

ТРЕХМЕРНЫЕ МНОГОКРИСТАЛЬНЫЕ МОДУЛИ НА ГИБКОМ ОСНОВАНИИ

Новое конструктивно-технологическое решение, предназначенное для создания многокристального модуля в трехмерном исполнении на гибком полиимидном основании, повышает быстродействие и улучшает массогабаритные показатели электронных модулей памяти. В современных условиях микроминиатюризации весьма перспективными представляются многокристальные модули (МКМ) в трехмерном (3D) исполнении с использованием бескорпусной элементной базы.

Конструктивно-технические возможности МКМ закладываются на этапе проектирования, проводимого с учетом современных достижений технологии высокоплотного монтажа [1,2].

Конструирование радиоэлектронной аппаратуры с использованием трехмерных многокристальных модулей (МКМ-3D) представляет собой новый этап в развитии способов конструирования и изготовления двумерных многокристальных модулей (МКМ-2D).

Внедрение МКМ-3D в современную аппаратуру позволяет на более высоком качественном уровне решать следующие задачи: увеличение плотности компоновки комплектующих изделий на исходной монтажной подложке; улучшение рабочих характеристик устройства (снижение времени задержки прохождения сигнала по коммутационным связям и, как следствие, значительное увеличение быстродействия); уменьшение стоимости готового изделия [3].

При внедрении способов проектирования радиоэлектронной аппаратуры с использованием МКМ-2D сегодня возникает ряд принципиальных трудностей, преодолеть которые с помощью имеющихся технологий невозможно. В первую очередь эти трудности связаны с дальнейшим повышением коэффициента компоновки комплектующих изделий на монтажной подложке. Этот показатель определяется как отношение суммарной площади комплектующих изделий, размещаемых на монтажной подложке, к площади самой подложки.

Проектирование многокристальных модулей МКМ-2D, а тем более малогабаритных МКМ-3D, к которым предъявляются высокие требования по монтажной плотности, помехозащищеннос-

А.Грушевский, д.т.н., Г.Блинов, д.т.н.,
С.Семенов, к.т.н., П.Жуков
mg@miee.ru

ти и быстродействию, технически возможно только при использовании современных САПР.

Наиболее перспективными САПР, отвечающими современным требованиям проектирования высокоплотных систем, таких как МКМ-3D, являются программные пакеты компании Mentor Graphics – мирового лидера в области проектирования электронных средств [4]. Именно использование пакетов DxDesigner, Expedition PCB и Hyper Lync, а также новые технологические решения позволили успешно освоить предлагаемый конструктивно-технологический вариант МКМ-3D. В разработке применены следующие пакеты и программы:

- программный пакет проектирования принципиальных электрических схем, интегрированный с библиотечным и топологическим пакетами и обеспечивающий единую среду создания проекта, возможность многовариантного проектирования, задания электрических и топологических ограничений уже на начальных этапах;
- программный пакет проектирования многоуровневых полиимидных монтажных оснований, включающий интерактивную и автотрассировку, "горячую" (в реальном времени) связь с пакетом электрических схем, индивидуальную настройку цепей и областей с заданными ограничениями, трассировку дифференциальных пар и высокоскоростных сигналов, поддержку технологии микропереходов, удобство в работе с экранными областями, качественную проверку топологии в процессе и по окончании проектирования. При этом обеспечена возможность генерации необходимых данных для производства (включая получение мультизаготовок), для выпуска конструкторской документации в соответствии с ЕСКД и для связи с машиностроительными САПР (включая трехмерное моделирование);
- программный пакет предварительного анализа целостности сигналов, перекрестных наводок, электромагнитной совместимости на уровне принципиальной схемы и полный посттрассировочный анализ с учетом параметров, экстрагированных из топологии. Пакет обеспечивает точное моделирование

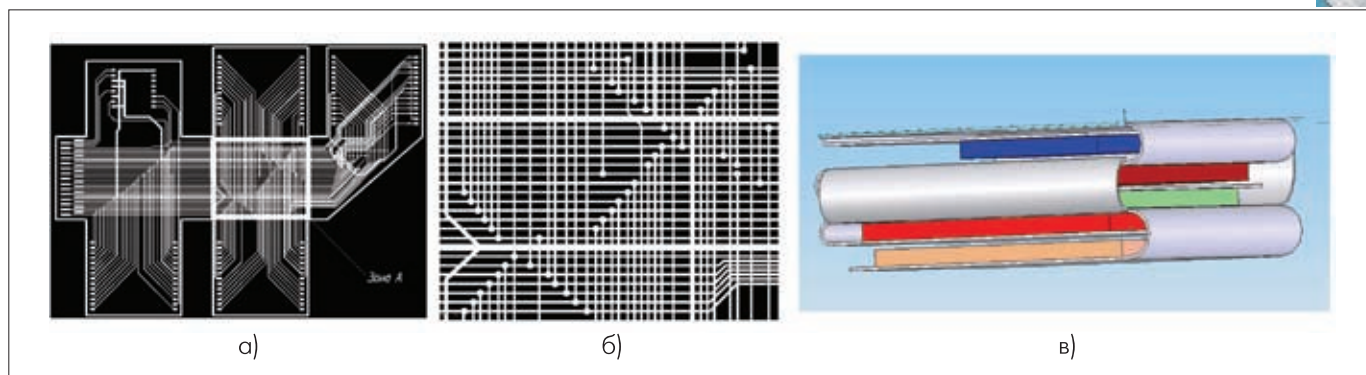


Рис. 1. Плата МКМ на полиимидной пленке: а) топология платы до свертки; б) увеличенный фрагмент платы в зоне А; в) эскиз платы с установленными кристаллами после свертки

передающих линий с потерями, включая анализ скин-эффекта и потерь в диэлектрике.

Гибкие полиимидные платы весьма перспективны при создании электронных средств, поскольку с их помощью можно получить прецизионные многослойные структуры, способные свертываться в трех плоскостях и принимать форму корпуса сложной конфигурации при монтаже. При этом гибкие платы характеризуются высокими стойкостью к перегибам и ударопрочностью, а также малыми габаритами и массой [3].

Применение гибких плат сокращает монтаж в несколько раз, удешевляет производство на 40–45%, уменьшает вес и габариты изделия на 30–50%.

Широкому внедрению гибких плат способствовали разработка и использование полиимидной пленки с высокой температурой устойчивой работы (до 570К). Кроме того, полиимидная пленка обладает хорошими электрическими и физико-механическими свойствами. Величина тангенса угла диэлектрических потерь (0,002) и диэлектрическая постоянная (~3,0) отвечают требованиям к материалам, используемым при создании быстродействующих систем. Отсутствие существенных газовыделений при термовакуумном воздействии, наряду с высокой химической (возможностью селективного равномерного травления в сильных щелочных средах) и радиационной устойчивостью, делают полиимидную пленку перспективной для создания многокристальных модулей МКМ на основе многослойных плат и бескорпусных СБИС на гибком носителе.

Выбор материала и конструктивно-технологического варианта исполнения МКМ определяет способ проектирования платы. Таким образом, плата первоначально проектируется, как при двумерном (плоском) варианте исполнения (рис.1а), с последующим анализом помехозащищенности в трехмерном исполнении. На этапе сборочно-монтажных операций полиимидную плату со смонтированными на ней микросхемами сворачивают в трехмерную структуру. Результат свертки представлен на рис.1в. Размер МКМ в свернутом виде по монтажной площади не превышает площади одного из используемых кристаллов (максимального) более чем на 20%, а по высоте определяется числом используемых кристаллов, предварительно утоненных до 200 мкм каждый.

Технологии создания коммутационной полиимидной платы и сборки бескорпусных микросхем на гибких носителях отработаны хорошо [3], однако вопросы монтажа БИС на полиимидную плату и обеспечения устойчивости коммутационных соединений к перегибам при свертывании в 3D-конструкцию требуют решения.

В случае, когда применяется тонкая полиимидная пленка (20–40 мкм), обостряется проблема, связанная с температурой при монтаже, так как в такой конструкции тепловой импульс распространяется только по плоскости, а полиимид характеризуется низкой теплопроводностью.

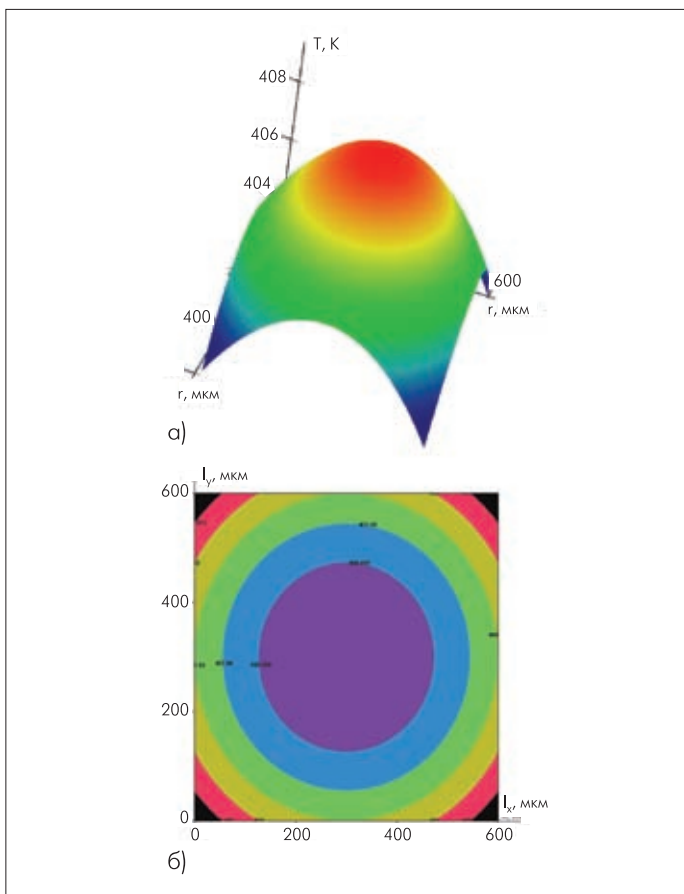


Рис.2. Характеристическое распределение температуры в пределах контактной площадки на полиимидной плате при односторонней контактной сварке сдвоенным электродом: а) изометрия распределения температуры по КП; б) градиент температуры по осям КП

Поэтому очень важно выбрать параметры для монтажа, чтобы избежать некачественного сварного соединения и отслоения контактных площадок (из-за локальной термодеструкции полиимида) и обеспечить высокопрочные соединения. Были получены оптимальные режимы при монтаже БИС в составе МКМ (см. таблицу и рис.2) [5]. При проектировании МКМ очень важно обеспечить устойчивость плат МКМ к многократным перегибам при свертывании в 3D-конструкцию.

Таблица. Различные способы микроконтактирования

Способ контактирования	Усилие отрыва $F_{ср}$, Н	Дисперсия s , Н	Метод испытания
Исходное состояние (ПМВ на выводе гибкого носителя)	0,77	0,12	Сдвиг
Односторонняя контактная сварка сдвоенным электродом: монтаж с КП гибкой платы имитация	0,22 0,77	0,02 0,12	Отрыв Сдвиг
Сварка косвенным импульсным нагревом: монтаж с КП гибкой платы имитация	0,20 0,74	0,03 0,12	Отрыв Сдвиг
Микропаяльник: монтаж с КП гибкой платы имитация	0,20 0,73	0,04 0,12	Отрыв Сдвиг

Исследование устойчивости шлейфовых участков плат к перегибам проводилось расчетным и экспериментальным путем с использованием регрессионного анализа. Было доказано, что критическим выходным параметром в данной задаче является минимальный радиус кривизны в месте перегиба. Установлено также, что устойчивость плат во многом зависит от соотношения толщин проводящих и изоляционных слоев в конструктиве. При этом такая зависимость является характерной как в области упругой, так и пластической деформаций проводящих слоев [6].

Чтобы улучшить механические параметры многокристального модуля в трехмерном исполнении, на этапе сборочно-монтажных операций шлейфовые участки покрывают по всей длине полукружности перегиба жестким полиакриловым клеем. В результате удается уменьшить величину напряженно-деформированного состояния до 32,8 МПа, величина же напряженно-деформированного состояния для модуля без применения защитного покрытия составляет 100 МПа. Для улучшения механической прочности трехмерной конструкции остальные участки гибкой платы покрывают герметиком ВК-9 [7, 8].

На основе изложенных принципов проектирования и технологии изготовлен ряд высокоинтегрированных электронных систем, в том числе многокристальные модули статической памяти в 3D-исполнении (рис.3). Так, на базе кристаллов 1537PY30 (память 256 Кбит – разработка ОАО "НИИМЭ" и завод "Микрон") спроектированы и изготовлены многокристальные модули памяти 1 Мбит. На основе кристаллов 1645PY1Y (память 1 Мбит – разработка ЗАО "НПЦ Миландр") спроектированы и изготовлены МКМ памяти 4 Мбит. В настоящее время на основе кристаллов 4 Мбит разрабатывается МКМ-256 Мбит.

С помощью многокристальных модулей в 3D-исполнении, спроектированных и изготовленных по предложенному конструктивно-технологическому решению, удалось в 1,2 раза повысить быстродействие и в 5,4 раза уменьшить габариты по сравнению с аналогами в двумерном исполнении, изготовленными на основе корпусной элементной базы.

Широкий ассортимент электронных модулей и блоков предназначен для наземной и бортовой аппаратуры. Проектирова-

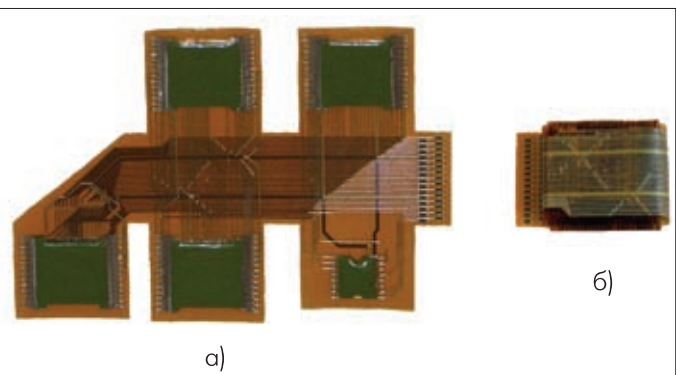


Рис.3. Многокристальный модуль памяти на гибком полиимидном основании в трехмерном (3D) исполнении: а) МКМ до свертки (2D-исполнение); б) МКМ после свертки (3D-исполнение)



ние, в том числе многоуровневых структур, выполняется как на жестких, так и на гибких платах. Творческий коллектив (МИЭТ, ЗАО "НИИМП-Т" и ОАО "Завод "Компонент") открыт для сотрудничества со всеми заинтересованными сторонами в следующих направлениях: выполнение заказных работ, предоставление в аренду лицензионных пакетов ПО, стажировка и повышение квалификации как по проектированию, так и технологии изготовления высокоинтегрированных структур.

Сегодня ведется сотрудничество с такими предприятиями как ФГУП НПЦ "Спурт", ОАО "Завод "Компонент", ЗАО НТЦ "Элинс", ОАО "Ангстрем", ООО "Юник Ай Сиз", ЗАО НПО "Элак".

ЛИТЕРАТУРА

1. **Anderson J.B., Anderson P.M., Eden M.** et al. *Advanced Electronic Packaging* / Edited by William D. Brown. – New York: IEEE Press, Inc., 1999. – 791 p.
2. **Грушевский А.М., Блинов Г.А., Семенов С.Н., Жуков П.А.** Многокристальные модули памяти в трехмерном исполнении на полиимидном основании. – МИЭТ, Электроника и информатика – 2005. V Международная научно-техническая конференция. Зеленоград, 23-25 ноября 2005 г. – С. 221-222.
3. **Грушевский А.М.** Сборка и монтаж многокристальных модулей: Уч. пособие / Под ред. Л.А. Коледова. – М.: МИЭТ, 2003. – 196 с.
4. **Грушевский А.М., Лохов А.Л., Тимошенко С.П.** Учебно-научный центр проектирования Mentor Graphics – МИЭТ". Настоящее и перспективы. – Производство электроники: технологии, оборудование, материалы электроники, 2008, № 1.
5. **Семенов С.Н., Жуков П.А., Карвасарный В.В., Грушевский А.М.** Особенности технологии прецизионного монтажа на полиимидных платах. – Электроника. Известия высших учебных заведений, 2005, №6, с. 36–40.
6. **Поголов А.И., Грушевский А.М., Семенов С.Н., Блинов Г.А.** Моделирование и прочностной анализ гибких шлейфов. – Оборонный комплекс. Научно-техническому прогрессу России, 2006, № 1, с. 49–54.
7. **Поголов А.И., Грушевский А.М., Блинов Г.А., Жуков П.А.** Моделирование и прочностной анализ многокристального модуля в трехмерном исполнении. – Оборонный комплекс. Научно-техническому прогрессу, 2007, №2, с. 46–51.
8. **Поголов А.И., Грушевский А.М., Блинов Г.А., Жуков П.А.** Исследование напряженно-деформированного состояния материалов гибких шлейфов. – Электроника. Известия высших учебных заведений, 2007, №5, с. 13–17.