

ТЕХНОЛОГИЯ "МИКРОУЗЛЫ НА ПЛАТУ" ПУТЬ К НАДЕЖНОЙ И ДЕШЕВОЙ РАДИОЭЛЕКТРОНИКЕ

Рассказывает генеральный директор НПП "КБ Радуга" Е.С.Назаров



Что нового в эпоху наноразмерных планарных технологий, монокристаллических интегральных СВЧ-схем, трехмерных структур на уровне полупроводниковых пластин и методов TSV может быть в области сборки кристаллов на единую подложку? Ведь уже есть методы "система в корпусе", технология flip-chip и т.п. Тем более, что технологии микросборок, гибридных интегральных схем известны очень давно – ведь с них и начиналась микроэлектроника. Но, с другой стороны, в этой области еще много нерешенных проблем и направлений для исследователей. Сегодня эти технологии переживают второе рождение – на качественно новом уровне, на основе других материалов, с совершенно иной функциональностью компонентов.

Примером служит технология "микроузлы на плату". В чем достоинства новой технологии, какие задачи она позволяет решать, чем отличается от существующих методов? С этим вопросом мы обратились к ее разработчику, генеральному директору НПП "КБ Радуга" Евгению Семеновичу Назарову.

Евгений Семенович, на рынке ваша компания известна как производитель оборудования для поверхностного монтажа. Не менее известны разработки технологии внутреннего монтажа*, которые проводились в возглавляемом вами Центре развития радиоэлектронных технологий радиозавода "Темп". Недавно было создано новое предприятие "КБ Радуга", продвигающее новую технологию - "микроузлы на плату". С чем связано появление новой компании?

Цель создания научно-производственного предприятия "КБ Радуга" - разработка новых технологий сборки электронной аппаратуры. НПП "Радуга" по-прежнему разрабатывает и выпускает оборудование для поверхностного монтажа (SMT). За долгие годы работы в области SMT мы досконально изучили эту технологию, очень хорошо знаем все ее достоинства и недостатки. Параллельно мы занимались и разработкой перспективных технологий сборки радиоэлектронной аппаратуры, в частности, внутренним монтажом микроузлов. Специально для развития этой технологии был создан Центр развития радиоэлектронных технологий московского радиозавода "Темп", который я некоторое время возглавлял. Там были получены хорошие результаты, отработана технология твердотельных микросборок.

Мы готовы всемерно содействовать в оснащении любого производства, продемонстрировать возможности технологии

Суть технологии внутреннего монтажа - кристаллы СБИС, монолитные интегральные схемы и т.п. монтируются на металлическое или керамическое основание (в специальные полости), сверху приклеивается полиимидная пленка, в ней методом ионно-плазменного

* Назаров Е. Внутренний монтаж кристаллов в радиоэлектронной аппаратуре. - Электроника: НТБ, 2004, № 5, с.12-14.

травления формируются сквозные переходные отверстия к контактным площадкам на поверхности кристалла. В процессе металлизации эти отверстия заполняются металлом, происходит формирование токопроводящего рисунка. Это если очень коротко. Такая технология хороша, когда объединительная плата выполнена из того же материала, что и подложка микроузлов - либо из керамики, либо из алюминия. Мы получали очень надежные узлы, собранные на гибких, комфортных объединительных платах из алюминия, с микроузлами также на алюминиевой основе.

Однако с дальнейшим развитием этой технологии возникли определенные проблемы. Ведь "Темп" - это серийный завод со свойственными подобным предприятиям фундаментальностью и малоподвижностью. Там была проделана большая и важная работа, технология разработана и внедрена. Однако она требует постоянного развития, и структуры завода просто не успевали перестраиваться с требуемой скоростью. Поэтому и была создана компания "КБ Радуга", которая сегодня базируется в МИЭТ.

Почему именно в МИЭТ?

Здесь мы нашли совершенно другое отношение к новациям. Подвижность мысли. Работаем мы в содружестве с кафедрой микроэлектроники, которую возглавляет профессор С.П.Тимошенко. Мы познакомились в процессе работ по комфортным платам. Здесь очень хорошо понимают новые, опережающие идеи. И готовы работать уже не по старым лекалам, а быстро использовать совершенно новые решения - им это интересно. Кроме того, в МИЭТ есть весь комплекс необходимого оборудования, в том числе - высокопрецизионный установщик компонентов, что для нас принципиально важно.

Кроме того, МИЭТ находится в Зеленограде, где сохранился достаточно высокий научно-технический потенциал. Мы привлекаем к работе специалистов не только из МИЭТ, но и сотрудников других предприятий города. Это позволяет очень быстро апробировать и внедрять новые

решения. В дальнейшем мы планируем и расширение компании "КБ Радуга", и серьезное переоснащение, но это вопрос будущего.

Почему возникла потребность в новой технологии "микроузлы на плату"?

С одной стороны, с ростом сложности интегральных компонентов и устройств на их основе разработчики все чаще используют элементы в корпусах с матричными выводами, например, в корпусах типа BGA. При всех достоинствах таких корпусов они, по сути, лишены выводов, которые ранее компенсировали разницу в температурном расширении (КТР) материалов корпуса и печатной платы. В условиях жестких климатических воздействий такие компоненты зачастую просто отваливаются. Мы достаточно много работаем с военными заказчиками, поэтому знаем, что при испытаниях на соответствие КВС "Мороз-7" с BGA-компонентами возникают очень серьезные проблемы. Подчеркну, речь не идет о каких-либо ошибках монтажа, это проявляются свойства самой технологии SMD. Аналогичные проблемы возникают и при технологии flip-chip (перевернутый кристалл) – когда бескорпусные кристаллы СБИС методом SMD монтируются непосредственно на печатную плату.

Предпринимались различные попытки решить эту проблему – от армирования стеклотекстолита стеклянными шариками и иных способов уменьшения теплового расширения до не совсем честных методов, например, отказа тестировать изделия при низкой температуре. Но, конечно, при изготовлении особо ответственной аппаратуры допускать этого нельзя, поэтому пришлось искать новые пути.

Казалось бы, в таких условиях очень эффективна технология внутреннего монтажа, когда и подложка микроузлов, и объединительная плата выполнены из одного материала с одинаковым КТР. Такой подход всем хорош, кроме ремонтно-пригодности. Но он согласуется с концепцией необслуживаемой авионики, принятой сегодня повсеместно. Это означает,



что аппаратура обладает возможностями самодиагностики и самовосстановления за счет многократного резервирования. Человек с паяльником к борту самолета не подходит.

Однако на пути технологии монтажа микроузлов на алюминиевую объединительную плату возникла достаточно неожиданная проблема. Зачастую изготовитель задает базовый конструктив на основе стеклотекстолитовой платы, и никакие изменения невозможны. А при монтаже микроузлов на алюминиевой или керамической основе на стеклотекстолит мы возвращаемся к проблеме с КТР.

Мы стали искать решение и поняли, что лучше всего будет отказаться от металлических оснований микроузлов, оставить только полиимидную пленку. Тогда микроузлы можно монтировать на объединительную плату из любого материала – стеклотекстолита, металла, керамики, и за счет пластичности полиимида решать проблему с тепловым расширением.

В чем суть новой технологии?

Суть технологии "микроузлы на плату" – безопасный и бессварочный монтаж бескорпусных кристаллов и других компонентов на поверхность пластичных микроузлов. В качестве основы используются полиимидные микроплаты, в основном с двухсторонней металлизацией

Рабочая камера малогабаритной вакуумной установки магнетронного напыления "МВУ ТМ МАГНА"



Прецизионный установщик кристаллов Suss Micro Tec FC-150

(фольгированные). Методом обычной фотолитографии и травления формируются на верхней стороне токопроводящий рисунок, на нижней – вскрываются окна над будущими сквозными переходными отверстиями. Также с двух сторон формируются реперные знаки для точного совмещения. Нижний слой металлизации используется как маска при последующем травлении полиимида. На верхней стороне металл удаляется с поверхности, на которую будут установлены кристаллы.

В свободные от металла зоны на верхней стороне полиимидной основы устанавливаются компоненты лицевой стороной вниз (т.е. контактными площадками к полиимиду, как в технологии flip-chip). Они приклеиваются полиимидным лаком. Кроме кристаллов, на полиимидную плату можно установить любые другие компоненты – как пассивные элементы, так и микросхемы в корпусе.

Обычно это требуется при опытно-конструкторских работах, если нет возможности найти нужный кристалл без корпуса. Кристаллы устанавливаются на прецизионном установочном автомате. Подчеркну, мы их устанавливаем просто на полиимидную поверхность, свободную от металлизации – никаких контактных площадок!

Следующим этапом с помощью ионно-плазменного травления с обратной стороны кристаллов через вскрытые в металлической фольге окна в полиимидной плате травятся переходные отверстия над контактными площадками кристаллов. Именно поэтому так важна точность совмещения и прецизионность установки компонентов. При травлении происходит дополнительная очистка контактных площадок. Затем методом вакуумного напыления происходит заполнение переходных отверстий металлом – в основном Cu-Ni. Кроме переходных отверстий для обеспечения электрического контакта можно формировать и металлические теплопроводящие переходы. Правда, в этом случае потребуется дополнительное гальваническое осаждение металла в отверстия. Переходные отверстия могут подходить не только к контактным площадкам кристаллов, но и к выводам других компонентов, в том числе корпусированных – получается смешанный монтаж. Кроме того, можно формировать переходные отверстия к верхнему проводящему слою – аналогично переходным отверстиям в обычных двусторонних печатных платах. При напылении металла происходит дополнительное наращивание нижнего слоя металлизации.

На нижней стороне методом стандартной фотолитографии формируются контактные площадки к коммутационной плате и другие элементы проводящего слоя. Такая техника позволяет создавать и микрополосковые линии, что очень важно для СВЧ-устройств, а также другие пассивные СВЧ-элементы.

Возможен и другой подход к формированию нижнего слоя металла – применение полиимидной основы без нижней металлизации. При этом и вскрытие переходных отверстий



Малогабаритная вакуумная установка реактивно-ионного травления "МВУ ТМ РИТ"

методом ионно-плазменного травления, и напыление металла происходят через съемные маски. Это бывает нужно для особо высоконадежной техники, где деградация проводников в принципе недопустима. В качестве финишного покрытия контактных площадок мы используем никель, поэтому микроузлы можно припаивать на любую плату методом обычного поверхностного монтажа множество раз – деградации контакта не произойдет. При необходимости, если возникают проблемы с трассировкой элементов, можно создать подобие многослойной печатной платы, наклеивая снизу на микромодуль дополнительные слои из фольгированного полиимида, в котором аналогично сформирован токопроводящий рисунок.

Такой подход можно использовать также для изготовления популярных сегодня 3D-модулей, собирая микромодули в стек. Мы можем устанавливать микроузлы друг на друга, соединяя их пайкой. Такая трехмерная структура имеет очень высокую виброустойчивость и при этом она ремонтпригодна – слои можно отпаивать и устанавливать заново. Тут есть свои технологические тонкости, но не более того. Для повышения прочности структуры можно дополнительно соединять слои клеем, нанося его на

кристаллы, но при этом теряется ремонтпригодность. Если нужен теплоотвод, на микромодули сверху или снизу можно устанавливать различные радиаторные структуры, использовать коммутационные платы с теплопроводящим основанием и т.п.

В результате получается законченный встраиваемый компонент, пригодный для монтажа на любую плату методом традиционной технологии поверхностного монтажа. Поскольку это – законченный функциональный узел, ему необходимо существенно меньше контактных площадок, чем у входящих в его состав СБИС. Например, вычислительный микроузел может включать кристалл процессорной СБИС с 5 тыс. выводов, кристаллы микросхем памяти, интерфейсные СБИС. Но для работы такого узла достаточно десятков внешних выводов.

В принципе, такая технология позволяет обходиться без объединительной платы, ведь серьезных ограничений на размеры полиимидных оснований нет. Почему вы говорите именно о технологии микромодулей, а не законченных устройств?

Действительно, такой подход – кристалльная сборка всего изделия – вполне правомерен. Например, Intel выпускает мощные вычислительные платы, содержащие по 150 кристаллов. За счет коротких связей между процессорными кристаллами и памятью достигается очень высокое быстродействие. Но такой путь сопряжен с большим риском – отказавшись от пайки и сварки, мы делаем модуль неремонтпригодным. Когда в модуле относительно немного кристаллов, это не страшно, выбросил и забыл. Но если их сотни, изделие получается очень дорогим, выбрасывать его будет накладно. Приходится проводить углубленный контроль качества кристаллов, это сложная и дорогая процедура. Необходимо специальное тестовое оборудование, методики, специалисты.

Поэтому мы выбрали иной путь – сложное изделие разбивается на функциональные узлы с ограниченным числом кристаллов. Полноценный входной контроль

кристаллов не производится. Конечно, компоненты при этом должны быть от надежных производителей и поставщиков. Вместо этого мы проводим полный функциональный контроль самого узла. При этом проявляется достоинство никелированных контактных площадок – в тестовую плату можно без всякого риска впаивать проверяемый узел, проводить все виды испытаний, включая динамические, выпаивать его и использовать в реальном устройстве. Такой подход экономит гигантские деньги. Ведь кристалл существенно дешевле корпусированного элемента, поэтому у аппаратуры даже для наиболее ответственных применений весьма конкурентоспособная себестоимость.

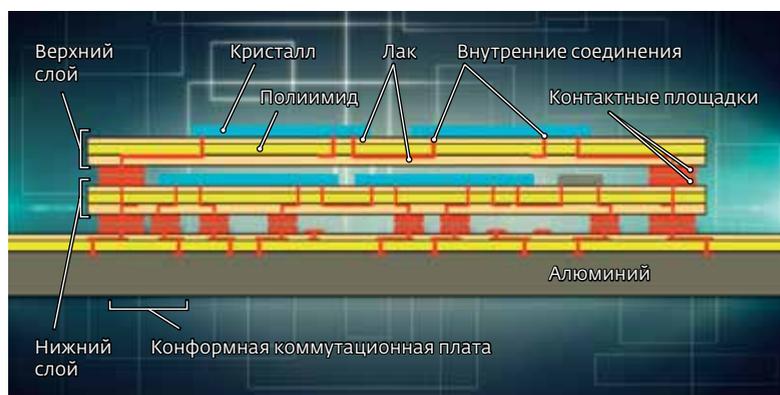
Мы фактически ликвидируем корпус, вместо него предлагая концепцию микромодулей. Причем возможно производство микроузлов

с унифицированными размерами, с ТУ – словом, как и любой радиоэлектронный компонент. И монтироваться они будут, как стандартные компоненты, на стандартном оборудовании.

Как микромодули герметизируются и защищаются от внешних воздействий?

При приклеивании кристалла на пленку по его периферии выдавливается некоторое количество лака, это обеспечивает защиту по краям. Можно обеспечить дополнительную защиту компаундом, буквально одной каплей. Таким же образом защищаются кристаллы и при разварке на плате, но эта капля достаточно жесткая и при термоциклировании рвутся внутренние выводы. В нашем случае этих выводов просто нет, поэтому такой способ защиты безопасен при перепадах температуры.

После полной сборки микроузла на него в вакууме наносится париленовое



Микроузлы
на плате

(полипараксилиленовое) покрытие. Тем самым решается проблема попадания в модуль влаги. Парилон обеспечивает отличную защиту – этот материал гидрофобен, инертен к кислотам, щелочам и органическим растворителям, обеспечивает хорошую электроизоляцию и имеет высокую адгезию. При необходимости ремонта это покрытие может быть легко вскрыто механически, а затем нанесено заново. Парилон наносится при комнатной температуре, что исключает риск порчи кристаллов. Для экранирования СВЧ-микросборок парилон снаружи можно металлизировать.

С полиимидными пленками в России работают достаточно давно, еще со времен СССР, но камнем преткновения всегда была металлизация переходных отверстий. За счет чего вы решили эту проблему?

Действительно, проблемы с этим были. Клеить полиимид пытались и раньше, но использовали полиимидные пленки с адгезионным слоем (например, 12 мкм – полиимид, 25 мкм – адгезионный слой). Природа этих материалов была совершенно различной, скорость травления – тоже. В результате при плазмохимическом травлении в толще адгезионного слоя возникала своеобразная "бочка". Если нет ровных стенок отверстия, напылять металл бессмысленно, обязательно произойдет разрыв. Нам удалось решить эту проблему, подобрав клей (полиимидный лак), который травится точно так же, как полиимид. В итоге мы получаем отверстия с ровными стенками, пригодными для качественной металлизации.

Насколько высоки требования к технологическому оснащению производственной линии для реализации такой технологии?

Мы используем стандартные, хорошо отработанные технологические процессы – ионно-плазменное травление, вакуумное напыление, фотолитографию, нанесение и термозадубливание полиимида, нанесение парилена. Прецизионные установщики компонентов сейчас вполне доступны. Для ионно-плазменного травления и вакуумного напыления мы используем установки производства НИИТМ, они вполне подходят для наших задач.

Разумеется, для того чтобы технология в полной мере проявила все свои достоинства, необходимо ее применение для массового производства. Иначе любая технология окажется дорогой и ненадежной. Только в этом случае и мы, как разработчики технологии, получим обратную связь с производствами, сможем оттачивать технологический процесс.

Есть ли предпосылки для массового применения подобной технологии?

Безусловно. Ведь это по сути – альтернатива столь популярной сегодня технологии система в корпусе (SiP). Это и модули навигационных приемников, и модемы систем беспроводной связи, бортовые автомобильные компьютеры и множество других массовых изделий. Огромные возможности открываются в сфере модулей для АФАР. Наша технология позволяет сформировать законченный функциональный узел, включая и СВЧ-часть, и тракты промежуточной частоты, и цифровые схемы. Законченный узел позволяет избежать проблемы взаимовлияния элементов АФАР при окончательной сборке антенной решетки.

Мы готовы всемерно содействовать в оснащении любого производства, продемонстрировать возможности технологии. Все возможности есть, но нет самого производителя. Мы всех приглашаем к сотрудничеству!

Спасибо за интересный рассказ.

*С.Е.С.Назаровым беседовали
И.В.Шахнович и М.А.Шейкин*

