

ВНУТРЕННИЙ МОНТАЖ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ БЛОКОВ. ЧТО НОВОГО?

Научно-практическая конференция "Технологии поверхностного и внутреннего монтажа функциональных радиоэлектронных блоков" прошла 17–18 ноября 2009 года в Москве в ЦНИИ связи. Организатор – НПП "КВП "Радуга". В ходе конференции участники – специалисты предприятий радиоэлектронной отрасли – познакомились с серийным и инновационным вариантами технологии внутреннего монтажа функциональных радиоэлектронных блоков, а также получили информацию о материалах и оборудовании для пайки и влагозащиты радиоэлектронных узлов на печатных платах. Им было представлено серийное технологическое оборудование для поверхностного монтажа, производимое НПП "КВП "Радуга".

В соответствии с технологией внутреннего монтажа кристаллы ИС не корпусируются, а закладываются в тело самой подложки – основы функционального радиоэлектронного блока-печатной платы. Поэтому технология и получила название "внутренний монтаж". Это – серийная технология, прошедшая все виды испытаний и отраженная в соответствующем военном стандарте. Технология эффективно работала в военной радиоэлектронике и сейчас готова к внедрению во многие виды радиоэлектронной аппаратуры (аналоговую, цифровую, высокочастотную и т.д.). Она придает радиоэлектронному блоку характеристики, недостижимые при любом другом виде монтажа [1, 2, 3].

Технология внутреннего монтажа позволяет устранить множество недостатков современной радиоэлектронной аппаратуры, использовать наработанные ранее схемотехнические и программные продукты. Более того, ее применение может значительно повлиять на развитие отечественной элементной базы и спасти нашу экономику от колоссальных и неэффективных финансовых затрат.

Технология внутреннего монтажа бурно развивается за рубежом [4] и восстанавливается в настоящее время на ряде ведущих отечественных предприятий радиоэлектронной отрасли.

Основные вопросы, которые рассматривались на конференции:

- технология внутреннего монтажа: серийный и инновационный вариант (Е.С.Назаров, директор ООО "НПП "КВП "Радуга", Б.И.Черный, гл. специалист ОАО "Ангстрем");
- технологическое оборудование для внутреннего монтажа (В.В.Одинокое, генеральный директор ОАО "НИИТМ");
- возможность использования лазерной обработки в технологии внутреннего монтажа (А.М.Алексеев, директор ООО "Мултитех", С.-Петербург);
- технология влагозащиты и электроизоляции модулей и конструктивных элементов РЭА полимерными материалами (В.А.Ширшова, гл. специалист ООО "Базальт").

Е.С.Назаров в своем докладе познакомил участников конференции с новым способом внутреннего монтажа

СВЧ-кристаллов. Технология внутреннего монтажа — это монтаж "голых" кристаллов в тело основы функционального радиоэлектронного блока. Корпусирования микросхем в данном случае не требуется, так как роль корпуса начинает играть сама основа радиоэлектронного блока. Основа исполняет также и роль печатной платы после того, как на нее через технологическую маску напыляют токоведущий рисунок радиоэлектронной схемы. При напылении рисунка схемы происходит соединение контактных площадок кристаллов с токоведущими дорожками блока. Ни сварки, ни пайки для этого не требуется. Однако электронный блок состоит не только из микросхем и полупроводниковых приборов, помещенных в данном случае в тело основы. Пассивные и прочие элементы, входящие в состав радиоэлектронного блока, паяются на поверхность основы, как элементы поверхностного монтажа.

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.

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

- увеличались рабочие частоты СВЧ-узлов, а с ними — потребность в улучшении их теплоразгрузки;
- 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 полипараксилиленовое (париленовое) покрытие.

Семи- восьмимикронная пленка дипараксилилена (парилена) осаждается на поверхность основы функционального блока в вакууме при температуре 7–28°С (ТУ-6-14-50-91). Технология осаждения парилена широко известна как технология влагозащиты радиоэлектронных модулей бортовых, корабельных, наземных радиоэлектронных комплексов, транспортных средств, работающих в условиях повышенной влажности в соответствии с требованиями ГОСТ в 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 полипараксилилена, полихлорпараксилилена и комбинированные покрытия. Типовые технологические процессы".

Предлагаемый процесс внутреннего монтажа теплонагруженных СВЧ-узлов включает следующие операции (рис.1):

1. В кремниевом, нитридалюминиевом или алмазоподобном основании лазером или методом анизотропного скоростного ионно-плазменного травления вскрываются сквозные отверстия для последующей закладки кристаллов.
2. В отверстия основания, размещенного на ровной поверхности, закладываются активной стороной вниз все кристаллы, входящие в состав функционального радиоэлектронного блока.
3. 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.
4. Если есть необходимость в дополнительном теплоотводящем основании, то оно (без отверстий, но с возможной силовой разводкой) напаяется на первое основание с помощью эвтектического припоя.
5. На сборку наносится слой париленового покрытия и далее парилен обрабатывается, как полиимидная пленка.

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

1. В алюминиевой, керамической или кремниевой основе штампом, лазером или методом анизотропного ионно-плазменного травления формируются отверстия под закладку кристаллов.
2. В отверстия основы, размещенной на ровной поверхности, активной стороной вниз закладываются кристаллы.
3. На тыльную сторону кристаллов и стенки отверстий, в которые они уложены, дозатором наносится клея, фиксирующий кристаллы в заданном положении.
4. В установке нанесения париленового слоя на всей поверхности сборки формируется слой парилена.

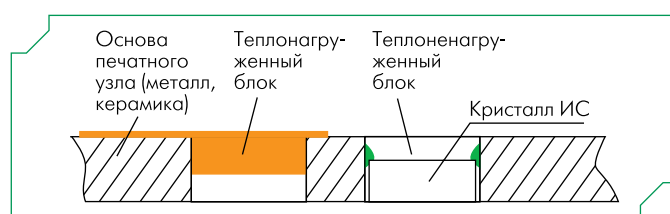


Рис. 1 Поперечное сечение теплонагруженных и теплонагруженных блоков

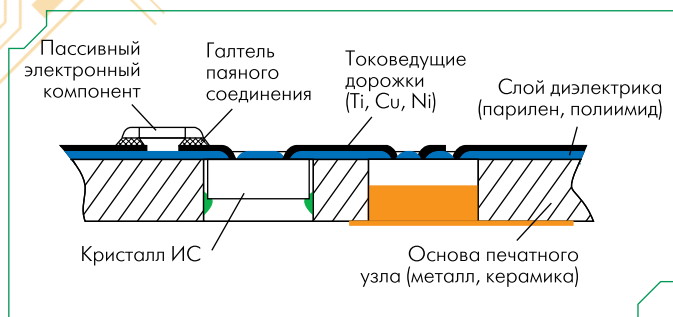


Рис.2 Сечение функционального электронного блока

Поперечное сечение теплонагруженного и теплоненагруженного блоков приведено на рис.1, а сечение функционального электронного блока с пассивными элементами показано на рис.2.

Если сравнить технологию внутреннего монтажа с технологией поверхностного монтажа СБИС в BGA-корпусах, то преимущества первой очевидны (см. табл.). Технология внутреннего монтажа не только устраняет необходимость в корпусировании ИС и производстве многослойных печатных плат, но и придает электронному блоку новые качества и устраняет недостатки, присущие технологии поверхностного монтажа.

Кристаллы для внутреннего монтажа – это кристаллы, нарезанные из пластин. При производстве микросхем в корпусах такие кристаллы – это лишь определенная, далеко не последняя, стадия производства, иными словами – полуфабрикат, из

которого должна быть в дальнейшем получена корпусированная микросхема. Для внутреннего монтажа такой кристалл – это законченный элемент сборки, не требующий корпусирования: роль корпуса после внутреннего монтажа будет выполнять сама основа функционального радиоэлектронного блока.

В своем выступлении Е.С.Назаров подробно остановился на проблеме – как изготовить опытные образцы электронных блоков методом внутреннего монтажа.

Разработка внутренне монтируемого узла (ВМУ) начинается с подбора необходимых кристаллов, т.е. с договоренности с заводами-изготовителями 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 им ряда требований в случае, если для изготовления ВМУ будет применена технология свободных масок.

После выполнения трассировки ВМУ изготовление опытного образца проводится в кооперации с несколькими предприятиями (опыт есть, связи отработаны):

1. В ООО "Мултитех" (С.-Петербург) в основе ВМУ из металла, поликора, стекла, кремния, керамики на установке

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

Характеристики	Поверхностный монтаж СБИС в BGA-корпусах	Внутренний монтаж ИС
Надежность контактов	Шариковые выводы BGA-корпусов не способны многократно компенсировать разницу в расширениях корпуса и платы. В условиях бессвинцовых контактов их пластичность уменьшается	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 является источником 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 невысокая	Масса кристалла минимальна, кристалл находится внутри платы, соединяющие слои очень пластичны
Быстродействие	Наличие выводов и многоуровневая разводка ПП, невозможность близкого размещения исполнительных элементов и СБИС приводят к значительному снижению быстродействия	Быстродействие электронных блоков, исполненных по технологии внутреннего монтажа, в несколько раз, а иногда и в несколько десятков раз, выше поверхностно монтируемых аналогов в связи с уменьшением длины связей
Деградация токоведущих дорожек платы	Современные технологии производства печатных плат не обеспечивают 100%-ного удаления остатков травителя с поверхности проводников, что приводит со временем к деградации и разрушению проводника	Напыление проводников шириной 50–70 мкм происходит через маску методом вакуумного напыления. Дальнейшая деградация проводника исключена
Экологическая чистота технологического процесса	Процессы производства корпусов ИС и печатных плат загрязняют природу	Экологически чистая технология
Экономический эффект	Затраты на производство растут год от года	Стоимость кристаллов минимальна. Печатные платы отсутствуют. Надежность аппаратуры дает колоссальный 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

прецизионной лазерной резки вырезаются точные сквозные отверстия для размещения кристаллов.

2. Кафедра клеев Санкт-Петербургского технологического университета предоставит клей для фиксации кристаллов.
3. В ООО "Базальт" (С.-Петербург) на основу с кристаллами наносится слой парилового покрытия.
4. Ионно-плазменное травление окон в парилена и последующее вакуумное напыление металлических проводников можно произвести практически на любом микроэлектронном производстве.
5. В случае применения предприятиями-разработчиками свободных масок для травления парилена и нанесения токоведущих дорожек ВМУ надо обратиться к автору технологии Черному Борису Ивановичу (гл. специалист ОАО "Ангстрем").
6. Пайку пассивных компонентов на контактные площадки способом поверхностного монтажа сделать не трудно.

В случае положительного результата испытаний опытного образца разработчики ВМУ далее могут работать по указанной выше схеме или создать собственное производство.

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

1. 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.
2. В случае применения основы из металла можно применять метод штамповки для формирования отверстий под кристаллы.
3. В случае применения керамической основы ВМУ предпочтение надо отдавать литьевым маркам керамики и формировать отверстия под кристаллы с помощью литьевых форм, учитывая коэффициент усадки материала.
4. Операции ионно-плазменного травления парилена и напыления слоев Ti-Cu-Ni производить в кластерных многопозиционных установках с большим рабочим полем.
5. Установку ЧИП-компонентов на поверхность ВМУ производить на автоматах групповой установки ЧИП-компонентов М-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 микроэлектронные участки для производства микросборок. Именно такие предприятия в первую очередь могут стать центрами по кооперированному, контрактному производству ВМУ.

При наличии регионального центра по производству и разработке ВМУ любое предприятие сможет заказывать в нем основу ВМУ с внедренными в нее кристаллами, а затем самостоятельно напаять пассивные и прочие элементы и запрограммировать готовые ВМУ.

Переход к технологии внутреннего монтажа имеет большое экологическое значение. Он позволит существенно сократить загрязнение окружающей среды из-за резкого снижения габаритов РЭА, прекращения производства печатных плат и корпусов микросхем.

О технологии нанесения пленок полипараксилилена (ППКП), разработанной в ООО "Базальт" (С.-Петербург), сделала доклад главный специалист **В.А.Ширшова**.

В микроэлектронике ППКП-покрытия применяются для:

- межслойной изоляции при изготовлении полупроводниковых структур;
- межслойной изоляции при изготовлении многокристальных модулей;
- в качестве защитного пассивирующего покрытия полупроводниковых кристаллов;
- для электроизоляции и защиты от климатических факторов: микросборок, изготовленных по тонкопленочной и толстопленочной технологии; мембран, датчиков, спектральных приборов, сенсорных датчиков, электронных биостимуляторов; оптоэлектронных преобразователей, светодиодных матриц и других изделий.

Хорошо известны великолепные характеристики парилена:

- равномерность и сплошность покрытия;
- электроизоляционные свойства в нормальных условиях $\rho_v = 10^{17}$ Ом · см, $E = 250$ кВ/мм; $\text{tg } a = 0,0002$, $\xi = 2,65$;
- низкая влаго-и газопроницаемость;
- рабочий диапазон температур от -100 до 150°C (при отсутствии кислорода – до 400°C);
- отсутствие внутренних напряжений;
- устойчивость к радиации;
- высокая адгезия;
- химическая инертность.

Нанесение пленок ППКП производится на установках УНБ-2, УНБ-3. В настоящее время фирма "Базальт" является единственным в стране разработчиком и производителем этих установок.

Особенности технологии нанесения ППКП-покрытий:

- нанесение покрытия производится методом вакуумного осаждения продуктов пиролиза дипараксилилена (или его производных) на поверхности изделий с одновременной полимеризацией при пониженных температурах (ниже 20°C);

- толщина покрытия контролируется при его нанесении;
- покрытие толщиной до нескольких десятков микрон наносится за одну операцию;
- не требуется дополнительной сушки покрытия;
- экологически чистый процесс.

Применение лазерной техники в микроэлектронике и в частности в технологии внутреннего монтажа – тема доклада **А.М.Алексеева**.

Прогресс технологии и установок прецизионной лазерной обработки материалов определяется:

- развитием лазерной техники (прогресс полупроводниковых технологий и, как следствие, широкое использование лазеров с диодной накачкой; уменьшение длительности лазерного импульса вплоть до пико- и фемтосекундных значений);
- удешевлением и усовершенствованием систем прецизионного позиционирования (автоматизация приводов, повышение точности и количества независимых координат предметного столика, значительное снижение цены);
- развитием и удешевлением систем телевизионного наблюдения (в частности, использование ПЗС-матриц);
- развитием компьютерной техники и систем автоматического проектирования (совершенствование алгоритмов обработки и компьютеризация установок).

В ООО "Мултитех" лазерная микрообработка проводится на установках типа "Полифер" и "Сапфир". Установка "Полифер" имеет лазер средней мощности с длительностью импульса от десятков микросекунд до единиц миллисекунд.

Обработка производится путем плавления или абляции поверхности материала. В установке используется лазерный излучатель, работающий в близком ИК-диапазоне длин волн на частотах до 100 Гц, со средней мощностью, достигающей 20 Вт. Используемый лазер может изменять временные параметры импульсов излучения в очень широком диапазоне.

Обрабатываемые материалы: стали; цветные металлы; ферриты; керамики; поликор; сапфир; кремний; соединения $A^{III}B^V$.

Лазерная обработка методом лазерно-плазменного микротравления (ЛПТ) проводится на установке "Сапфир". Метод ЛПТ заключается в пошаговом послойном удалении материала внутри обрабатываемого контура. Метод позволяет получать как сквозные, так и несквозные отверстия. В установке используется маломощный лазерный излучатель, работающий в видимом или ближнем ИК-диапазонах длин волн на частотах до 10 кГц и со средней мощностью, достигающей 1 Вт. Параметры излучения лазера позволяют проводить обработку материалов также методом объемного скрайбирования IntraScribe.

После конференции руководителям предприятий радиоэлектронного комплекса было направлено письмо, в котором отмечалось следующее.

1. Замена советской научно-технической базы на новую не означает поддержку отечественных технологий и разработчиков. Скорее наоборот: отрицательный опыт работы Госкорпораций сформировал у руководства страны отрицательное отношение к отечественным инновациям, и объявленная модернизация научно-технической базы означает импорт зарубежных высокотехнологичных продуктов и организацию обучения молодых специалистов по зарубежным методикам.
2. Заинтересованность руководства страны в применении радиоэлектронной отрасли технологии внутреннего монтажа может вызвать только организация каким-либо предприятием массового производства по данной технологии коммерческих продуктов, например – навигационных приемников, мобильных телефонов, цифровых телевизоров для продажи не только на внутреннем рынке страны.
3. Огромный резерв снижения стоимости радиоэлектронной аппаратуры при использовании технологии внутреннего монтажа связан не только с низкой стоимостью кристаллов относительно корпусных компонентов, уменьшением размеров РЭА и увеличением ее надежности. Весь процесс производства функциональных радиоэлектронных блоков сокращается до 5–6 технологических операций, выполняемых на 3–4 основных единицах оборудования. Столь резкое сокращение технологического маршрута изготовления РЭА ведет к резкому снижению производственных затрат на сборку, монтаж и контроль функциональных радиоэлектронных узлов. В этом случае производство лучших радиоэлектронных схем по технологии внутреннего монтажа обеспечит однозначную конкурентоспособность такой продукции на мировом рынке.

В случае заинтересованности того или иного предприятия в производстве опытных образцов электронных узлов по технологии внутреннего монтажа, организации серийного и массового производства электронных узлов НПП "КВП "Радуга" готово оказать содействие.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Назаров Е.** Внутренний монтаж функциональных радиоэлектронных блоков. – ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, технология, бизнес, 2008, вып.3, с. 36–39.
2. **Черный Б., Черный А.** Проблемы разработки и производства многокристальных модулей. – ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, технология, бизнес, 2008, вып.3, с. 40–43.
3. **Назаров Е.** Комплексы оборудования для монтажа радиоэлектронных узлов. – Печатный монтаж, 2009, вып. 4–5, с. 32–36.
4. **Айер М., Ли Б.В.** и др. Технологии встраивания активных чипов в интегрированные системы. – Печатный монтаж, 2008, вып. 1, с. 14–19. 