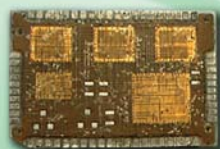


# ПЕРСПЕКТИВНАЯ РАДИОЭЛЕКТРОНИКА



ПОВЕРХНОСТНЫЙ  
МОНТАЖ



ВНУТРЕННИЙ  
МОНТАЖ

Сравнение электронных узлов аппаратуры  
ГЛОНАСС, изготовленных по технологии  
поверхностного и внутреннего монтажа

2010-2011

## Введение

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 революционным образом снизить затраты на производство радиоэлектронной аппаратуры и резко уменьшить экологический вред электронных и радиоэлектронных производств.

Еще в конце 80-х — первой половине 90-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 стал ниже, чем у блока, не подвергавшегося ремонту.

Ситуация усугубилась 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 относительно свинцово-оловянных припоев температуру плавления, что заставляет производителей РЭА увеличивать температуру прогрева печатных узлов при пайке, а следовательно увеличивать выброс в атмосферу продуктов перегрева печатных плат, в том числе — фенола. С другой стороны, дополнительный нагрев электронного узла формирует дополнительные скрытые дефекты в структурах печатных плат, корпусах микросхем и паяных соединениях, что через увеличение числа отказов электронных блоков увеличивает и общую потребность в радиоэлектронной аппаратуре и ее элементах замены.

Огромную нагрузку на природу оказывает само производство полимерных печатных плат и корпусов микросхем. Поэтому устранение корпусов микросхем и замена полимерных плат на малые металлические (керамические, стеклянные и т.п.) основания плат в технологии внутреннего монтажа электронных блоков имеет огромное значение для будущего планеты.

Для России внедрение технологии внутреннего монтажа радиоэлектронных блоков — единственно возможный путь сохранения отечественной электроники вообще.

Россия обладает колоссальным массивом схмотехнических и программных разработок во всех областях радиоэлектронной отрасли. И не использовать

эти наработки не только не разумно, не по хозяйски, но и самоубийственно. Перед Россией, напротив, в настоящее время во весь рост встает задача реализации ценных схемотехнических решений по технологии внутреннего монтажа кристаллов.

Искусственно воспитанное в нас представление об «отсталости» отечественной схемотехники по причине использования в ней устаревшей элементной базы в корне не верно, 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 конкурентоспособно использовать 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 гигантскую экономию средств и упростит задачу функционального развития электронной и радиоэлектронной отраслей.

## **1. Новый способ внутреннего монтажа СВЧ кристаллов в тело функциональных электронных блоков**

Технология внутреннего монтажа — это монтаж «голых» кристаллов в тело основы функционального радиоэлектронного блока. Корпусирование микросхем в данном случае не требуется так как роль корпуса начинает играть сама основа радиоэлектронного блока. Основа исполняет так же 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 сварка, ни пайка для этого не требуются. Однако, электронный блок состоит не только из микросхем и полупроводниковых приборов, спрятавшихся в данном случае в тело основы. Пассивные и прочие элементы входящие в состав радиоэлектронного блока паяются 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, высочайшая вибростойкость и т.д.

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

### **Отечественный вариант внутреннего монтажа до настоящего времени выглядел следующим образом:**

1. В керамической, ситаловой, поликоровой, кремниевой или алюминиевой (с последующим анодированием) пластине лазером выжигали сквозные отверстия с размерами чуть превышающими размеры кристаллов. Так получалось основание функционального радиоэлектронного блока.
2. На ровную поверхность расстилалась 12 микронная пленка из мягкого, адгезионного полиимида (производилась в НИИ Пластмасс, г. Москва). На пленку накладывалось основание функционального блока с отверстиями под кристаллы.
3. В отверстия основания лицевыми (активными) сторонами вниз закладывались кристаллы (цифровые, аналоговые, МЭМС, СВЧ- и т.д.). Кристаллы могли иметь разную толщину но их активные стороны оказывались планаризированы с нижней стороной основания.
4. На всю поверхность основания и кристаллов заложенных в него прикладывалось механическое давление 5 Атм. Одновременно сборка прогревалась до 350 °С в результате чего полиимидная адгезионная пленка ламинировалась к нижней стороне основания и лицевым сторонам всех кристаллов.
5. Сборка переворачивалась. Все кристаллы при этом оказывались повернутыми контактными площадками вверх, но были закрыты полиимидной пленкой.
6. Чтобы освободить контактные площадки ИС от слоя полиимида поверх 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.
7. Вместо нее на поверхность сборки налагалась коваровая маска с прорезями для напыления через них токоведущих дорожек. Чтобы не допустить подпыла маска

плотно прижималась к основе и поверхностям кристаллов с помощью магнитного столика. В установке вакуумного напыления на поверхность полиимидной пленки и контактных площадок ИС напылялись проводники Ti-Cu-Ni.

8. Аналогично выше изложенному, можно сформировать до 30-ти слоев разводки, однако на практике для разводки самых сложных схем хватает двух-трех слоев разводки. Диаметр переходных отверстий не превышает ширину проводников. Обычная ширина проводников — 50,70 мкм. На верхнем слое разводки формируются, так же, контактные площадки для монтажа пассивных компонентов — резисторов, конденсаторов и др.

9. На контактные площадки электронного блока наносится припойная паста, устанавливаются ЧИП-компоненты и паста оплавляется.

10. Поскольку напыленный никель позволяет практически неограниченное количество раз производить перепайку, а надежность всего блока высока, то наряду с контактными площадками на поверхность радиоэлектронного узла формируют ламели, с помощью которых узел монтируется на коммутационную объединительную плату или окончание полиимидного шлейфа.

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

- Увеличились рабочие частоты СВЧ-узлов, а с ними вместе — 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 поли-пара-ксилиленовое (париленовое) покрытие.

Семи-восьми микронная 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 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 поли-пара-ксилилена, поли-хлор-пара-ксилилена и комбинированные покрытия. Типовые технологические процессы”.

## **Хорошо известны великолепные характеристики парилена:**

- сплошность и равномерность покрытия
- электроизоляционные свойства в нормальных условиях  
 $\rho_v = 1017 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ ,  $E = 250 \text{ кВ/мм}$ ,  $\text{tg } a = 0,0002$ ,  $\varepsilon = 2,65$
- низкая влаго-и газопроницаемость
- рабочий диапазон температур от  $-100$  до  $+150^\circ \text{C}$  (при отсутствии кислорода - до  $+400^\circ \text{C}$ )
- отсутствие внутренних напряжений
- химическая инертность

## **Процесс внутреннего монтажа теплонагруженных СВЧ-узлов теперь выглядит так:**

1. В кремниевом, нитриталюминиевом или алмазоподобном основании лазером или методом анизотропного скоростного ионноплазменного 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) напаивается на первое основание с помощью эвтектического припоя.
5. 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:**

1. В алюминиевой, керамической или кремниевой основе штампом, лазером или методом анизотропного ионноплазменного 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, наносятся дозы клея, фиксирующего кристаллы в заданном положении.
4. В установке нанесения парилонового слоя на все поверхности сборки наносится слой парилена.
5. Далее с парилоновой пленкой работают, как ранее с полиимидной.

## **2. 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 колоссальные 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 очень серьезные затруднения:

1. 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, вызванного работой вакуумного захвата;
2. Давление на кристалл и температура разогрева локальных областей кристалла при традиционных методах ультразвуковой и термокомпрессионной методах сварки оказались разрушительными для его тонких структур;
3. 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 более отдается предпочтение варианту монтажа, устраняющих выводы вообще и обеспечивающему планоризированное положение контактных площадок и токоведущих дорожек – 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:

4. 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 дополнительными элементами (например- защитными фильтрами ), чем удлинит токоведущие дорожки, соединяющие кристалл с “объектом” (например- силовым ключом). В результате, вместо желаемого повышения быстродействия схемы, разработчик может столкнуться со снижением быстродействия;

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

6. 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;

7. Поскольку кристалл Flip-Chip, как и СБИС в корпусах BGA, CSP и т.п., на сегодняшний день почти лишилась 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);



8. Поскольку шариковые выводы СБИС имеют малый диаметр возникают дополнительные требования к плоскостности печатных плат (подложек) и плоскостности покрытий контактных площадок на платах (подложках);

9. Поскольку расстояние между выводами мало и они находятся на “невидимой” стороне BGA корпуса монтаж корпуса производится на дорогостоящем прецизионном оборудовании, а качество пайки проверяется с помощью рентгеновских микроскопов;

10. Пайка BGA компонентов так же не лишена трудностей усугубляемых в настоящее время внедрением бессвинцовых технологий.

Перечисление трудностей можно продолжать, но все большему числу специалистов становится очевидно, что трудности, перечисленные в пунктах 4-10, а заодно - и первые три, надо просто отбросить, устранить полностью тем, что монтировать кристаллы полупроводниковых приборов и ИС непосредственно в основу электронного блока методом внутреннего монтажа:

### **3. Сравнение технологии внутреннего монтажа с технологией поверхностного монтажа СБИС в BGA корпусах**

Технология “внутреннего монтажа” устраняет необходимость в корпусировании ИС и производстве многослойных печатных плат. Главное же – то, что данная технология придает электронному блоку новые характеристики и устраняет недостатки, присущие технологии поверхностного монтажа.

## Недостатки технологии поверхностного монтажа СБИС в BGA-корпусах и достоинства технологии “внутреннего монтажа” ИС.

	<b>Поверхностный монтаж СБИС в BGA-корпусах</b>	<b>Внутренний монтаж ИС</b>
1. Надежность контактов.	Шариковые выводы BGA-корпусов не способны многократно компенсировать разницу в расширениях корпуса и платы. В условиях бессвинцовых контактов их пластичность становится еще меньше.	Разница в расширении подложки и кристалла отсутствует, либо выводы – дорожки сформированы на пластичном материале.
2. Электромагнитные паразитные явления.	Плотная выводная рамка СБИС и плотная разводка ПП под СБИС является источником паразитных явлений индуктивной или конденсаторной природы.	Паразитные явления отсутствуют.
3. Чувствительность к внешним несанкционированным электромагнитным воздействиям.	Плотная выводная рамка СБИС и многоуровневая разводка ПП являются антеннами, принимающие внешние несанкционированные воздействия.	Электронный блок нечувствителен к внешним несанкционированным электромагнитным воздействиям в виду отсутствия выводов и многоуровневой разводки ПП.
4. Тепловая нагруженность электронного блока.	Корпус СБИС и полимерные слои ПП препятствует рассеиванию тепла выделяемого компонентами.	Кристаллы ИС находятся внутри металлической платы, лишены корпуса, толстые слои полимерных материалов в блоке отсутствуют.

	<b>Поверхностный монтаж СБИС в BGA-корпусах</b>	<b>Внутренний монтаж ИС</b>
5. Виброустойчивость	Корпус СБИС массивен, механическая прочность безвыводных контактов невелика.	Вес кристалла минимален, кристалл находится внутри платы, соединяющие слои очень пластичны.
6. Быстродействие	Наличие выводов и многоуровневая разводка ПП, невозможность близкого размещения исполнительных элементов и СБИС приводят к утрате 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.
7. Дegradaция токоведущих дорожек платы.	Современные технологии производства печатных плат не обеспечивают 100% 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.
8. Экологическая чистота технологического процесса.	Вред, наносимый природе производством корпусов ИС и печатных плат хорошо известен.	Экологически чистая технология.
9. Экономический эффект.	Затраты на производство растут год от года.	Стоимость кристаллов минимальна. Печатные платы отсутствуют. Надежность аппаратуры дает колоссальный экономический эффект.

<p>10. Весогабаритные характеристики.</p>	<p>Электронные блоки исполненные по технологии поверхностного монтажа имеют габариты в 2-3 раза меньше чем электронные блоки исполненные по “штырьковой” технологии</p>	<p>Электронные блоки исполненные по технологии “внутреннего монтажа” имеют габариты в 10-20 раз меньше чем электронные блоки исполненные по технологии поверхностного монтажа.</p>
---	---	--

## 4. Где взять кристаллы

Кристаллы для внутреннего монтажа — это «голые» кристаллы, нарезанные из пластин. При производстве микросхем в корпусах такие кристаллы — лишь определенная далеко не последняя стадия производства, так сказать — полуфабрикат, из которого должна быть в дальнейшем получена корпусированная микросхема. Для внутреннего же монтажа данный кристалл — это законченный элемент сборки, не требующий никакого корпусирования: роль корпуса после внутреннего монтажа будет играть сама основа функционального радиоэлектронного блока. Соответственно, 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 данным производителем продукции. Все остальные сведения о наличии необходимой для вас элементной базы нужно узнавать у самих разработчиков ИС и полупроводниковых приборов. Более того интересующий вас продукт может быть изготовлен по вашему заказу в достаточно короткие сроки, так как без корпусирования задача изготовления кристаллов упрощается.

Существенно труднее работать с иностранными производителями микросхем. Несмотря на то, что поставка шайб и «голых» кристаллов — обычная мировая практика, Китаю, например, получить микросхемы в виде кристаллов по какой-то причине легче, чем России.

Надежнее все-таки максимально использовать отечественную элементную базу, в некоторых случаях применяя несколько отечественных микросхем

в замен одной импортной СБИС. Если импортный элемент на данном этапе на заменяем, лучше его монтировать сверху внутренне смонтированного функционального радиоэлектронного блока, как корпусной поверхностно-монтируемый компонент.

### **5. 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 внутрь 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% 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) (журнал «Электроника: НТБ» №3 2008г. «Развитие технологии многокристальных модулей СОЗУ»).

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 позволяет 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 количество раз впаивать и 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.

## **6. Как изготовить опытные образцы электронных блоков методом внутреннего монтажа**

Исходным пунктом разработки внутренне-монтажуемого узла (ВМУ) является подбор необходимых кристаллов: то есть, - договоренность с заводами — изготовителями микросхем о поставке данных микросхем в виде кристаллов или шайб. Наряду 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 того, как трассировка ВМУ выполнена, и необходимые кристаллы - у вас на руках, процесс изготовления опытного образца ВМУ представляет собой посещение нескольких предприятий:

1. В ООО «Мултитех» г. С-Петербург в основе ВМУ из металла, поликора, стекла, кремния, керамики т.п. на установке прецизионной лазерной резки будут вырезаны точные сквозные отверстия для размещения кристаллов.
2. Кафедра клеев Санкт-Петербургского технологического университета предоставит вам клей для фиксации кристаллов.
3. ООО «Базальт» С-Петербург, нанесет на основу с кристаллами слой парилового покрытия.
4. Ионно-плазменное травление окон в париле и последующее вакуумное напыление металлических проводников можно произвести практически на любом микроэлектронном производстве.
5. В случае применения свободных масок для травления парилена и нанесения токоведущих дорожек ВМУ нужно обратиться к автору технологии Черному Борису Ивановичу (главный специалист ОАО «Ангстрем» г. Зеленоград)
6. Пайку пассивных компонентов на контактные площадки способом поверхностно монтажа сделать не трудно.

В случае положительного результата испытаний опытного образца вы и далее можете производить партии изделий путем указанной выше кооперации или создать собственное производство ВМУ.

### **7. 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:

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 применять метод штамповки для формирования отверстий под кристаллы.
3. В случае применения керамической основы ВМУ предпочтение 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.

Наоборот, многие из разработчиков и производителей РЭА лишены технологического оборудования и специальной подготовки в области микроэлектронного производства.

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 напаять пассивные и прочие элементы и запрограммировать готовые ВМУ.

## 8. На сколько 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 массо-габаритных характеристик функциональных радиоэлектронных узлов позволяет пропорционально уменьшить габариты РЭА в целом. Качественное увеличение надежности РЭА также дает серьезный экономический эффект. Задача лишь в том, чтобы верно использовать все эти положительные факторы.

Повторим: каждый производитель кристаллов без труда сможет наладить у себя производство ВМУ. Самым эффективным окажется производство ВМУ на базе собственных кристаллов.

Что касается производителей ВМУ методом кооперации, то экономический эффект от использования технологии внутреннего монтажа напрямую будет зависеть от:

1. Торговых цен на кристаллы и услуги предприятий, участвующих в кооперации
2. Правильности оформления заказа на кристаллы
3. Правильности предъявления требований к контролю качества кристаллов



Кристалл прошедший процедуру углубленного контроля качества (УКК) имеет 100% 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 дм<sup>2</sup> ВМУ равен по стоимости 1 дм<sup>2</sup> многослойной (12-15 слоев) печатной платы, однако плотность упаковки 1 дм<sup>2</sup> ВМУ в 20 раз выше, чем плотность упаковки 1 дм<sup>2</sup> многослойной печатной платы.

## 9. Выводы

Внутренний монтаж функциональных радиоэлектронных узлов — следующий этап развития радиоэлектроники. 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 наиболее эффективных схем во внутренне монтируемое исполнение.

Это даст колоссальную 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.