

# 3D-МОДУЛИ НА ОСНОВЕ КРЕМНИЕВЫХ КОММУТАЦИОННЫХ ПЛАТ

В.Ваньков<sup>1</sup>, Н.Комков<sup>2</sup>

УДК 621.382  
ВАК 05.27.06

Полупроводниковая промышленность заинтересована в создании устройств малых размеров с высокой степенью интеграции, широким набором функций и доступных по стоимости. Эффективное решение этой задачи возможно с использованием систем в корпусе (СвК). За последние 10 лет было произведено более 1 млрд таких устройств, из них 40% – в виде трехмерных (3D) сборок. Сегодня этот подход к созданию микросхем является одним из основных. Рассмотрим некоторые типы современных 3D СвК и применяемые в них технологии.

**О**сновное преимущество СвК заключается в способности интегрировать множество микросхем на основе различных технологий в единый корпус. В результате удается получить гетеросистему высокой производительности.

Одно из современных направлений реализации СвК – технология 3D TSV (Through Silicon Vias – сквозные отверстия в кремнии). В ее основе лежит создание 3D-модулей с использованием кремниевых коммутационных плат (ККП), в которых металлизация создается на оборудовании для конечных операций обработки (back end of line, BEOL), в частности, на оборудовании для КМОП-технологии с медной металлизацией. Пример 3D-модуля на основе технологии 3D TSV показан на рис.1.

3D-модуль (далее – 3DM) представляет собой систему, состоящую из двух или более микросхем, расположенных вертикально в стек на одной подложке, каждая из которых предназначена для выполнения своей функции. Конструкция 3DM обеспечивает электрические межсоединения микросхем, содержащихся в модуле, с наружными выводами, теплоотвод (активное, пассивное охлаждение) и защиту от окружающей среды.

Технология 3DM позволяет располагать микросхемы вплотную одна к другой, уменьшая общий объем и массу системы.

В 3DM можно размещать следующие компоненты:

- пассивные компоненты, установленные по технологии поверхностного монтажа, с типоразмером до 01005;
- интегрированные пассивные устройства на поверхности или встроенные внутрь подложки;

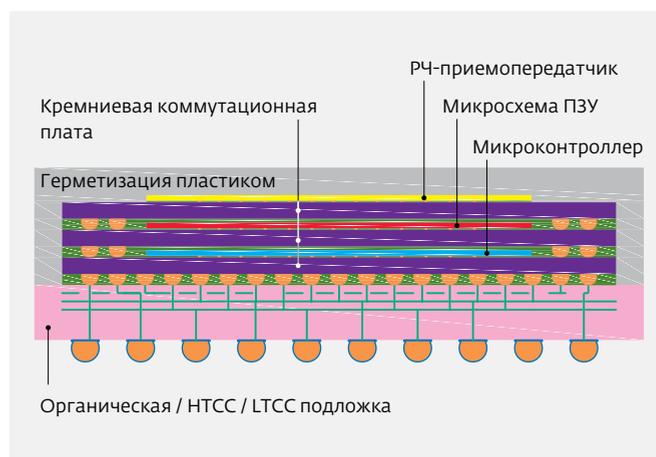


Рис.1. Конструкция 3DM на основе кремниевой коммутационной платы

<sup>1</sup> АО "ПКК Миландр", руководитель проекта, vankov.v@milandr.ru.

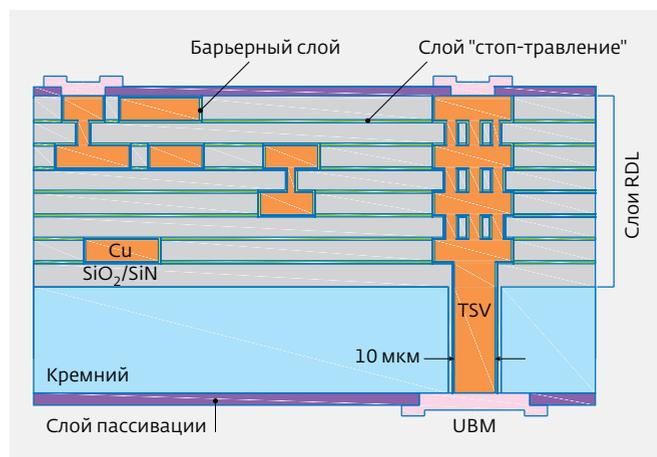
<sup>2</sup> АО "ПКК Миландр", заместитель генерального директора по производству, komkov.v@milandr.ru.

- микросхемы на поверхности или встроенные внутрь;
- фильтры;
- экраны;
- корпусированные микросхемы;
- разъемы;
- механические элементы.

Конструкция кремниевой коммутационной платы представлена на рис.2. К основным частям конструкции ККП относятся:

- кремниевая подложка;
- вертикальные проводящие каналы в кремнии (TSV);
- слой перераспределения сигналов (redistribution layer, RDL);
- внешние контакт-адаптеры (UBM);
- слои "стоп-травление";
- барьерные слои, ограничивающие диффузию меди в слои диэлектрика и кремния;
- нижний и верхний защитные слои пассивации;
- слои диэлектрика.

Кремниевая подложка – несущий материал, в котором устроены сквозные вертикальные каналы (TSV) для обеспечения электрического соединения уровней распределения и нижних выводов ККП.



**Рис.2.** Конструкция кремниевой коммутационной платы

RDL-структура представляет собой чередование слоев металлизации разводки и диэлектрика. RDL предназначены для обеспечения электрических соединений между компонентами, установленными поверх RDL, и нижними выводами ККП.

Внешние контакт-адаптеры (UBM) служат для обеспечения электрического соединения с низким

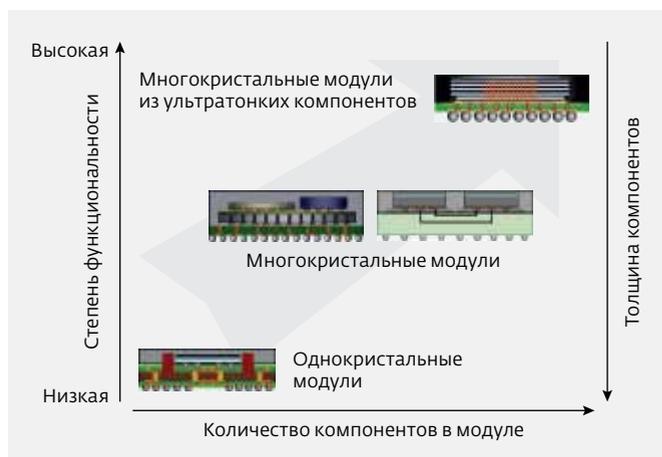


Рис.3. Основные типы 3DM

сопротивлением между контактными площадками ККП и припоем. Технологические слои "стоп-травление" используются в процессе формирования слоев RDL.

Нижний и верхний слои пассивации служат защитными оболочками слоев перераспределения и кремниевой подложки. Слои диэлектрика предназначены для изоляции уровней металлизации разводки RDL.

Выбор данной конструкции обусловлен возможностями технологий полупроводниковых приборов. Для технологии 3D базовая структура является определенной и реализуется всеми фабриками-изготовителями, отличия заключаются в материале подложки (кремний, стекло, органические материалы) и методах формирования TSV (BOSCH-процесс, лазер, сверление). Создание ККП предусматривает два этапа, последовательность которых зависит от конкретных требований: формирование TSV-каналов и слоев перераспределения.

Верхний слой металла ККП, пригодный для монтажа по технологиям разварка проволокой и/или flip-chip (перевернутый кристалл), обеспечивает возможность соединения разнообразных типов микросхем: кристалл с активными схемами, кристалл с пассивными схемами, компоненты для поверхностного монтажа, чувствительные элементы МЭМС, химические и биологические сенсоры и др.

Подложка корпуса (см. рис.1) – ключевой элемент в любом 3DM. Микросхемы могут быть соединены с подложкой и между собой посредством различных технологий, но наиболее широко используются flip-chip и разварка проволокой.

Основные функции подложки корпуса заключаются в обеспечении механического крепления для микросхем, коммутации сигналов между микросхемами и наружными выводами, размещении шин питания и земли, реализации интерфейсов модуля с элементами системы следующего уровня, регулировании температуры

модуля и защиты микросхемы от воздействия окружающей среды.

Подложки корпуса изготавливаются на основе многослойных тонкопленочных структур на полупроводниковых или керамических подложках, с нанесенными металлическими проводниками и диэлектриками, на основе толстопленочной многослойной керамической технологии и на базе полимерных материалов, с большим количеством слоев металлизации.

На практике применяются многочисленные варианты техники размещения кристаллов в 3DM (вертикальное, планарное) (рис.3), обеспечивающие гибкость конструирования и технологического процесса. Для таких типов конструкций требуются уникальные решения по отведению тепла с использованием интегрально-теплоотовода.

По сравнению с системой на кристалле (СНК) 3D СвК позволяет сочетать микросхемы, изготовленные по различным технологиям (например, Si, GaAs, SiGe, "кремний на изоляторе" (КНИ), МЭМС и др.). Несмотря на прогресс, за счет которого удастся улучшить параметры СНК, в связи с большими временными циклами перехода на новый технологический виток, требуемыми для внедрения СНК, зачастую предпочтение отдается СвК-подходу.

По сравнению с однокристалльными микросхемами, объединенными в систему, и другими многокристалльными системами 3DM имеют ряд преимуществ:

- меньшие размеры, поскольку микросхемы в модуле можно разместить близко одна к другой, а также использовать вертикальное направление (в системах с однокристалльными микросхемами большое неиспользуемое пространство корпусов);
- улучшенные электрические характеристики благодаря более коротким расстояниям между кристаллами микросхем и, следовательно, меньшей длине межсоединений;
- выше надежность из-за меньшего количества межсоединений.

В больших объемах 3DM также позволяют снизить расходы благодаря меньшему числу компонентов сборки.

Благодаря своим возможностям, 3DM находят широкое применение в аэрокосмической, медицинской, автомобильной и других отраслях.

Освоение технологии сборки 3D СвК – необходимый шаг на пути создания перспективных типов многофункциональных электронных устройств. Наряду с ведущими мировыми производителями электронных устройств компания "Миландр" модернизирует сборочное производство для внедрения технологии 3D СвК, что позволит создавать перспективные типы отечественной ЭКБ. ●