

## 3D-интеграция — один из возможных путей опережающего развития отечественной микроэлектроники

Есть мнение, что российское микроэлектронное и микросборочное производство отстает от мирового уровня. Позвольте, опираясь на свой собственный производственный опыт, с этим согласиться. Какой вывод можно сделать из этого факта? Только один — у нас, тех, кто работает в этой области, есть великолепная возможность для роста, разработки и внедрения самых прогрессивных технологий. При этом очевидно, что копирование позавчерашних решений, закупка бывших в употреблении фабов и беззаветная вера в западных гуру микроэлектроники, вышедших на пенсию, не смогут кардинально изменить ситуацию в отрасли в России (но, конечно, возможны некоторые применения и таких подходов для конкретных типов изделий, обучения персонала и т. д.). Похоже, что метод 100%-ного переноса технологии, неплохо зарекомендовавший себя в Юго-Восточной Азии (хотя применявшиеся при этом методики требуют гораздо более глубокого и детального изучения), не работает так же в России. Это не хорошо и не плохо, это просто факт, который надо учитывать при разработке проекта.

Андрей ХОХЛУН  
micro@ostec-group.ru

Кроме того, аналитики микроэлектронного производства делают общий вывод о повышении влияния диверсификации продукции на современное развитие отрасли. Отмечается устойчивая тенденция, называемая «больше, чем закон

Мура». Упрощенная формулировка закона Мура гласит, что плотность транзисторов удваивается в серийных интегральных микросхемах (ИС) примерно каждые 18 месяцев. Закон Мура подтвержден практикой развития микроэлектроники пяти последних

десятилетий. Но на рубеже XXI века было обнаружено, что скорость роста интеграции электронных систем превышает даже скорость роста плотности транзисторов по закону Мура (рис. 1).

В компьютерном мире наличие большего числа транзисторов на чипе ИС означает большую скорость и, возможно, большую функциональность. Но во многих случаях эти микросхемы имеют дело лишь с 10% системы. Остальные 90% все еще реализуются в виде массива громоздких дискретных пассивных компонентов, таких как резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности, антенны, фильтры и переключатели, а также другие дискретные компоненты или компоненты с низкой степенью интеграции, которые скоммутированы печатной платой в одностороннем или двухстороннем варианте. Так есть, но будет ли так и дальше? Последние данные со всей очевидностью показывают, что ответ отрицательный, и мы в настоящий момент находимся на пороге очередной революции в электронике.

Современные технологии 3D-микросборки позволяют эффективно сократить площадь (объем, массу) электронного узла не за счет повышения степени интеграции ИС, а за счет работы с коммутационной составляющей системы и пассивными компонентами: платой, расположением и свойствами элементов.

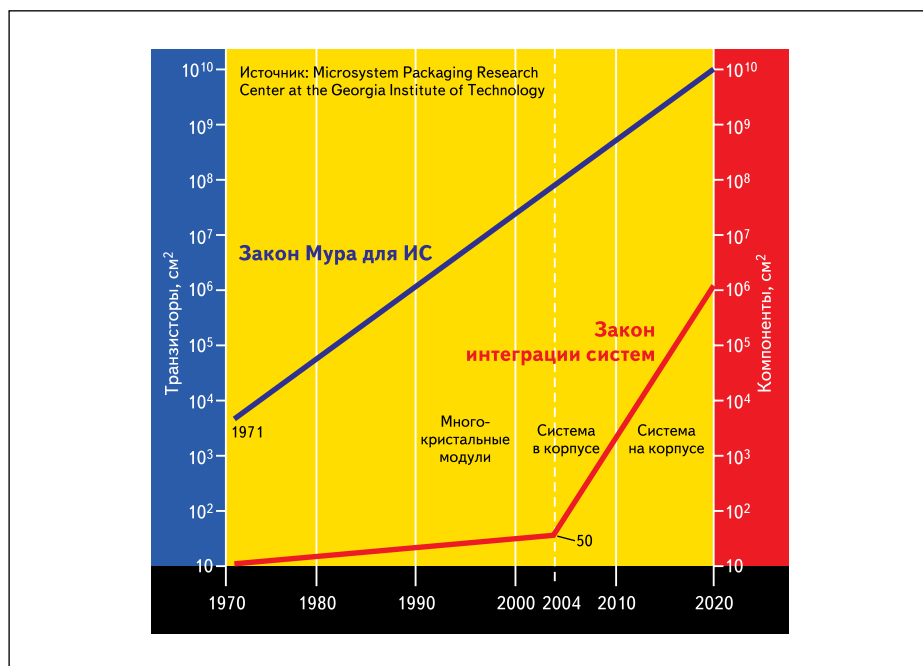


Рис. 1. Графики роста степени интеграции компонентов ИС и электронных узлов

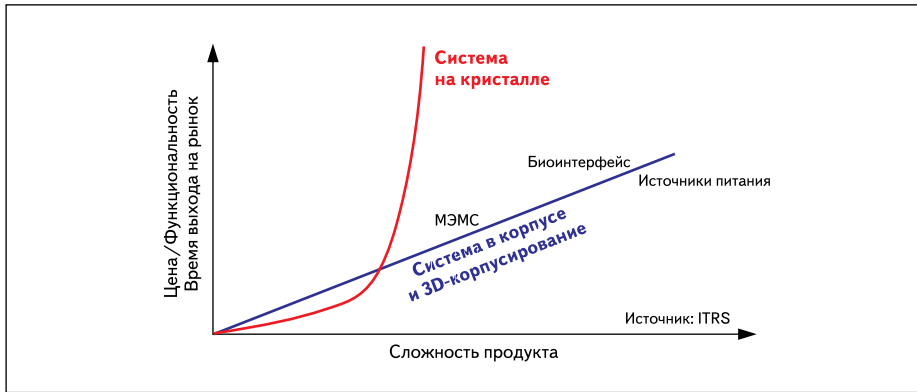


Рис. 2. Зависимость отношения цены к функциональности и времени выхода на рынок к сложности системы на кристалле и 3D-интегрированной системы в корпусе

Стоит упомянуть еще об одном направлении интеграции электронных систем — о разработке «систем на кристалле» (СнК). В этом случае на одном кристалле выполняются различные части электрической схемы, такие как процессор, память, аналоговая часть и другие элементы с использованием технологий производства интегральных микросхем. С точки зрения плотности интеграции компонентов, длины электрических соединений, совместимости со стандартными технологиями производства и проектирования интегральных микросхем СнК обладают высочайшими показателями, однако имеют и недостатки, один из которых — очень высокая трудоемкость проектирования таких систем.

На рис. 2 представлен график зависимости отношения цены к функциональности и времени выхода на рынок к сложности «системы на кристалле» и 3D-интегрированной «системы в корпусе». Видно, что с ростом сложности системы, включая интеграцию разнородных блоков, таких как МЭМС, СВЧ-каналы, биодатчики и источники питания, кривая для «систем на кристалле» растет экспоненциально, а для 3D-интегрированных «систем в корпусе» — линейно.

Широкий спектр современных изделий, использующих технологии 3D-микроразмещения и микросборки, или, иными словами, «системы в корпусе», можно упрощенно классифицировать по трем основным группам:

1. Многокристалльные модули с кристаллами, расположенными один на другом (stacked dies), и организацией межсоединений проволочными выводами.
2. Многоэтажные корпуса (system on package, SoP) с организацией межсоединений с помощью шариковых выводов или так называемых «бампов».
3. Многокристалльные модули, использующие технологии создания для организации межсоединений переходных отверстий в материале самих полупроводниковых кристаллов (through silicon vias, TSV). Эта классификация представлена на рис. 3.

Технологии для производства микросборок 1-й группы («системы в корпусе», «этажерки кристаллов») уже несколько лет серийно используются в промышленности и доступны для нас. Направление развития технологии идет в сторону увеличения количества слоев и уменьшения толщины кристаллов (в настоящее время — до 70 микрон в серийном производстве). Именно здесь, по мнению автора, лежит огромный потенциал развития российской электроники специального назначения. Достаточно большое количе-

ство наших предприятий производят широкую номенклатуру гибридных микросборок по устаревшим технологиям (подложки из поликора или ситалла, односторонняя или двухсторонняя тонкопленочная технология, однослойный поверхностный или бескорпусной монтаж). Использование многослойных печатных плат в приложениях высокой надежности тоже имеет свои минусы, неприемлемые для многих конкретных приложений из-за проблем, связанных с теплопроводностью, разными коэффициентами термического расширения и низких частотных свойств. С технической точки зрения наиболее простым путем быстрой и эффективной модернизации производства микросборок высокой надежности представляется внедрение технологии многослойной низкотемпературной керамики в сочетании с технологией монтажа «этажерок кристаллов». Такое сочетание 3D-технологий (многослойная керамическая подложка или герметичный корпус со встроенными пассивными компонентами плюс многослойный монтаж кристаллов с разваркой проволокой) позволит улучшить массогабаритные характеристики микросборок в несколько раз, а для некоторых случаев — в десятки раз. Налицо и другие преимущества: улучшение частотных характеристик (свойства керамических материалов, уменьшение

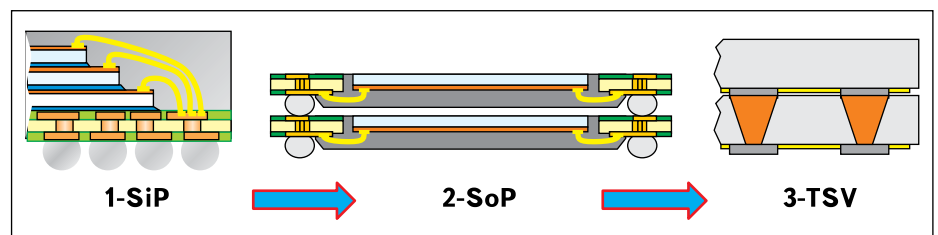


Рис. 3. Классификация 3D-интегрированных структур по трем основным группам

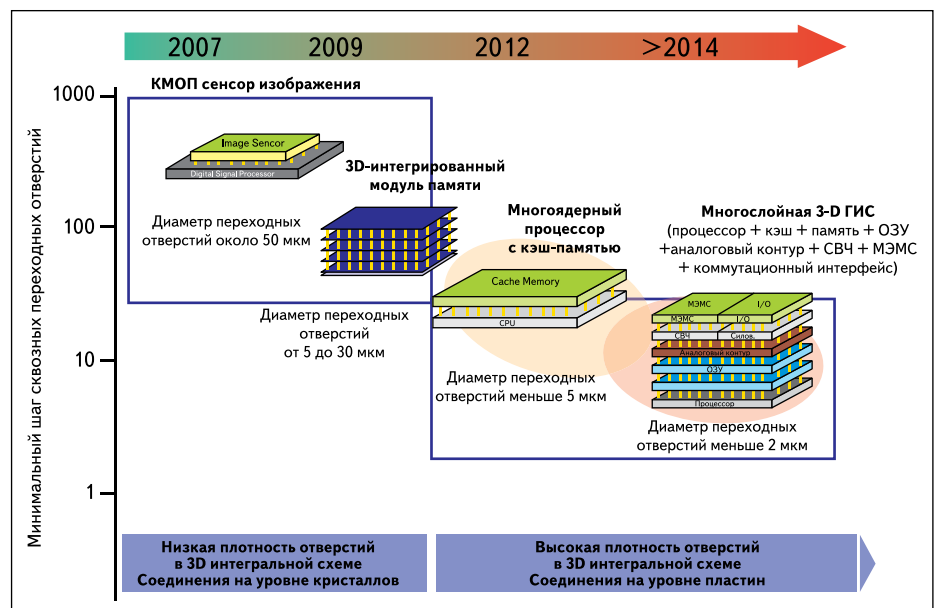


Рис. 4. План развития TSV-технологии 3D-интеграции (источник — отчет Through Silicon Via Technology: The Ultimate Market for 3D Interconnect. TechSearch Int., 2008)

длины межсоединений, повторяемость и воспроизводимость точностных характеристик монтажа), а также теплоотвода, прочности и герметичности.

Вторая группа 3D-интегрированных структур типа «корпус на корпусе» требует для своей реализации добавить к технологиям первой группы технологии создания шариковых выводов и «бампов», или, другими словами, контактных микровыступов, что позволяет совместно с технологиями flip chip существенно расширить зону использования таких структур.

Наиболее перспективны и активно разрабатываются сейчас в мире изделия третьей группы, интегрированные на уровне полупроводниковых пластин и кристаллов с переходными отверстиями (TSV-технология).

План развития TSV-технологии приведен на рис. 4.

Так как формат статьи не позволяет более подробно рассмотреть все особенности и возможности технологий 3D-интеграции, положивших начало четвертой технологической революции в электронике, разрешите в заключение отметить две особенности этой

технологии, касающиеся именно России, нашей электронной и радиоэлектронной промышленности:

- Технологии 3D-интеграции в разработке и реализации значительно менее затратны, чем технологии интеграции в микроэлектронике, а результат по повышению функциональности электронных узлов может быть даже выше.
- Технологии 3D-интеграции настолько современны, что у нас есть шанс в этот раз никого не догонять, если, конечно, начать их активно развивать прямо сейчас. ■