



## ВОСЕМЬ ТЕНДЕНЦИЙ, КОТОРЫЕ ИЗМЕНЯТ ЭЛЕКТРОНИКУ

Антон Нисан

edu@ostec-group.ru

**В** статье рассмотрено развитие традиционных технологий корпусирования, приведены прогнозы относительно дальнейшего уменьшения шага выводов компонентов в корпусах различных типов. Обозначены тенденции в области систем в корпусе и систем на кристалле, показаны перспективы развития технологии WLP и 3D-интеграции, а также органической и печатной электроники. Продемонстрированы преимущества, обеспечиваемые применением МЭМС, 3D-MID и встраиванием пассивных и активных компонентов в печатные платы.

### РАЗВИТИЕ ТРАДИЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ КОРПУСИРОВАНИЯ

На современном этапе развития корпусирования можно выделить следующие основные тенденции:

- увеличение количества выводов;
- уменьшение минимального шага выводов компонентов в корпусах различных типов (рис. 1 и 2);
- переход от расположения выводов по периметру к расположению выводов под корпусом;
- интеграция нескольких компонентов в один корпус.

Уменьшение шага выводов компонентов PBGA и QFP фактически достигло своих пределов: 0,65 и 0,3 мм соответственно. Минимальный шаг выводов компонентов FBGA продолжит снижаться, через шесть лет сократится вдвое и достигнет значения 0,15 мм.

### СИСТЕМЫ В КОРПУСЕ

Система в корпусе (System in Package, SiP) – комбинация нескольких активных электронных компонентов различной функциональности, собранная в единый модуль, которая обеспечивает реализацию разных функций, обычно выполняемых системой или подсистемой. Система в корпусе может иметь в своем составе пассивные компоненты, МЭМС,

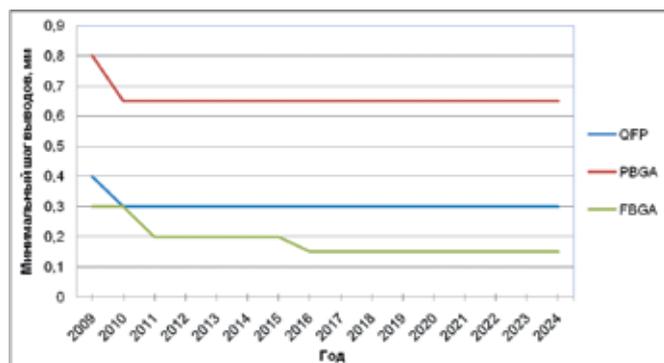


Рис. 1 Уменьшение минимального шага выводов компонентов с выводами типа «крыло чайки» и с шариковыми выводами на примере компонентов для малогабаритных портативных устройств

оптические компоненты и другие корпуса и устройства. Объединение этих компонентов в одном корпусе имеет существенные преимущества: конструкция становится меньше, легче, надежней и дешевле. Пример классификации систем в корпусе показан на рис. 3, а схематичные изображения вариантов конструктивного исполнения – на рис. 4. На сегодняшний день число кристаллов в компонентах SiP для мобильных устройств доходит до 10 и, согласно прогнозам, через 10 лет удвоится. На рис. 7 и рис. 8 проиллюстрированы требования ITRS к увеличению максимального числа кристаллов в корпусе и к максимальному числу выводов для систем в корпусе, предназначенных для применения в мобильных устройствах, высокопроизводительной компьютерной технике и изделиях, эксплуатируемых в жестких условиях.

### СИСТЕМЫ НА КРИСТАЛЛЕ

Системы на кристалле (System on Chip, SoC) представляют собой системы, все элементы которых изготовлены в одном кристалле.

Пример видеосистемы, реализованной на кристалле, состоящей из светочувствительной матрицы, RISC-процессора, процессора для цифровой обработки сигналов, RAM и флеш-памяти, и параллельного и последовательного интерфейсов, приведен на рис. 9

Сравнивая системы на кристалле с системами в корпусе, можно выделить преимущества и недостатки, перечисленные в таблице 1.

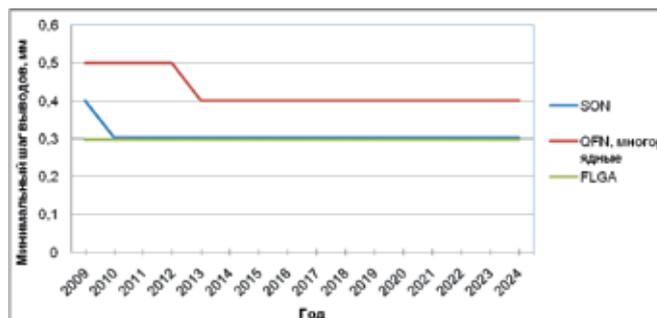


Рис. 2 Уменьшение минимального шага выводов компонентов с контактными поверхностями на примере компонентов для малогабаритных портативных устройств



Рис. 3 Классификация систем в корпусе

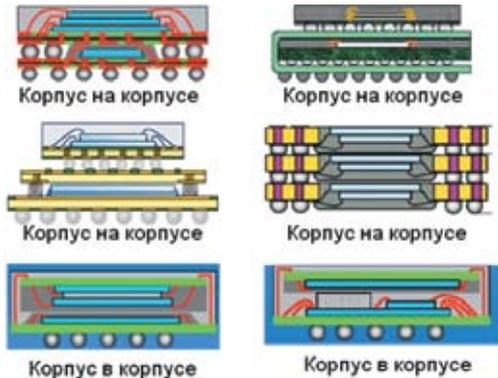


Рис. 4 Схематичные изображения вариантов конструктивного исполнения систем в корпусе

### ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ НА ПЛАСТИНЕ (WLP)

Технология WLP подразумевала, что все операции процесса корпусирования кристаллов проводятся до разделения пластины. Согласно первоначальному определению WLP, требовалось, чтобы все выводы были расположены в пределах границы кристалла. В таком случае корпус компонента действительно имел размеры кристалла (в отличие от так называемых компонентов CSP), и такие компоненты получили обозначение WLCSP. Однако существенным ограничением технологии WLP в таком понимании было количество выводов, которые можно было бы расположить

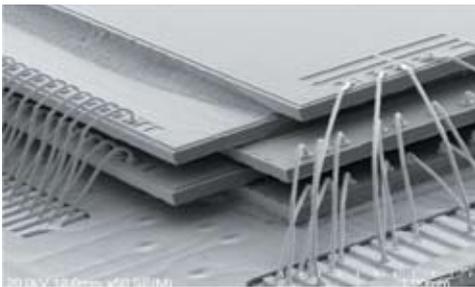


Рис. 5 Пример разварки выводов в системе в корпусе

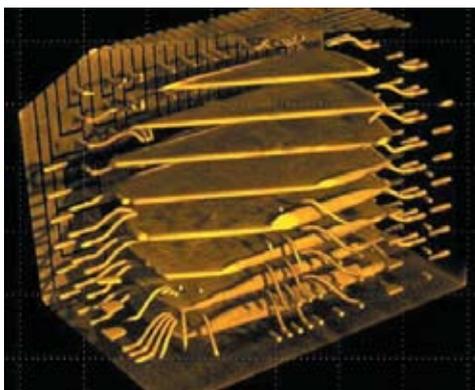


Рис. 6 Разрез 3D-модели системы в корпусе. Модель получена методом рентгеновской томографии на оборудовании компании Phoenix | x-ray

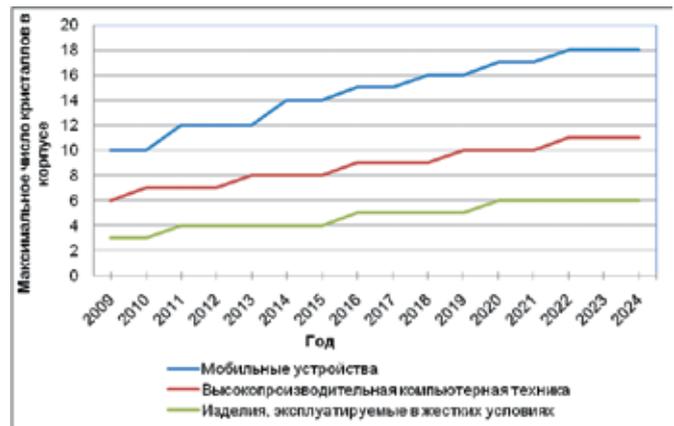


Рис. 7 Рост максимального числа кристаллов в системах в корпусе

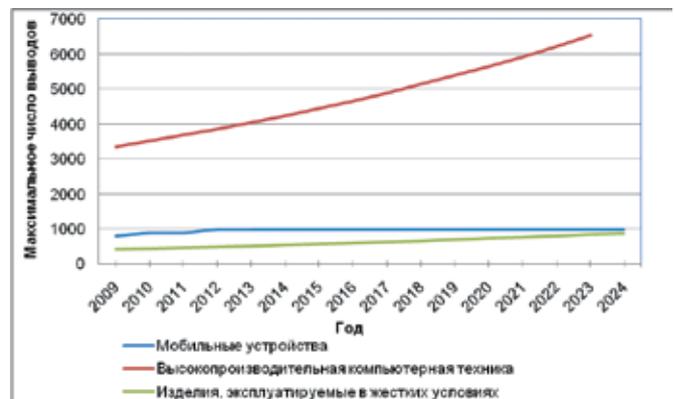


Рис. 8 Рост максимального числа выводов

под кристаллом. Технология WLP может быть оптимальным выбором, когда требования в дальнейшем уменьшении размеров компонентов, увеличении рабочей частоты и уменьшении стоимости не могут быть удовлетворены традиционными технологиями корпусирования: разваркой проволокой или монтажом кристалла по технологии flip chip.

Недавно на рынке появились компоненты (рис. 10), не удовлетворяющие «классическому» определению WLP. При их производстве полупроводниковая пластина разделяется на кристаллы до корпусирования, после чего кристаллы размещаются в полимерной матрице таким образом, чтобы каждый кристалл был по периметру окружен полимером. Затем полимерная матрица с установленными кристаллами подвергается операциям классической технологии WLP. Таким образом, ключевое преимущество компонентов WLP, изготавливаемых с применением полимерных матриц, заключается в размещении большого количества выводов на компоненте (рис. 11).

### 3D-ИНТЕГРАЦИЯ

Под 3D-интеграцией понимается расположение кристаллов друг над

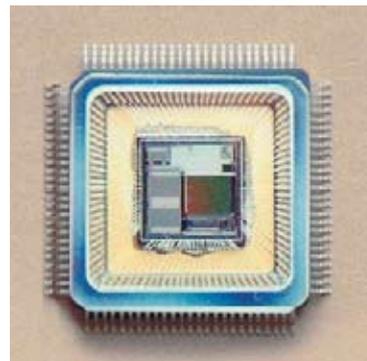


Рис. 9 Видеосистема на кристалле



Таблица 1 Сравнение систем в корпусе и систем на кристалле

	Система в корпусе	Система на кристалле
Преимущества	<ul style="list-style-type: none"> <li>Срок выхода на рынок от 3 до 6 месяцев.</li> <li>Возможность встраивания активных и пассивных компонентов.</li> <li>Возможность замены отдельных компонентов.</li> <li>Повторное использование отдельных элементов.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Выше миниатюризация.</li> <li>Выше плотность межсоединений.</li> <li>Выше надежность (за исключением кристаллов очень большого размера).</li> <li>Выше выход годных при отработанной технологии.</li> </ul>
Недостатки	<ul style="list-style-type: none"> <li>Более сложная сборка.</li> <li>Высокая плотность рассеиваемой мощности при расположении кристаллов друг над другом.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Срок выхода на рынок от 6 до 24 месяцев.</li> <li>Сложность внесения изменений.</li> <li>Возможности изделий ограничены выбранной технологией.</li> <li>Ограниченный выход годных для сложных больших кристаллов.</li> </ul>

другом с созданием вертикальных соединений между кристаллами. Потенциальные преимущества, обеспечиваемые 3D-интеграцией, включают в себя уменьшение размеров системы, сокращение длины межсоединений благодаря замене длинных горизонтальных связей на короткие вертикальные, снижение энергопотребления. Однако 3D-интеграции присущи и следующие недостатки: высокая сложность проектирования, высокая стоимость.

Существуют следующие технологии производства 3D-интегрированных структур:

- кристалл на кристалл: отдельные кристаллы совмещаются и соединяются друг с другом;
- кристалл на пластину: пластины с кристаллами одного уровня разделяются, и кристаллы совмещаются и соединяются с пластиной другого уровня, после чего происходит разделение этой пластины;
- пластина на пластину: пластины совмещаются и соединяются друг с другом, после чего разделяются.

На рис. 13 показаны некоторые области применения и тенденции 3D-интеграции.

### ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ СО ВСТРОЕННЫМИ КОМПОНЕНТАМИ

Встраивание активных и пассивных компонентов в печатные платы позволяет реализовать новые технологии межсоединения, без использования разварки, обеспечивающие улучшенные тепловые и электрические характеристики, а также возможность размещения кристалла над

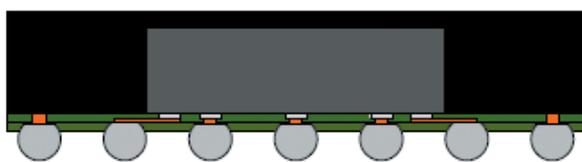


Рис. 10 Компоненты WLP, изготавливаемые с применением полимерных матриц (fan-out WLP)

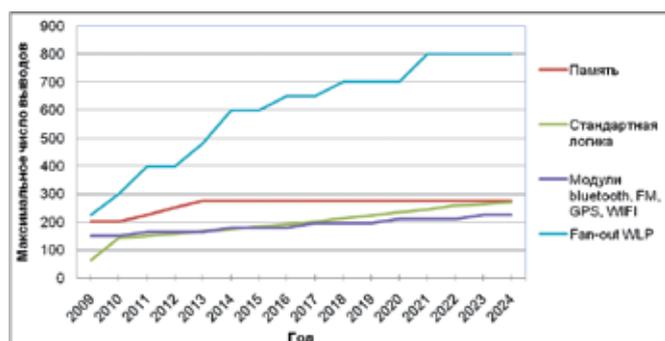


Рис. 11 Рост максимального числа выводов компонентов WLP

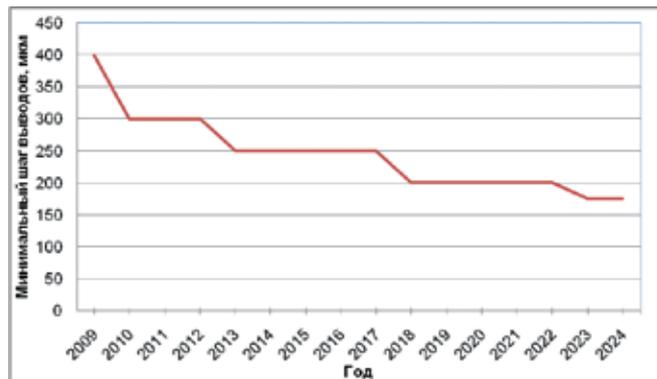


Рис. 12 Уменьшение минимального шага выводов компонентов WLP (на примере микросхем памяти)

кристаллом.

Для встраивания пассивных и активных компонентов в печатную плату могут использоваться, например, два процесса, последовательность операций которых проиллюстрирована на рис. 14. При встраивании компонента контактными площадками вверх обеспечивается хороший теплоотвод от компонента, поэтому этот способ особенно подходит для мощных компонентов. Однако возможности данной технологии ограничены при встраивании компонентов различной высоты. Встраивание компонента контактными площадками вниз имеет следующие преимущества: высокая точность совмещения компонента с основанием и возможность встраивания нескольких компонентов различной высоты (порядка 100-350 мкм).

Слои со встроенными компонентами могут использоваться в качестве внутренних слоев многослойных печатных плат, на обе стороны которых могут быть установлены компоненты поверхностного монтажа (рис. 15).

### МЭМС

Микроэлектромеханические системы (МЭМС) – технологии и устройства, объединяющие в себе микроэлектронные и микромеханические компоненты. Типичный размер микромеханических элементов, входящих в МЭМС, лежит в пределах от 1 до 100 мкм. В качестве примеров МЭМС можно привести датчики ускорений (в том числе используемые для активации автомобильных подушек безопасности), датчики давления воздуха в шинах автомобиля, кардиостимуляторы.

Основные преимущества МЭМС заключаются в низкой стоимости благодаря использованию технологий микроэлектроники для производства микромеханических элементов; в малых размерах и малой массе, что позволяет использовать их в портативных устройствах таких, как мобильные телефоны, ноутбуки; в существенно меньшем энергопотреблении.

### 3D-MID

3D-MID представляют собой 3D основания из литого высокотемпера-

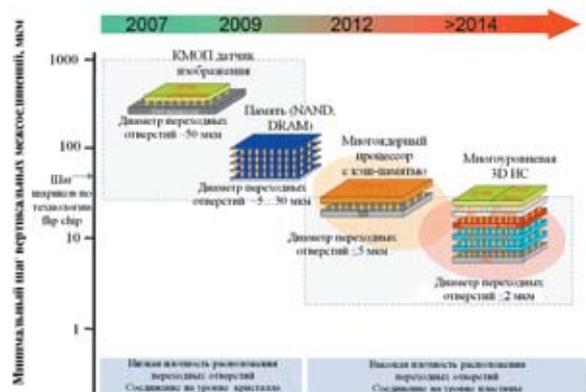


Рис. 13 Области применения 3D-интеграции

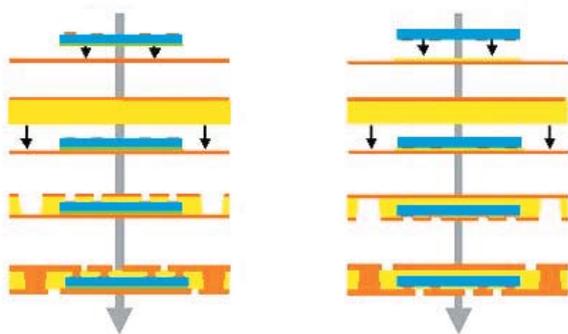


Рис. 14 Последовательность операций при встраивании компонентов в печатную плату

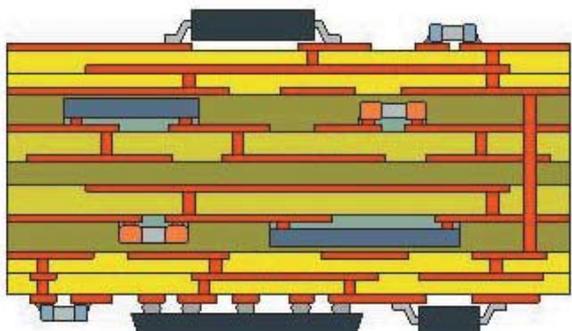


Рис. 15 Схематичное изображение печатной платы со встроенными компонентами и с двухсторонним поверхностным монтажом

турного термопластика, на которых выполнены 3D проводники (рис. 17). Основные области применения 3D-MID – это автоэлектроника и устройства и системы телекоммуникаций. Кроме того, они используются в медицинской, компьютерной и бытовой технике.

3D-MID обеспечивают очень высокую гибкость проектирования за счет возможности интеграции электронных, механических и оптических элементов, широких возможностей относительно формы устройства, миниатюризации. Среди других преимуществ данной технологии стоит отметить меньшее число входящих в состав элементов, повышенную надежность, меньшую материалоемкость.

### ОРГАНИЧЕСКАЯ И ПЕЧАТНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Органическая и печатная электроника основана на сочетании новых материалов и экономически эффективных, массовых процессов производства, открывающих новые области применения. Малая толщина, малый вес, экологическая безвредность – вот, что означает органическая электроника. Радиометки (RFID), сворачиваемые дисплеи, гибкие солнечные батареи, системы освещения, одноразовые средства диагностики, игры, печатные батареи – это только несколько перспективных областей применения органической электроники.

Технологии, применяемые в органической и печатной электронике, основаны на использовании органических проводящих и полупроводящих материалов, а также неорганических материалов, пригодных для нанесения методом печати. Ключевые примеры изделий органической электроники: органические фотогальванические элементы, печатные радиометки, органическая память, органические датчики, гибкие батареи и интеллектуальные устройства.

Впервые органические электронные устройства появились на рынке в 2005-2006 гг. Пассивные идентификационные карточки, массово печатаемые на бумаге и используемые в качестве билетов или в игрушках, были представлены в 2006 г. Гибкие литий-полимерные батареи, производимые по технологии ротационной печати, уже несколько лет имеются на рынке и могут использоваться в смарт-картах и в других мобильных потребительских устройствах.

За последние несколько лет в области печатных радиометок на основе

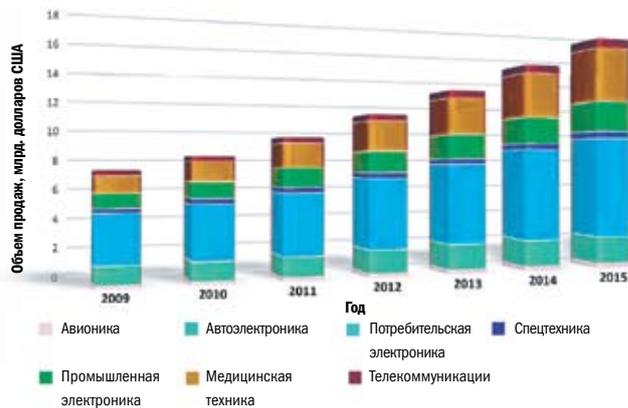


Рис. 16 Прогноз объема продаж МЭМС

органической электроники был совершен большой прогресс. Так, были анонсированы 128-битные ретрансляторы и сверхвысокочастотные выпрямители на основе органических полупроводников. Печатные антенны уже широко применяются в традиционных устройствах радиочастотной идентификации на основе кремниевых кристаллов. Подходы к дальнейшему развитию печатных приемопередатчиков основаны на применении кремниевых наночастиц на стальных подложках. На рис. 19 показана печатная радиометка (RFID).

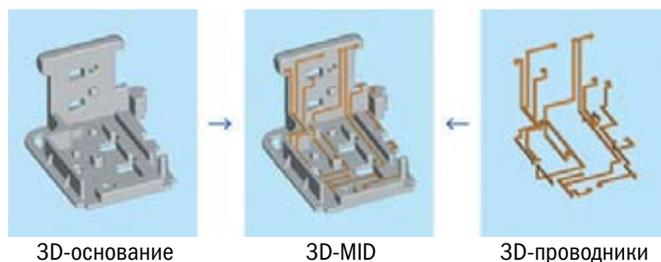


Рис. 17 Схематичное изображение 3D литого монтажного основания

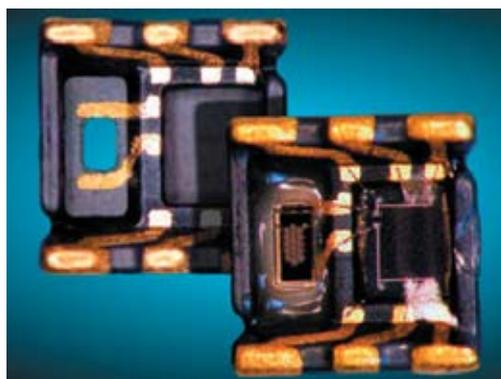


Рис. 18 Датчик давления на 3D литом монтажном основании размером 4x4x1,5 мм

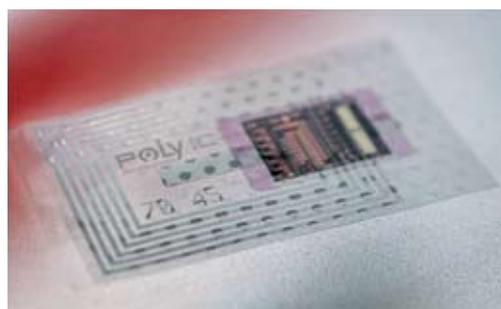


Рис. 19 Печатная радиометка (RFID)