



ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ВНУТРЕННЕГО МОНТАЖА

В ПРОИЗВОДСТВО РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УЗЛОВ

Е.Назаров
cret-vm@yandex.ru

Разработка и производство радиоэлектронной аппаратуры с использованием технологии внутреннего монтажа – одно из основных направлений Центра радиоэлектронных технологий Московского радиозавода "Темп". Центр также осуществляет технологическое перевооружение радиоэлектронных предприятий, начиная с переработки изделий заказчика по технологии внутреннего монтажа и заканчивая поставкой всего комплекса технологического оборудования.

Изменение технологии сборки и монтажа радиоэлектронных узлов — переход от технологии поверхностного монтажа корпусных микросхем к технологии монтажа «голых» кристаллов микросхем внутрь основы функционального радиоэлектронного блока (внутреннему монтажу) — способно значительно снизить затраты на производство радиоэлектронной аппаратуры и резко уменьшить вредное воздействие на экологию электронных и радиоэлектронных производств.

Еще в конце 1980-х—первой половине 1990-х годов стала очевидной техническая и экономическая нецелесообразность ремонта сложных радиоэлектронных функциональных блоков на печатных платах: затраты на выявление и устранение дефекта стали превышать себестоимость функционального блока, а рабочий ресурс отремонтированного блока был ниже, чем у блока, не подвергавшегося ремонту.

Ситуация осложнилась после 2004 года в связи с введением в действие директивы RoHS, запрещающей применение свинца в радиоэлектронной аппаратуре, поставляемой на европейские рынки. Большинство бессвинцовых припоев имеют увеличенную по сравнению со свинцово-оловянными припоями температуру плавления, что заставляет производителей РЭА увеличивать температуру прогрева печатных узлов при пайке, в результате чего увеличивается выброс в атмосферу продуктов перегрева печатных плат, в том числе фенола. Более того, дополнительный нагрев электронного узла формирует дополнительные скрытые дефекты в структурах печатных плат, корпусах микросхем и паяных соединениях, т.е. увеличивается число отказов электронных блоков, а это ведет к увеличению общей потребности в радиоэлектронной аппаратуре и ее элементах замены.

Известно, что само производство полимерных печатных плат и корпусов микросхем оказывает вредное

влияние на окружающую среду. Поэтому устранение корпусов микросхем и замена полимерных плат на металлические (керамические, стеклянные и т.п.) основания в технологии внутреннего монтажа электронных блоков положительно скажется на экологии.

Для России внедрение технологии внутреннего монтажа радиоэлектронных блоков — единственно возможный путь сохранения отечественной электроники вообще. Россия обладает большим объемом схемотехнических и программных наработок во всех областях радиоэлектронной отрасли. И не использовать эти наработки не только не разумно, не по-хозяйски, но и самоубийственно. И поэтому сегодня в России задача реализации ценных имеющихся схемотехнических решений по технологии внутреннего монтажа кристаллов требует немедленного решения.

Искусственно воспитанное в нас (работниках радиоэлектронных отраслей) представление об «отсталости» отечественной схемотехники по причине использования в ней устаревшей элементной базы в корне неверно, а отставание в развитии элементной базы относительно и устранимо. Необходимо только перераспределить ресурсы в пользу развития кристалльного производства и производства функциональных радиоэлектронных блоков методом внутреннего монтажа. Это позволит, с одной стороны, обновить и использовать конкурентоспособные наработанные ранее схемные и программные решения, а с другой, — сосредоточиться на действительно важном направлении — функциональном развитии кристалльной элементной базы. Надо решительно оставить в прошлом корпуса микросхем и полимерные печатные платы. Это даст огромную экономию средств и упростит задачу функционального развития электронной и радиоэлектронной отраслей.

НОВЫЙ СПОСОБ ВНУТРЕННЕГО МОНТАЖА СВЧ-КРИСТАЛЛОВ В ТЕЛО ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ БЛОКОВ

Технология внутреннего монтажа — это монтаж «голых» кристаллов в тело основы функционального радиоэлектронного блока. Корпусирования микросхем в данном случае не требуется, так как корпусом служит сама основа радиоэлектронного блока. Основа исполняет также и роль печатной платы после напыления через технологическую маску токоведущих дорожек радиоэлектронной схемы. При дальнейшем напылении рисунка схемы происходит соединение контактных площадок кристаллов с токоведущими дорожками блока. Ни сварка, ни пайка для этого не требуются. Однако электронный блок состоит не только из микросхем и полупроводниковых приборов, расположенных в данном случае в теле основы. Пассивные и прочие элементы, входящие в состав радиоэлектронного блока, монтируются на поверхность основы, как элементы поверхностного монтажа. Описанная выше конструкция обладает массой положительных свойств.

Внутренний монтаж — это высокое быстродействие, стабильность частотных характеристик, отсутствие паразитных явлений индуктивной и конденсаторной природы, высокая надежность, нечувствительность к внешним несанкционированным электромагнитным воздействиям, удобный теплоотвод, высокая вибростойкость и т.д.

Технология внутреннего монтажа нашла отражение в военном стандарте (ОСТ В11 1009-2001 «Микросборки и многокристальные модули»), имеет радиационно стойкое исполнение и прошла натурные испытания.

Отечественный вариант внутреннего монтажа до настоящего времени включал следующие этапы:

— В керамической, ситаловой, поликоровой, кремниевой или алюминиевой (с последующим анодированием) пластине лазером выжигали сквозные отверстия размерами, чуть превышающими размеры кристаллов. Так получали основание функционального радиоэлектронного блока.

— На ровную поверхность расстилалась 12-мкм пленка из мягкого, адгезионного полиимида (производитель НИИ пластмасс, Москва). На пленку накладывалось основание функционального блока с отверстиями под кристаллы.

— В отверстия основания лицевыми (активными) сторонами вниз закладывались кристаллы (цифровые, аналоговые, МЭМС, СВЧ и т.д.). Кристаллы могли иметь разную толщину, но их активные (лицевые) стороны оказывались в одной плоскости с нижней стороной основания.

— На всю поверхность основания и кристаллов, расположенных в него, прикладывалось механическое давление 5 атм. Одновременно сборка прогревалась до 350°C, в результате чего полиимидная адгезионная пленка ламинировалась к нижней стороне основания и лицевым сторонам всех кристаллов.

— Сборка переворачивалась. Все кристаллы при этом оказывались повернутыми контактными площадками вверх, но были закрыты полиимидной пленкой.

— Чтобы освободить контактные площадки ИС от слоя полиимида, поверхность сборки накладывалась коваровая маска с соответствующими отверстиями. Через маску методом ионно-химического травления полиимид над контактными площадками стравливался, после чего маска снималась с поверхности сборки.

— Далее на поверхность сборки накладывалась коваровая маска с прорезями для напыления через них токоведущих дорожек. Чтобы не допустить подпыления, маска плотно прижималась к основе и поверхностям кристаллов с помощью магнитного столика. Напыление проводников Ti-Cu-Ni на поверхность полиимидной пленки и контактных площадок ИС проводилось в вакуумной установке.

— Аналогично можно сформировать до 30 слоев разводки, однако на практике для разводки самых сложных схем хватает двух-трех слоев. Диаметр переходных отверстий не превышает ширину проводников, которая обычно составляет 50, 70 мкм. На верхнем слое разводки формируются также контактные площадки для монтажа пассивных компонентов — резисторов, конденсаторов и др.

— На контактные площадки электронного блока наносится припойная паста, устанавливаются чип-компоненты и паста оплачивается.

— Поскольку напыленный никель позволяет практически неограниченное число раз производить перепайку, а надежность всего блока высока, то наряду с контактными площадками на поверхности радиоэлектронного узла формируют ламели, с помощью которых узел монтируется на коммутационную объединительную плату.

Однако за последние 10–15 лет в радиоэлектронике произошли значительные изменения:

- увеличались рабочие частоты СВЧ-узлов, а это потребовало улучшить теплоотвод;
- разработаны новейшие кристаллы МЭМС и СВЧ-ИС, имеющие нано- и наногетероструктуры. Монтаж таких кристаллов традиционными методами ультразвуковой или термокомпрессионной сварки малопродуктивен, а иногда и вовсе невозможен;
- прекратилось производство мягкого адгезионного полиимида.

В связи с произошедшими изменениями предлагается новый способ внутреннего монтажа функциональных радиоэлектронных блоков, в котором вместо полиимидной пленки используется поли-пара-ксилиленовое (париленовое) покрытие. Семи-восьмимикронная пленка ди-пара-ксилилена (парилена) осаждается на поверхность основы функционального блока в вакууме при температуре 7–28°C (ТУ-6.14.50.91). Технология осаждения парилена широко известна как технология влагозащитных покрытий радиоэлектрон-



ных модулей бортовых, корабельных, наземных радиоэлектронных комплексов, транспортных средств, работающих в условиях повышенной влажности в соответствии с требованиями ГОСТ 20.39.304-98 (группа эксплуатации 2.1-2.05) и ОСТВ 104.460007.008-2000 «Военный стандарт отрасли. Аппаратура радиоэлектронная. Сборочно-монтажное производство. Покрытия на основе поли-пара-ксилилена, поли-хлор-пара-ксилилена и комбинированные покрытия. Типовые технологические процессы». Парилен имеет: высокие сплошность и равномерность покрытия; электроизоляционные свойства в нормальных условиях $\rho_v=10^{17}$ Ом·см, $E=250$ кВ/мм, $\operatorname{tg} \alpha=0,0002$, $\xi=2,65$; низкую влаго- и газопроницаемость; рабочий диапазон температур от -100 до 150°C (при отсутствии кислорода — до 400°C); отсутствие внутренних напряжений; химическую инертность. Новый способ внутреннего монтажа имеет две разновидности: монтаж теплонагруженных узлов и монтаж теплоненагруженных узлов.

Процесс внутреннего монтажа теплонагруженных СВЧ-узлов имеет следующую последовательность операции:

— В кремниевом, нитриалюминиевом или алмазоподобном основании лазером или методом анизотропного скоростного ионно-плазменного травления вскрываются сквозные отверстия для последующей закладки кристаллов.

— В отверстия основания, размещенного на ровной поверхности, закладываются активной стороной вниз все кристаллы, входящие в состав функционального радиоэлектронного блока.

— Через коваровую (инваровую) маску на тыльные стороны кристаллов методом сверхзвукового газодинамического порошкового напыления наносится слой сплава МД40 (МД50). При этом происходит фиксация кристаллов в отверстиях основы. Разновысотность кристаллов компенсируется разницей во времени нанесения сплава.

— Если есть необходимость в дополнительном теплоотводящем основании, то оно (без отверстий, но с возможной силовой разводкой) напаяется на первое основание с помощью эвтектического припоя.

— На сборку наносится слой париленового покрытия и далее парилен обрабатывается, как полиимидная пленка.

Процесс внутреннего монтажа нетеплонагруженных функциональных радиоэлектронных блоков может иметь следующий набор операций:

— В алюминиевой, керамической или кремниевой основе штампом, лазером или методом анизотропного ионноплазменного травления формируются отверстия под закладку кристаллов.

— В отверстия основы, размещенной на ровной поверхности, активной стороной вниз закладываются кристаллы.

— На тыльную сторону кристаллов и стенки отвер-

стий, в которые они уложены, дозированно наносится клей, фиксирующий кристаллы в заданном положении.

— В установке нанесения париленового слоя на все поверхности сборки наносится слой парилена.

— Далее с париленовой пленкой работают, как ранее с полиимидной.

СРАВНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВНУТРЕННЕГО МОНТАЖА С ТЕХНОЛОГИЕЙ FLIP-CHIP И ТЕХНОЛОГИЕЙ РАЗВАРКИ КРИСТАЛЛОВ ПРОВОЛОКОЙ

Увеличение интеграции СБИС, производство систем на кристалле, создание МЭМС и наногетероструктур на кристаллах открывают большие перспективы в радиоэлектронике. В СВЧ-технике, например, такие кристаллы позволяют достигать частот порядка 100 ГГц и выше. Монтаж же таких кристаллов в корпус или непосредственно на плату традиционными способами ультразвуковой и термокомпрессионной приварки выводов или методом пайки шариковых выводов вызвал следующие затруднения:

— Само манипулирование кристаллом с помощью вакуумного захвата при размещении кристалла на эвтектику очень часто приводит к разрушению тонких структур из-за механического воздействия сопла на активную сторону кристалла и воздействия на тонкие структуры кристалла перепада давлений при работе вакуумного захвата.

— Давление на кристалл и температура разогрева локальных областей кристалла при традиционных методах ультразвуковой и термокомпрессионной методах сварки оказались разрушительными для его тонких структур.

— Проволочные петли, соединяющие контактные площадки кристаллов с внешними выводами (или непосредственно — с токоведущими дорожками электронных функциональных блоков), являются, с одной стороны, источниками разного рода паразитных явлений, а с другой — антенной, принимающей внешние электромагнитные воздействия. При очень высоких частотах не лучше себя ведут и другие типы выводов: ленточные, балочные и даже шариковые. В связи с этим при монтаже кристаллов СВЧ-компонентов все чаще отдается предпочтение варианту монтажа, который устраняет выводы и обеспечивает планаризированное положение контактных площадок и токоведущих дорожек, т.е. внутреннему монтажу кристаллов непосредственно в тело печатной платы. Если же не использовать технологию внутреннего монтажа и по-прежнему монтировать корпусной элемент на плату методом поверхностного монтажа, то цепочка трудностей будет продолжаться:

— Непланаризированное положение структур кристалла и многоуровневой разводки печатной платы создает новые емкости и индуктивности. Орел разводки печатной платы вокруг и под СБИС будет представлять



собой антенну, активно принимающую все несанкционированные электромагнитные воздействия. Разработчик вынужден будет дополнить схему другими элементами (например, защитными фильтрами), чем удлинит токоведущие дорожки, соединяющие кристалл с “объектом” (например, силовым ключом). В результате вместо повышения быстродействия схемы наблюдается снижение быстродействия.

– Увеличение интеграции и рабочих частот микросхем обостряет проблему теплоотвода, решению которой будет препятствовать и корпус микросхемы, и плохая теплопроводность печатной платы из полимерных материалов.

– Основной метод производства печатных плат и микросборок — метод фотолитографии с последующим “мокрым” травлением. При традиционных способах отмывки печатных плат остатки травителя не вымываются полностью и остаются в микропорах проводника, что со временем приводит к деградации и “выжиганию” проводника. Чем выше интеграция СБИС и тоньше проводники, тем чаще в электронных блоках проявляются подобные дефекты.

– Поскольку кристалл Flip-Chip, как и СБИС в корпусах BGA, CSP и других сегодня почти лишился выводов, а вместо них используются миниатюрные шарики припоя, то разница линейного температурного расширения корпуса и печатной платы становится фактором, разрушающим паяные соединения при температурных

колебаниях (например — при термоциклировании).

– Так как шариковые выводы СБИС имеют малый диаметр, возникают дополнительные требования к плоскостности печатных плат (подложек) и плоскостности покрытий контактных площадок на платах (подложках).

– Расстояние между выводами мало и они находятся на “невидимой” стороне BGA-корпуса, поэтому монтаж корпуса производится на дорогостоящем прецизионном оборудовании, а качество пайки проверяется с помощью рентгеновских микроскопов.

– Пайка BGA-компонентов также не лишена трудностей, усугубляемых в настоящее время внедрением бессвинцовых технологий.

Перечисление трудностей можно, конечно, продолжать, но и без этого все большему числу специалистов становится очевидно, что все перечисленные трудности можно устранить полностью, если монтировать кристаллы полупроводниковых приборов и ИС непосредственно в основу электронного блока методом внутреннего монтажа.

СРАВНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВНУТРЕННЕГО МОНТАЖА С ТЕХНОЛОГИЕЙ ПОВЕРХНОСТНОГО МОНТАЖА СБИС В BGA-КОРПУСАХ

Технология внутреннего монтажа устраняет необходимость в корпусировании ИС и производстве мно-



Недостатки технологии поверхностного монтажа СБИС в BGA-корпусах и достоинства технологии внутреннего монтажа ИС

	Поверхностный монтаж СБИС в BGA-корпусах	Внутренний монтаж ИС
Надежность контактов	Шариковые выводы BGA-корпусов не могут многократно компенсировать разницу в расширениях корпуса и платы. В условиях бесвинцовых контактов их пластичность становится еще меньше	Разница в расширении подложки и кристалла отсутствует, либо выводы – дорожки сформированы на пластичном материале
Электромагнитные паразитные явления	Плотная выводная рамка СБИС и плотная разводка ПП под СБИС являются источниками паразитных явлений индуктивной или конденсаторной природы	Паразитные явления отсутствуют
Чувствительность к внешним несанкционированным электромагнитным воздействиям	Плотная выводная рамка СБИС и многоуровневая разводка ПП являются антеннами, принимающими внешние несанкционированные воздействия	Электронный блок нечувствителен к внешним несанкционированным электромагнитным воздействиям ввиду отсутствия выводов и многоуровневой разводки ПП
Тепловая нагруженность электронного блока	Корпус СБИС и полимерные слои ПП препятствуют рассеиванию тепла, выделяемого компонентами	Кристаллы ИС находятся внутри металлической платы, лишены корпуса, толстые слои полимерных материалов в блоке отсутствуют
Виброустойчивость	Корпус СБИС массивен, механическая прочность безвыводных контактов невелика. Виброустойчивость низкая	Вес кристалла минимален, кристалл находится внутри платы, соединяющие слои очень пластичны. Виброустойчивость высокая
Быстродействие	Наличие выводов и многоуровневая разводка ПП, невозможность близкого размещения дополнительных элементов и СБИС приводят к снижению быстродействия	Быстродействие электронных блоков, исполненных по технологии внутреннего монтажа, в несколько раз, а иногда и в несколько десятков раз, выше поверхностно-монтажных аналогов в связи с уменьшением длины соединений
Деградация токоведущих дорожек платы	Современные технологии производства печатных плат не обеспечивают 100% удаления остатков травителя с поверхности проводников, что приводит со временем к деградаци и разрушению проводника	Проводник шириной 50–70 мкм напыляется в вакууме через маску. Дальнейшая деградация проводника исключена
Экологическая чистота технологического процесса	Вред, наносимый природе производством корпусов ИС и печатных плат, хорошо известен	Экологически чистая технология
Экономический эффект	Затраты на производство растут год от года	Стоимость кристаллов минимальна. Печатные платы отсутствуют. Аппаратура надежна, большой экономический эффект
Массогабаритные характеристики	Электронные блоки, исполненные по технологии поверхностного монтажа, имеют габариты в 2–3 раза меньшие, чем электронные блоки исполненные по «штырьковой» технологии	Электронные блоки, исполненные по технологии внутреннего монтажа, имеют габариты в 10–20 раз меньшие, чем электронные блоки, исполненные по технологии поверхностного монтажа

гослойных печатных плат. Но самое главное — данная технология придает электронному блоку новые характеристики и устраняет недостатки, присущие технологии поверхностного монтажа.

ГДЕ ВЗЯТЬ КРИСТАЛЛЫ?

Кристаллы для внутреннего монтажа — это «голые» кристаллы, нарезанные из пластин. При производстве микросхем в корпусах такие кристаллы — это определенная, но далеко не последняя стадия производства, можно сказать — полуфабрикат, из которого должна быть в дальнейшем получена корпусированная микросхема. Для внутреннего же монтажа такой кристалл — это законченный элемент сборки, не требующий никакого корпусирования, так как роль корпуса после внутреннего монтажа будет играть сама основа функционального радиоэлектронного блока. Соот-

ветственно, если «в природе» существует какая-либо микросхема, то есть и ее кристаллы и брать их надо у производителей микросхем в виде шайбы или нарезанных кристаллов.

Самое удивительное, что сайты всех отечественных производителей микросхем и полупроводниковых элементов содержат информацию лишь о 25–30% разработанной и потенциально производимой продукции. Все остальные сведения о наличии необходимой элементной базы нужно узнавать у самих разработчиков ИС и полупроводниковых приборов. Более того, интересующий вас, как заказчика, продукт может быть изготовлен по заказу в достаточно короткие сроки, так как без корпусирования задача изготовления кристаллов упрощается.

Гораздо труднее работать с иностранными производителями микросхем. Несмотря на то, что постав-

ка шайб и «голых» кристаллов — обычная мировая практика, но заказчику из Китая получить микросхемы в виде кристаллов почему-то легче, чем заказчику из России.

Надежнее все-таки максимально использовать отечественную элементную базу, в некоторых случаях применяя несколько отечественных микросхем вместо одной импортной СБИС. Если импортный элемент на данном этапе нельзя заменить, лучше его монтировать сверху на внутренне смонтированный функциональный радиоэлектронный блок, как корпусной поверхностью монтируемый компонент.

КАК ОБЕСПЕЧИТЬ НАДЕЖНОСТЬ ВНУТРЕННЕ СМОНТИРОВАННОГО РАДИОЭЛЕКТРОННОГО УЗЛА (ВМУ)

Технология внутреннего монтажа близка к некоторым вариантам технологии производства многокристальных модулей, но не тождественна им. Внутренне смонтированный блок может, например, содержать один смонтированный внутри основы кристалл и прочие поверхностно монтируемые и штырьковые компоненты, входящие в состав данного электронного блока. Поэтому далеко не всегда категорическим требованием внутреннего монтажа является 100%-ная гарантия годности кристаллов. Бывают случаи, когда стоимость одного из кристаллов столь высока, что стоимостью остальных кристаллов и элементов можно пренебречь. Поэтому такой кристалл тестируется уже в составе ВМУ.

Многокристальные модули (МКМ), например МКМ СОЗУ, могут содержать от 30 до 100 и даже больше кристаллов средней сложности. В этом случае гарантия годности кристаллов играет решающую роль. Зарубежные фирмы при производстве таких МКМ применяют программы углубленного контроля качества (УКК), известные как программы KGD (Know good die).*

Для многих случаев внутреннего монтажа функциональных радиоэлектронных блоков такой углубленный контроль кристаллов не обязателен. Напротив, одно из достоинств технологии внутреннего монтажа заключается в минимизации контрольных операций.

Общее сокращение числа производственных технологических операций и устранение многих факторов, вызывающих разрушение современного радиоэлектронного узла, позволяют в случае внутреннего монтажа радиоэлектронных блоков рассматривать такой блок как микросборку или компонент и тестировать лишь на конечной стадии. Этому способствует наличие

у внутренне смонтированных блоков защищенных никелем ламелей, которые позволяют неограниченное число раз перепаявать ВМУ в составе тестовой коммутационной платы.

Вместе с тем, было бы очень хорошо, если бы контроль качества кристаллов начинался у производителей кристаллов с контроля качества исходных материалов и точного соблюдения технологических процессов производства кристаллов.

КАК ИЗГОТОВИТЬ ОПЫТНЫЕ ОБРАЗЦЫ ЭЛЕКТРОННЫХ БЛОКОВ МЕТОДОМ ВНУТРЕННЕГО МОНТАЖА

Исходным пунктом разработки внутренне-монтируемого узла (ВМУ) является подбор необходимых кристаллов: т.е. договоренность с заводами-изготовителями микросхем о поставке данных микросхем в виде кристаллов или шайб. Вместе с кристаллами завод-изготовитель должен предоставить чертежи кристаллов (схемы расположения контактных площадок), необходимые для трассировки радиоэлектронного блока.

Трассировка радиоэлектронного блока может быть выполнена с помощью любой из освоенных разработчиком программы трассировки при условии соблюдения ряда требований в случае, если для

* В.Бражник, М.Хохлов, А.Чернышов. Развитие технологии многокристальных модулей СОЗУ. — Электроника: НТБ, 2008, №3, с. 48.



изготовления ВМУ будет применена технология свободных масок.

После выполнения трассировки ВМУ изготовление опытных образцов проводится в кооперации с несколькими предприятиями. В ООО «Мултитех» (С.-Петербург) в основе ВМУ из металла, поликора, стекла, кремния, керамики т.п. на установке прецизионной лазерной резки вырезаются точные сквозные отверстия для размещения кристаллов. Кафедра клеев С.-Петербургского технологического университета предоставляет клей для фиксации кристаллов. В ООО «Базальт» (С.-Петербург) на основу с кристаллами наносится слой париленового покрытия. Ионно-плазменное травление окон в париле и последующее вакуумное напыление металлических проводников можно произвести практически на любом микроэлектронном производстве. В случае применения свободных масок для травления парилена и нанесения токоведущих дорожек ВМУ нужно обратиться к автору технологии Б.И.Черному (главный специалист ОАО «Ангстрем», Зеленоград). Пайку пассивных компонентов на контактные площадки способом поверхностного монтажа сделать не трудно. В случае положительного результата испытаний опытного образца разработчики ВМУ могут и дальше работать по описанной выше схеме или создать собственное производство.

КАК ОРГАНИЗОВАТЬ МАССОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОННЫХ БЛОКОВ МЕТОДОМ ВНУТРЕННЕГО МОНТАЖА

При организации массового производства ВМУ с целью снижения себестоимости продукции можно использовать несколько радикальных технологических решений:

- В случае применения основы ВМУ из полупроводникового материала изготавливать основу ВМУ можно из бракованных пластин (шайб), не использованных производителями кристаллов. Изготовление сквозных отверстий под кристаллы производить в этом случае можно методом ускоренного анизотропного ионно-плазменного травления.
- В случае применения основы из металла — используется метод штамповки для формирования отверстий под кристаллы.
- Если ВМУ изготавливается на керамической основе, то предпочтение отдается литьевым маркам керамики и формировать отверстия под кристаллы с помощью литьевых форм, учитывая коэффициент усадки материала.
- Операции ионно-плазменного травления парилена и напыления слоев Ti-Cu-Ni производятся в кластерных многопозиционных установках с большим рабочим полем.

- Установка чип-компонентов на поверхность ВМУ производится на автоматах групповой установки чип-компонентов M-1032.

Каждый производитель кристаллов без труда сможет наладить у себя производство ВМУ, используя соответствующее устаревшее оборудование. Недостатком в данном случае будет лишь отсутствие у производителей микросхем схемотехнических и программных наработок в области функциональных радиоэлектронных узлов. Но если учесть, что многие из разработчиков и производителей РЭА, наоборот, не имеют технологического оборудования и специальной подготовки в области микроэлектронного производства, то здесь возможна кооперация. Лучшее положение занимают те разработчики и производители РЭА, которые уже имеют в своем хозяйстве микроэлектронные участки для производства микросборок. Именно такие предприятия в первую очередь могут стать центрами по кооперированному, контрактному производству ВМУ.

Лучшие стартовые условия для начала производства ВМУ имеют предприятия, использующие отечественную элементную базу. При наличии регионального центра по производству и разработке ВМУ любое предприятие сможет заказывать в данном региональном центре основу ВМУ с внедренными в нее кристаллами, а затем самостоятельно напаивать пассивные и прочие элементы и программировать готовые ВМУ.

НАСКОЛЬКО ЭТО ДЕШЕВО

Потенциал удешевления радиоаппаратуры за счет применения технологии внутреннего монтажа огромен. Перенос нескольких микроэлектронных операций, применяемых при производстве ИС и микросборок, в область производства функциональных радиоэлектронных узлов устраняет необходимость в корпусировании ИС и производстве дополнительных печатных плат. Известно, что себестоимость кристалла ИС на один-два порядка ниже, чем стоимость корпусированной микросхемы. Известно также, насколько дорого производство современных многослойных печатных плат, если учитывать в полной мере необходимость утилизации и регенерации вредных продуктов «мокрого» травления.

Двадцатикратное снижение массогабаритных характеристик функциональных радиоэлектронных узлов позволяет пропорционально уменьшить габариты РЭА в целом. Качественное увеличение надежности РЭА также дает значительный экономический эффект. Задача только в том, чтобы верно использовать все эти положительные факторы. Повторим еще раз: каждый производитель кристаллов без труда сможет наладить у себя производство ВМУ.



Самым эффективным окажется производство ВМУ на базе собственных кристаллов. Если производители ВМУ работают по кооперации, то экономический эффект от использования технологии внутреннего монтажа напрямую будет зависеть от торговых цен на кристаллы и услуги предприятий, участвующих в кооперации; правильности оформления заказа на кристаллы; правильности предъявления требований к контролю качества кристаллов.

Кристалл, прошедший процедуру углубленного контроля качества (УКК), имеет 100%-ную гарантию годности, но может оказаться слишком дорогим. Стоимость данного кристалла может быть резко снижена, если не применять УКК, а осуществлять только конечный контроль ВМУ.

При самых худших раскладах, в условиях единичного или мелкосерийного производства ВМУ, 1 дм² ВМУ равен по стоимости 1 дм² многослойной (12–15 слоев) печатной платы, однако плотность упаковки 1 дм² ВМУ в 20 раз выше, чем плотность упаковки 1 дм² многослойной печатной платы.

...

Внутренний монтаж функциональных радиоэлектронных узлов — следующий этап развития радио-

электроники. В настоящее время недостатки предыдущей технологии — поверхностного монтажа (в том числе монтажа ВГА-корпусов) — хорошо известны. России не следует вслед за Западом повторять все стадии развития поверхностного монтажа электронных узлов (в том числе освоение и монтаж ВГА-корпусов). Опираясь на ранее наработанные радиоэлектронные схемы (в первую очередь с использованием отечественных микросхем) и соответствующие программные решения, следует произвести перевод на более эффективных схем во внутренне монтируемое исполнение. Это даст большую экономию средств и позволит направить освободившиеся ресурсы на функциональное развитие и укрепление базы кристалльного производства. Переход к технологии внутреннего монтажа имеет огромное экологическое значение. Он позволит существенно сократить загрязнение окружающей среды из-за резкого снижения габаритов РЭА, прекращения производства печатных плат и корпусов микросхем. Внутренний монтаж — это решение больших проблем разработчиков и производителей РЭА. Внутренний монтаж — единственно возможный путь сохранения отечественной электроники, укрепления нашей обороноспособности и сохранения независимости нашей страны. ■