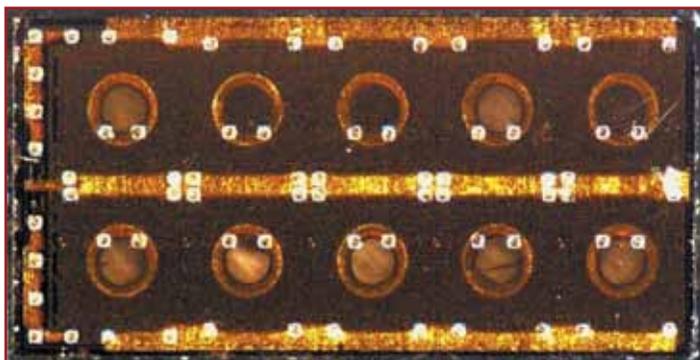
Технология монтажа с использованием припоев и паяльных паст подразумевает нанесение различных припоев, таких как SnPb, SnAgCu, SnAg, SnCu, и других непосредственно на контактные площадки кристалла [6]. На рис. 7 изображены бампы припоя SnAgCu диаметром 90 мкм на контактных площадках кристалла. После нанесения припоя проводится выравнивание кристалла относительно подложки PCB и присоединение его к подложке с помощью бампов после их оплавления. Такая технология не требует высоких температур и усилий прижима.

#### Экспериментальные результаты и выводы

Экспериментальные результаты флип-чип-монтажа кристалла CMOS N с применением анизотропного адгезива и термокомпрессионного монтажа не дали ожидаемых результатов. Семь тестовых сборок каждой из двух технологий не имели контактов между кристаллом и подложкой.

Ультразвуковой монтаж позволил лишь частично измерить параметры сборки, поскольку только 10 из 70 контактов было успешно получено в ходе 10 тестовых работ с различными параметрами процессов. Измерения сопротивлений контактов показали значения 25–27 мОм, величина сопротивлений не изменялась при различных пропускаемых DC-токах в диапазоне до 200 мА.

Для оценки механической прочности сборки, полученной в процессе тремозвукового монтажа кристалла, был проведен тест на сдвиг. На рис. 8 показан кристалл,


**Рис. 8.** Совмещение бампов кристалла с контактными дорожками подложки

**Таблица 2.** Сравнение результатов тестовыхборок с применением различных технологий

Технология монтажа	Полученные соединения	Сопротивление контактов, мОм (min)	Сопротивление контактов, мОм (max)	Количество тестовыхборок
АСА	0	–	–	7
Термокомпрессия	0	–	–	7
Ультразвуковой монтаж	10/70	25	27	10
Пайка	70/70	1,8	3,1	15

выровненный относительно подложки до проведения флип-чип-сборки и теста на сдвиг. А на рис. 9 можно увидеть лишь некоторые остатки бампов на подложке. Здесь видно, что большинство контактов не было получено, так как не осталось почти никаких следов бампов на подложке. Важно отметить, что для этой сборки не проводилась подзаливка кристалла.

Ультразвуковой монтаж может быть хорошим решением для флип-чип-монтажа кристаллов с небольшим количеством контактных площадок и простым рисунком на подложке. Для силовых кристаллов высокой мощности требуется большее количество энергии для получения однородных соединений между всеми бампами кристалла и контактными площадками подложки.

На монтажной станции Fineplacer также было проведено 15 тестовыхборок с использованием оловянно-свинцового припоя. Такой флип-чип-монтаж позволил получить соединения между всеми бампами кристаллов и соответствующими дорожками подложек в количестве 70 штук на одну сборку. Измеренные сопротивления контактов составили 1,8–3,1 мОм. Впоследствии кристалл, смонтированный на подложку, устанавливался в обратный преобразователь и тестировался при напряжении питания 5 В, частоте переключений 500 кГц, выходном токе нагрузки 4 А, передаваемой мощности 10 Вт. Тепловое сопротивление составило 104 К/Вт. При этом полученные соединения прекрасно выводят тепло через бампы, а медные дорожки на подложке передают тепло в окружающую среду.

В таблице 2 представлены итоговые результаты, полученные в ходе тестовыхборок с применением различных технологий монтажа. Технология монтажа с использованием припоя показала лучшие результаты сборки «кристалл-подложка», поскольку полученные сопротивления контактов ниже, чем в других сборках, а, как известно, от сопротивления

контактов зависят потери проводимости CMOS-цепи. Стабильно однородные результаты, полученные для всех 15 образцов, собранных по технологии флип-чип-монтажа с применением припоя, позволяют сделать вывод об эффективности применения этой технологии для флип-чип-монтажа кристалла на органические подложки.

#### Заключение

Технология монтажа с применением анизотропных проводящих паст и термокомпрессионный монтаж не подходят для рассматриваемых применений, поскольку в ходе тестовых работ с применением данных технологий не было получено ни одного соединения между кристаллом и подложкой. Ультразвуковой монтаж дал лишь частично положительный результат. Только 10 соединений из 70 было получено. Это связано, с одной стороны, с низким качеством используемых материалов, а с другой — с недостаточной энергией, передаваемой ультразвуковым инструментом. Для улучшения эффективности флип-чип-монтажа кристаллов на органические подложки с помощью ультразвука следует устанавливать кристаллы с небольшим количеством контактных выводов и подложки с несложным рисунком. Более того, с полным основанием можно предположить, что использование более мощного ультразвукового модуля монтажной станции Fineplacer (мощностью 40 Вт) позволит значительно улучшить качество получаемыхборок, даже при наличии недорогих материалов. И наконец, флип-чип-монтаж с применением припоя, наносимого как на выступы кристалла, так и контактные площадки подложки, позволил получить хорошие результаты, однородные по сопротивлению соединений. Такой метод соответствует нашим ожиданиям относительно электрических, температурных и механических параметров выполненныхборок.


**Рис. 9.** а) Фотографии после теста на сдвиг; б) остаточные следы от бампов

## Литература

1. Pala V., Peng H., Wright P., Hella M. M., Chow T. P. Integrated High-Frequency Power Converters Based on GaAs pHEMT: Technology Characterization and Design Examples // IEEE Transactions on Power Electronics. 2012. Vol. 27. № 5.
2. Kerachev L., Trinh T. H., Lembeye Y., Crebier J. C. Design and Implementation of a Highly Integrated Dual Active Bridge Microconverter // IEEE Transactions on Power Electronics. Vol. 31. № 8.
3. Wong, C. L., How, J. Low cost flip chip bumping technologies. Electronic Packaging Technology Conference, 8–10 October, 1997.
4. [www.finetech.de](http://www.finetech.de)
5. Qi H., Ganesan S., Wu J., Pecht M., Matkowski P., Felba J. Effects of Printed Circuit Board Materials on Lead-free Interconnect Durability. Polymers and Adhesives in Microelectronics and Photonics. Polytronic, 23–26 October, 2005.
6. Oppert T., Azdasht G., Zakel E., Teutsch T. Laser assisted soldering and Flip-Chip attach for 3-D packaging. Electronics Manufacturing and Technology. 8–10 November, 2007.