

Применение квалифицированных полупроводниковых некорпусированных кристаллов при разработке систем в корпусе

Николай Данилин, Димитр Димитров, Ильяс Сабиров (Москва)

Создание систем в корпусе (СвК) является одним из самых перспективных и экономически обоснованных путей создания микроминиатюрных электронных систем. Важнейшее значение при разработке и реализации СвК имеет выбор квалифицированных полупроводниковых кристаллов (КГД). В статье обсуждаются вопросы приобретения, стандартизации, сборки и тестирования КГД.

ВВЕДЕНИЕ

Электронная компонентная база (ЭКБ) относится к критически важным технологиям и оказывает определяющее влияние на технический облик и темпы развития космических систем. Западные партнёры предпочитают создавать новые космические системы на основе типовых гибридных узлов, т.н. системы в корпусе (СвК). Выбор кристаллов для них осуществляется по технологии Known to Good – выбираются заведомо хорошие кристаллы, прошедшие квалификационные испытания на производстве с нормами проектирования 0,25...0,5 мкм и имеющие срок хранения до 40 лет.

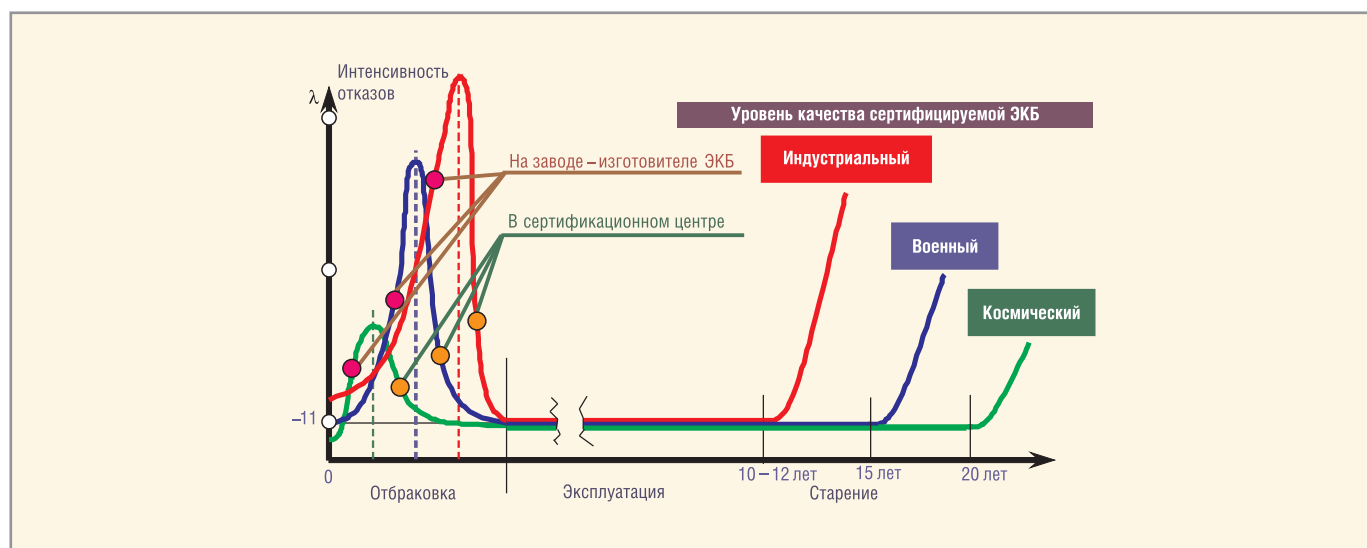
СвК – это новое поколение многокристалльных гибридных узлов. Основой СвК для космических систем является интеграция функций кристаллов ИС цифровой, аналоговой и

радиочастотной техники, активных и пассивных элементов, а также программного продукта на уровне системных достижений космического приборостроения (рисунок). Этим достигается резкое увеличение функциональных возможностей в единице объёма и массы при минимальном потреблении энергии. Кроме того, происходит уменьшение себестоимости проектов и сроков реализации за счёт сокращения циклов проектирования и квалификационных испытаний. Создаются интегрированные аналого-цифровые системы с новыми качественными показателями. Основой для применения перспективных кремниевых пластин в СвК могут стать достижения отечественных фирм НИИСИ РАН, НИИ им. Седакова (г. Нижний Новгород). Указанной зарубежной тех-

нологией владеет концерн «Аэрофлэкс» и его дистрибьютор в РФ ОАО «Космос-Комплект».

СвК – это реальный путь инновационного применения достижений современной микроэлектроники для создания наноспутников. Радиационная стойкость новых космических систем не может быть обеспечена классическими пассивными методами (экранирование и защита с помощью титановых и алюминиевых пластин) – слишком мала активная масса спутника, чтобы защита превосходила её в несколько раз. Поэтому радиационная стойкость обеспечивается специальным подбором полупроводниковых пластин, это, в том числе, и кремний на изоляторе (КНИ), и кремний на сапфире (КНС).

Вторым эшелонем радиационной защиты является корпус для СвК – керамический или металлокерамический, типа изготавливаемого фирмой «Киосера» (Япония). Авторами во взаимодействии с отечественными специалистами проработан комплекс вопросов по физической архитектуре систем в корпусе, системным требованиям к ним, специфике проектирования для космических объектов, вклю-



Качество ЭКБ космических систем

чая наноспутники, по сборке СвК, их надёжности и радиационной стойкости, эффективности и тестированию систем в корпусе. В данной статье обсуждается выбор некорпусированных кристаллов.

Применение СвК в ряде стратегических направлений, как, например, космическая и военная промышленность, определяется следующими факторами [1]:

- необходимостью интеграции цифровых, аналоговых и СВЧ-подсистем с МЭМС-модулями и тонко-/толстоплёночными схемами с целью получения максимальной функциональности в единице объёма;
- требованиями к уменьшению габаритов изделий и снижению их веса;
- тенденцией реализовать тестопригодные системы ещё на уровне разработки проекта за счёт соответствующего применения функциональной декомпозиции по всем уровням системной иерархии и использования унифицированных и апробированных технических решений;
- необходимостью повышения технологичности и надёжности выпускаемых изделий;

- требованиями к существенному снижению расходов на разработку, испытания и производство электронных микросистем.

Важнейшее значение при разработке и реализации СвК имеет выбор KGD, а также технология их установки в СвК [2]. Впервые монтаж полупроводниковых бескорпусных элементов (bare die – кристаллов) совместно с другими компонентами на общей подложке был выполнен в 1960 г. Эта технология оставалась на исследовательском и экспериментальном уровне вплоть до середины 1990-х, когда с появлением новых подходов к корпусированию промышленность приступила к созданию микросистем в корпусе.

Сегодня в перечень микроэлектронных изделий, которые поставляются потребителям, входят следующие типы квалифицированных кристаллов [3]:

- бескорпусной кристалл с алюминиевыми или золотыми контактными площадками (сигнальные и питания), готовый к разварке (bondable die);
- бескорпусной кристалл, распаянный на подложке (или микроплате), COB (chip-on-board);

- полупроводниковые пластины (wafer level packaged die) с механической защитой поверхности кристаллов, со встроенными межсоединениями между портами ввода/вывода и площадками питания либо с возможностями модификации этих соединений.

Целью настоящей статьи является обзор основных вопросов, связанных с применением KGD в СвК для нужд космической и военной промышленности:

- производители, приобретение и особенности KGD;
- вопросы стандартизации KGD;
- вопросы технологий сборки и тестирования KGD.

Производители, приобретение и особенности KGD

Ввиду недостаточной информации и опыта приобретения KGD отечественного производства, в статье обсуждается практика NASA и МО США. В США KGD предлагают фирмы AMI Semiconductor, Aeroflex, Avago Technology, Infineon Technology, NXP, Intel, Freescale, IBM, LSI Logic, Samsung

Electronics, Texas Instruments, Analog Devices, Linear Technology, AMD, Catalyst, National Semiconductor, Maxim, Signal Process и др. Проблемы приобретения связаны с тем, что, во-первых, большинство предлагаемых KGD не соответствуют квалификациям QML Q/V и, во вторых, связь с производителями достаточно сложная по ряду причин.

Следует отметить, что в 1995 г. для нужд ВПК США была создана ассоциация производителей KGD под названием Die Product Consortium (DPC), в которую входит большинство указанных выше производителей. До 1995 г. вся KGD-инфраструктура была связана только с программой DARPA MO США. В 1999 г. появилась программа DPC по расширению рынка многокристалльных сборок, а с 2000 г. DPC превратилась в орган стандартизации в области KGD. «Дорожная карта» DPC построена на двухгодичных циклах. В ней отдельное место занимает практическое развитие технологии СвК. Для этого в консорциуме создана SiP Project Team (Группа по развитию СвК). В задачи группы входит методологическое и технологическое развитие СвК, обмен информацией между членами консорциума, работа с партнёрами вне консорциума в области технологии, рынка и др.

Первым шагом до приобретения KGD является выбор потенциального производителя, который проводится либо по методике Jet Propulsion Laboratory – Electronic Parts Engineering Office (для NASA), либо по методике MO США MIL-STD 1388-1A Logistic Support Analysis и IEC 62258 Semiconductor Die Products: Requirements for Procurements and Use. Выбор сводится к следующим основным процедурам:

- первоначальный выбор производителя на базе информации о коммуникативности, технологичности, цене изделия и др.;
- определение изделия в продуктовой линейке производителя;
- ознакомление с технологическими особенностями производства пластин, из которых или на которых поставляется изделие;
- ознакомление с особенностями разработки изделия;
- анализ параметров системы качества, действующей на предприятии;
- анализ системы обеспечения надёжности изделия;
- анализ тестовой среды и технологии испытаний изделия;

- анализ системы отбраковки.

В ассортименте предлагаемых на рынке кристаллов KGD самый большой класс составляют т.н. кристаллы на подложке, или COB (chip-on-board). Это бескорпусные кристаллы, которые распаяны (проводами или BGA) на подложке для межсоединений. Они отличаются следующими характеристиками:

- кристалл установлен на подложке (или на микроплате);
- кристалл приклеен к подложке при помощи токопроводящей или изоляционной эпоксидной пасты с соответствующим составом;
- кристалл электрически присоединяется к подложке разваркой траверов;
- кристалл капсулирован защитным покрытием.

В связи с этим процесс сборки COB достаточно простой и включает три основных этапа – закрепление кристалла на подложке, разварка электрических проводов и капсулирование. Следует отметить, что разработка COB является критичной как к области применения кристалла, так и к компонентам поверхностного монтажа, которые требуется установить на той же подложке.

ВОПРОСЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ

В 1993 г. программа MO США DARPA (Defense Advanced Project Agency) начала разработку первого стандарта по приобретению и распространению KGD-изделий, который теперь является индустриальным стандартом JESD 49 Procurement Standard for Known Good Die (KGD). К настоящему моменту список KGD-стандартов дополнен материалами:

- J-STD-12 (Implementation of Flip Chip and Chip Scale technology);
- J-STD-26 (Semiconductor Design Standard for Flip Chip Applications);
- J-STD-28 (Performance Standard for Construction of Flip Chip Scale Bumps);
- EDR-4703 (Quality assurance guidelines for bare die including KGD);
- ES 59008 (Data requirements for semiconductor die);
- IEC 62258 (Semiconductor Die Products: Requirements for Procurements and Use).

Все эти стандарты требуют детального ознакомления, но необходимо обратить внимание на два из них в связи с небольшим опытом в области

СвК и KGD в отечественных разработках. Стандарт ES 59008 Data requirements for semiconductor die определяет, какие данные о KGD должен предоставлять производитель потребителю для принятия решения о применении выбранного KGD, а именно:

- данные по идентификации продукта и прослеживанию истории его создания;
- технические характеристики продукта;
- конструктивные параметры кристалла;
- данные по тестированию, качеству и надёжности кристалла;
- требования к условиям работы с кристаллом, его хранению и установке в сборках;
- термодинамические и электрические характеристики кристалла в различных режимах его эксплуатации и в различной окружающей среде в соответствии с техническими условиями его применения.

Стандарт IEC 62258 Semiconductor Die Products: Requirements for Procurements and Use определяет вопросы поставки и применения KGD-изделий следующих типов: пластины, кристаллы, готовые к разварке, кристаллы и пластины с подсистемой межсоединений и частично капсулированные кристаллы. Стандарт также определяет минимальные требования к:

- данным, сопутствующим поставляемым KGD;
- условиям и процедурам работы, хранения и транспортировки KGD.

ВОПРОСЫ ТЕХНОЛОГИИ СБОРКИ И ТЕСТИРОВАНИЯ KGD

Кристаллы, применяемые в СвК, могут быть расположены как в планарном монтаже, так и в 3D-сборках на общей подложке. При этом высота таких сборок является весьма критичным параметром конструкции СвК. При стыковке до 8 – 10 кристаллов современная технология позволяет выполнить сборку высотой порядка 1,2 мм, но требования миниатюризации уже ограничивают высоту сборки до 0,8...1 мм. Это, в свою очередь, ставит ряд ограничений на размеры шариков пайки и петель электропроводов для распайки, на толщину подложки и капсулирующего покрытия.

Все кристаллы производятся на пластине толщиной около 350×10^{-6} мм. Чтобы реализовать сборку из восьми

кристаллов, пластина изначально утончается до 50×10^{-6} мм. Для этого применяются несколько методов – механическое полирование, химико-механическое полирование, мокрое или сухое травление и плазменная обработка. После такой обработки механическая прочность пластины (и кристалла в частности) сильно уменьшается, и при дальнейшей обработке весьма вероятно появление трещин и зон с внутренними напряжениями. По этой причине тестирование и отбраковка после утончения пластин обязательны для производственных процессов с применением KGD.

В 3D-компоновках кристаллы могут быть разного размера. Поэтому применяется непосредственная пирамидальная стыковка (при кристаллах разного размера) или стыковка с прокладками (interposer) при кристаллах одного размера. Точность стыковки ухудшается из-за разных коэффициентов адгезии отдельных кристаллов.

Разварка электрических соединений для KGD также отличается существенными ограничениями. Так, например,

стандартный изгиб разварки имеет высоту $(150...170) \times 10^{-6}$ мм, а в случае KGD этот размер меньше 100×10^{-6} мм.

Технология сборки KGD, хотя и достаточно точно определена, требует внимательной проработки в каждом отдельном случае и является всегда проблемно ориентированной.

Тестирование KGD является частью общего тестирования СвК-изделий, что определяет ряд особенностей при создании тестового подхода [4]. Если тестирование и отбраковка прошли успешно на уровне пластины и/или кристалла на фабрике производителя и соответствующие данные испытаний переданы потребителю, то тестовая технология для собираемого на базе KGD изделия должна использовать эти данные, а конструкция СвК должна быть тестопригодной с учётом её функционально независимых блоков (KGD).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение KGD-кристаллов в СвК – эффективный путь к инновационным разработкам в микроэлектронике. Технология KGD используется повсеместно в военных и космических техноло-

гиях. Многие мировые производители предлагают KGD-продукты. Требования к ним, а также к условиям их приобретения, работе с ними, условиям их хранения и транспортировки стандартизованы в США и Европе. Технология применения KGD в СвК изделиях достаточно хорошо апробирована, и ведущими производителями накоплен уже 15-летний опыт.

Несмотря на достаточно хорошую обусловленность задачи применения квалифицированных кристаллов в СвК, от потенциального потребителя требуется достаточный опыт и необходимый уровень взаимодействия с производителями KGD и СвК.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Tummala R.* Fundamentals of Microsystems Packaging, Georgia Inst. of Technology, Atlanta, 1999.
2. *Smith L., Tessier T.* Stacked Chip-Scale Packages: They are Not Just for Cell Phones Anymore! Chip Scale Review. July, 20001.
3. *Bublmann P., Truncellitto D.* The back-end process. Advanced Packaging. March, 2003.
4. *Williams T., Brown N.* Defect Level as a Function of Fault Coverage. Pereprit, MIT, 2002. ☺

Новости мира News of the World Новости мира

Антенны с метаматериалом в 50 раз меньше длины волны

Национальный институт стандартов и технологий (National Institute of Standards and Technology, NIST) совместно с Университетом Аризоны (University of Arizona) и исследовательским подразделением корпорации Boeing (Boeing Research & Technology) разработал и протестировал экспериментальные антенны, которые значительно меньше стандартных, но обладают такими же характеристиками. Сферой их использования должны стать миниатюрные беспроводные устройства, такие как приборы для экстренной связи, микросенсоры и портативные радары для поиска пещер. В конструкции применены метаматериалы – структуры со свойствами, которые не встречаются в природных условиях. Новые антенны излучают до 95% входящего сигнала. Если стандартная антенна должна достигать хотя бы половины длины волны для эффективной работы (например, при частоте 300 МГц необходимая длина будет 0,5 м), то экспериментальная может быть в 50 раз меньше, и это не предел.

В последнем прототипе инженеры использовали напечатанную на медной квадратной площадке проволочную антенну, длина стороны составила менее 65 мм. На обратной поверхности площадки находится выступаю-

щий в роли метаматериала «Z-элемент» – полоска из меди с индуктором в центре. Как объясняет Кристофер Холлоуэй (Christopher Holloway) из NIST, назначение антенны – «запуск энергии в открытое пространство», но проблема с миниатюрными по сравнению с длиной волны устройствами в том, что большая часть сигнала отражается обратно к источнику. Метаматериал заставляет антенну действовать так, будто она намного крупнее. Конструкция с индуктором хранит энергию и переизлучает её. В обычных антеннах подобный эффект может быть достигнут путём добавления больших согласующих компонентов. Кроме того, новая разработка может быть настроена на любую частоту на лету.

physorg.com

Оптическая «оперативка» как способ снизить энергопотребление ИС

Бельгийские исследователи из компании IMEC, подразделения Университета Гента (Ghent University), предложили интересную возможность для снижения потребляемой мощности микросхем оперативной памяти, – ими опубликован доклад с предложением разместить на обычном кремниевом кристалле микросхему оптической оперативной памяти. Ноу-хау планируется применять в оп-

тических телекоммуникационных системах – в этом случае отсутствует необходимость в конвертации оптического сигнала в электрический и обратно, за счёт чего и осуществляется снижение потребляемой интегральными микросхемами мощности.

По проекту бельгийских разработчиков, оптическая оперативная память будет изготавливаться из индий-фосфидных лазеров, имеющих дисковую форму и диаметр всего 7,5 мкм. Лазерное излучение в этом случае будет распространяться в двух взаимно противоположных направлениях, а переключение между двумя режимами работы лазера осуществляется при помощи коротких импульсов оптического излучения.

Интересной особенностью оптической памяти с произвольным доступом является использование кремниевых волноводов, которые соединяют в единую систему различные ячейки памяти. Это позволяет изготавливать интегральные микросхемы с применением известных технологий, оперирующих с кристаллами кремния, что снижает себестоимость готовой продукции. Но насколько существенной окажется экономия электроэнергии – пока неизвестно, остаётся под вопросом и себестоимость оптической памяти, и готовность технологии к серийному производству.

EE Times