

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ БЛОКОВ НА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТАХ

**В ЦНИИСе, в НПП "КВП "Радуга" (г. Москва) 9–10 апреля 2008 года прошла конференция "Перспективные технологии производства радиоэлектронных блоков на печатных платах". На конференции рассматривались вопросы технологии поверхностного монтажа, инновационные варианты технологии внутреннего монтажа, перспективные технологии производства печатных плат, их сборки и влагозащиты.**

Е.Назаров, И.Кокорева  
info@raduga-npp.ru

ваным электромагнитным воздействиям. Блоки же, выполненные по технологии внутреннего монтажа, миниатюрны, надежны, помехозащищены. В них отсутствуют внутренние паразитные явления индуктивной и конденсаторной природы.

2. Применение нанотехнологий при формировании тонких наногетероструктур кристаллов СВЧ-элементов и структур МЭМС-элементов затруднило использование традиционных методов ультразвуковой и термокомпрессионной разварки выводов при монтаже кристаллов в корпус или непосредственно на подложку функционального электронного блока. С одной стороны, при традиционной УЗ-разварке кристаллов внутренние и внешние выводы СВЧ-элемента (СВЧ-блока), а также разноуровневое положение топологии СВЧ-элементов и топологии печатной платы создают паразитные электромагнитные явления и ухудшают характеристики СВЧ-элемента (СВЧ-блока). С другой стороны, давление на кристалл и повышение температуры кристалла при традиционной разварке выводов влияют на тонкие структуры новейших СВЧ- и МЭМС-элементов.

Внутренний монтаж кристаллов обеспечивает планаризацию топологий кристаллов и печатной платы. Формирование диэлектрического париленового слоя и напыление проводников печатной платы происходит в вакууме при "нулевом" давлении и относительно низкой температуре.

3. Функциональные радиоэлектронные блоки, используемые в ответственной радиоэлектронной аппаратуре, в настоящее время не подлежат ремонту и должны рассматриваться как элементная база. Поэтому в производстве функциональных электронных блоков используются микроэлектронные технологии: кристаллы ИС вместо корпусных элементов, методы вакуумного напыления металлов для формирования токоведущих дорожек, методы ионно-плазменного и ионно-химического травления диэлектрических слоев и т.д.

В мировой электронике указанные кризисные явления преодолеваются с помощью метода внутреннего монтажа кристаллов в тело подложки функционального электронного блока. В результате удается предотвратить возникновение паразитных электромагнитных явлений, а также исключить выводы для соединения контактных площадок ИС с токоведу-

**В** ходе конференции участники получили возможность практически ознакомиться с технологией и оборудованием для печатного монтажа, которое разрабатывает и серийно производит НПП "Радуга", получить рекомендации по проектированию печатных плат, обеспечивающему самоцентрирование компонентов, изготовлению подложек, а также по материалам и компонентам для поверхностного монтажа.

Основная тема конференции – переход при производстве функциональных радиоэлектронных блоков от поверхностного монтажа корпусных ИС на внутренний монтаж кристаллов.

В конференции приняли участие представители многих организаций радиоэлектронного комплекса: ОАО "Ангстерм" (г. Зеленоград), ВНИИЭТО (г. Москва), ОАО "ММП-Ирбис" (г. Москва), ЦНИИ "Гранит" (г. С.-Петербург), НТЦ "ЭЛИФОМ" (г. Москва), ФГУП "РНИИКП" (г. Москва), ОАО "Стар" (г. Пермь), НИИИС им. Ю.Е. Седакова (г. Н.Новгород), завод им. Климова (г. С.-Петербург), концерн "Вега" (г. Москва) и др.

Открыл конференцию директор НПП "Радуга" Евгений Семенович Назаров. Вот основные положения его доклада.

Необходимость разработки технологии внутреннего монтажа с использованием париленовых диэлектрических пленок вызвана рядом следующих существенных обстоятельств.

1. Активно внедряемая в российскую радиоэлектронику технология монтажа на поверхность печатных плат высокоинтегрированной и сверхвысокоинтегрированной элементной базы в корпусах BGA, CSP, FC и других ведет к снижению надежности функциональных электронных блоков, увеличению паразитных явлений внутри блоков, потере быстродействия и росту чувствительности электронных блоков к внешним несанкциониро-



щими дорожками блока. При этом обеспечивается планаризация токоведущих топологий блока и кристаллов, увеличивается быстродействие блока, создаются предпосылки эффективного теплоотвода. Несмотря на малую ширину применяемых проводников (50–70 мкм), при внутреннем монтаже гарантируется отсутствие дальнейшей деградации проводников под воздействием остатка травителя. Важным фактором, обуславливающим востребованность данной технологии в военной сфере, является низкая чувствительность электронных блоков, выполненных по технологии внутреннего монтажа, к внешним несанкционированным электромагнитным воздействиям. Достоинства технологии внутреннего монтажа позволяют эффективно применять этот метод при производстве аппаратуры мобильной связи и мобильной компьютерной электроники. Важно отметить, что технология внутреннего монтажа может сделать конкурентоспособными многие отечественные разработки и значительно ускорить развитие элементной базы. Более того, применение данной технологии экономит огромные деньги, которые направляются сегодня на корпусирование кристаллов, освоение новых корпусов, производство многоуровневых печатных плат соответствующей плоскостности, оснащение радиоэлектронных производств прецизионным сборочно-монтажным и контрольным оборудованием.

Таким образом, по мнению Е.С.Назарова, базовой технологией производства функциональных радиоэлектронных блоков должна стать не технология поверхностного монтажа СБИС в BGA-корпусах на многослойные печатные платы, а технология монтажа кристаллов ИС внутри керамических, металлических или полимерных плат с последующим монтажом пассивных и прочих элементов на поверхности печатных плат. Другими словами, технология внутреннего монтажа устраняет необходимость в корпусировании ИС и производстве многослойных печатных плат. Кроме того, и это самое главное, новая технология монтажа придает электронному блоку новые характеристики и лишена недостатков, присущих технологии поверхностного монтажа (см. таблицу).

Внутренний монтаж кристаллов ИС в тело печатной платы предполагает одновременно монтаж пассивных элементов на поверхность печатной платы методом поверхностного монтажа. НПП "КВП "Радуга" является известным производителем оборудования для поверхностного монтажа. Широкое применение нашли печи НПП "КВП "Радуга" для оплавления припойных паст (см. [www.raduga-npp.ru](http://www.raduga-npp.ru)). Для этого оборудования характерны равномерное распределение температуры по всей площади печатной платы, а также применение наиболее щадящих, мягких режимов пайки.

"Мягкие" режимы групповой распайки электронных блоков на печатных платах – это режимы, при которых температура электронных блоков повышается и понижается постепенно и плавно, а максимальная температура разогрева бло-

ка лишь на 10–30°C превышает температуру плавления припоя. Если такой режим обеспечивает необходимое качество паяных соединений, то он гораздо более предпочтителен, поскольку снижает количество дефектов, возникающих внутри электронных блоков в результате резкого нагрева и превышения пиковой температуры пайки на 40–60°C относительно температуры плавления припоя.

Доклад Александра Николаевича Парфенова (ОАО "ММП-Ирбис") был посвящен технологическим особенностям применения флюсов и паяльных паст для низкотемпературной пайки соединений на печатной плате.

Чтобы устранить операцию отмычки после пайки, предлагается использовать для монтажа элементов паяльную пасту ПС-ПОС-61 К (ТУ 400К "Р" 1805-22-91) с неудаляемыми остатками ортополиконденсированной аминоабетиновой кислоты (модифицированная канифоль), которая образует защитный слой на паяных соединениях. Паста производится в "ММП – Ирбис" (г. Москва).

**ФПС-6** – термически поликонденсируемый флюс – предназначен для механизированной пайки радиоэлектронной аппаратуры. Температурный интервал активности флюса – 160–300°C.

В процессе пайки с общим нагревом флюс образует полимерную гидрофобную пленку толщиной порядка 2 мкм, которая обеспечивает сопротивление изоляции  $10^8$ –

$10^{10}$  Ом·см. Условием образования плотной глянцевой пленки является наличие температуры предварительного подогрева в установках пайки в интервале 100–150°C в течение 45–60 с, что соответствует скорости продвижения изделия по конвейеру 1–1,3 м/мин.

При ручной пайке флюсом ФПС-6 в зонах растекания флюса, которые не подвергались прямому нагреву паяльником, могут появляться "белесые" места.

**ФПС-6 НК** (с неудаляемой полимерной пленкой) – нормально поликонденсируемый при комнатной температуре флюс. Предназначен для ручной пайки и доработки изделий. Температурный интервал активности флюса – 160–300°C.

Процесс нормальной конденсации пленки можно визуально наблюдать при комнатной температуре, если на участок печатной платы тонким слоем нанести флюс. Время первичной поликонденсации в тонком слое составляет 5 мин. Окончательная полная поликонденсация флюса происходит при температуре 20°C в течение 30 мин в тонком слое и в течение трех часов в так называемых "натеках". При избытке флюса остаются слегка видимые утолщения пленки по периметру (валик). При пайке процесс протекает значительно быстрее, а при оптимальной дозировке флюса пленка практически не имеет утолщений по периметру. Температура начала размягчения пленки – не ниже 65°C, температура полного расплавления – не ниже 110°C. Сопротивление изоляции  $10^8$ – $10^{10}$  Ом·см.

Поскольку поликонденсация флюса начинается при комнатной температуре, пайку следует производить в течение 30 секунд с момента нанесения флюса. Предварительное флюсование изделия перед пайкой не рекомендуется.

В отличие от стандартного флюса ФКСП и аналогичных флюсов, полимерная пленка флюса ФПС-6 НК обладает высокой стойкостью к гидролизу, защищает от электрохимической коррозии и не образует сыпучих и липких продуктов на поверхности во влажной атмосфере.

Оба флюса ФПС-6 и ФПС-6 НК соответствуют ТУ 1718-050-40039437-04.

Водосмываемые флюсы **ФПС-8** и **ФПС-8 ЛО** (ТУ 1718-050-40039437-04) предназначены для пайки радиоэлектронной аппаратуры общего и специального назначения, а также для низкотемпературной пайки изделий из меди и ее сплавов. Остатки флюсов и продукты реакций легко удаляются горячей водой (50°C).

Температурный интервал активности флюса ФПС-8 составляет 130–300°C. Рекомендуется для ручной и машинной пайки (погружением, волной) при предварительном нанесении валиком, кистью, пенообразователем и т.д.

Температурный интервал активности флюса ФПС-8 ЛО составляет 130–350°C. Рекомендуется для тех же целей, что и флюс ФПС-8, также может применяться для механизированной пайки оплавлением или в печи с длительными выдержками при нагреве, поскольку данный флюс не склонен к пиролизу (обугливанию) продуктов реакции. При комнатной температуре флюсы нетоксичны. При попадании флюса на кожу или слизистую достаточно промыть эти участки теплой водой (40°C).

Паяльная водосмываемая паста **ПСПОС-61ЛО** относится к классу полностью растворимых и экологически безопасных композиций 3–4 класса опасности.

Отмывка паяных узлов производится проточной водой 40–50°C. Для удаления остатков композиции из труднодоступных

## НЕМНОГО ИСТОРИИ

Технология внутреннего монтажа впервые была применена на ПО "Кремний" (г. Брянск) для размещения нескольких кристаллов в одном корпусе. Она сформировалась как технология производства многокристалльных модулей и технология функциональных электронных блоков методом внутреннего монтажа в Научно-исследовательском институте технологии и автоматизации производства (НИИТАП, г. Зеленоград), а в настоящее время воспроизводится в ОАО "Ангстрем". На эту технологию существует ОСТ В11 1009-2001 "Микросборки и многокристалльные модули", разработанный ФГУП "ЦНИИ 22" и утвержденный ВТУ 25 580, НТЦ РСУ 21.05.2001 г. Технология внедрена на ряде предприятий радиоэлектронной отрасли, прошла все виды испытаний.

В соответствии с серийной технологией внутреннего монтажа на подложку функционального блока и одновременно на поверхность всех внедренных в подложку кристаллов ламинировалась полиимидная пленка. "Мягкая", "адгезионная" полиимидная пленка, необходимая для этой технологии, была

разработана в НИИ пластмасс (г. Москва) и в настоящее время не выпускается. Кроме того, условия ламинирования полиимидной пленки (температура 350°C, давление 5 атм.) не позволяют применить этот технологический процесс для монтажа ряда новых "наноструктурных" кристаллов.

В настоящее время предложено заменить операцию ламинирования полиимидной пленкой вакуумным осаждением парилонового покрытия. Преимуществом вакуумного осаждения парилена является то, что процесс происходит при "нулевом" давлении и температуре 7°C. Кроме того, уникальные свойства парилена: гидрофобность, химическая стойкость, высокие диэлектрические показатели, экологическая чистота процесса и материала – все это может предопределять высокие и стабильные характеристики радиоэлектронной аппаратуры, в том числе и СВЧ-блоков с рабочей частотой более 10 ГГц.

Элементы новой технологии, которые необходимо соединить воедино, в настоящее время имеются на ряде предприятий С.-Петербурга: ОАО "Концерн "Гранит-Электрон" (технология и оборудование для получения пари-



мест паяные узлы предварительно замачивают в горячей воде в течение 15 мин, а затем промывают проточной водой 40–50°C. Рекомендуемые режимы оплавления: температура предварительного подогрева 90–120°C (1,5–3 мин); температура оплавления 235°C (1–2 мин); скорость набора температуры на вертикальных участках термопрофиля 2–4°C/с; оптимальная скорость конвейера 0,25 м/мин; время до оплавления нанесенной пасты не более 24 ч.

Согласно ТУ 1723-049-40039437-04 допускается седиментация (осаждение) пасты в пределах 1–3 об.%, поэтому перед применением пасту необходимо перемешать до получения однородной консистенции. Перемешивать рекомендуется два раза в день.

Паяльные пасты индекса "К" с неудаляемыми остатками флюсующей композиции относятся к классу неактивированных (R) композиций 3–4 класса опасности.

Композицией пасты является термополиконденсирующий-аминолигандный комплекс абиетиновой кислоты, нерастворимый в воде, не вызывающий коррозии и не снижающий сопротивления изоляции.

При необходимости (например, при нанесении влагозащитных покрытий) остатки композиции могут быть удалены в пропанол-2 или в УЗ-ванне с ТМС. Возможна и стандартная отмывка в спирто-бензиновой смеси в трех ваннах.

Режимы оплавления и правила работы с паяльной пастой индекса "К" соответствуют техническим условиям ТУ 1723-049-40039437-04, т.е. они такие же, как и у пасты ПСПОС-61ЛО.

Чтобы продлить срок эксплуатационного использования паяльных паст до шести месяцев, потребитель может приобрести

паяльную пасту в виде двух отдельных составляющих: порошкового припоя и адгезионно-флюсующей композиции (связки). В этом случае можно изготавливать нужное количество пасты для конкретной производственной задачи. Методика приготовления разработана в ООО "Эспецентр".

Тема доклада Валентины Александровны Ширшовой, специалиста ОАО "Концерн "Гранит-Электрон" (г. Санкт-Петербург), – технология влагозащиты и электроизоляции изделий РЭА полипараксилиленом.

Для влагозащиты и электроизоляции электронной платы после монтажа рекомендуется технология защиты ди-параксилиленом (ТУ-6-14-50-91), обладатель технологии и производитель оборудования – ЦНИИ "Гранит" (г. С.-Петербург). Если изделия не отличаются высокой плотностью (отсутствуют BGA-компоненты), то допускается защита уретановыми лаками. Для сушки уретановых лаков НПП "КВП "Радуга" предлагает установки "Радуга-23" и "Радуга-18" (с характеристиками можно ознакомиться на сайте [www.raduga-npp.ru](http://www.raduga-npp.ru)).

В современном производстве РЭА и вычислительной техники специального назначения важно обеспечить надежную работу устройств и приборов при воздействии различных климатических факторов. И здесь незаменимы различные методы влагозащиты. Для электронных модулей (до III поколения РЭА включительно) существующие лаковые материалы на основе эпоксидных, уретановых, силиконовых связующих в основном соответствовали требованиям по обеспечению влагозащиты. Однако с появлением современной высокоинтегрированной элементной базы применять традиционные лаки стали все реже и реже.

леновых диэлектрических слоев); С.-Пб ГТИ Государственный Технологический институт (технология фиксации кристаллов с помощью фотоларов); ВНИИРА (опыт корпусирования СВЧ-кристаллов) и Москвы: ОАО "Ангстрем" (серийная технология внутреннего монтажа методом свободных масок); филиал ВНИИЭТО, г. Истра (технология совмещения кристаллов и опыт создания силовых модулей); Центральное Конструкторское Бюро Специальных Радиоматериалов ЦКБРМ (технология выравнивания поверхности с помощью анизотропного лака).

Круг потребителей технологии внутреннего монтажа широк. В перспективе он охватит всех производителей радиоэлектронной аппаратуры. Сегодня центрами развития технологии внутреннего монтажа могут стать: ОАО "Авангард" (г. С.-Петербург); ФГУП "Научно-исследовательский институт измерительных систем им. Ю.Е. Седакова" (г. Н. Новгород); НИИ Приборостроения им. В.В. Тихомирова (г. Жуковский); ВНИИРА (г. С.-Петербург); ОАО "МПОВТ" (г. Минск); ФГУП "ВНИИ "Сигнал" (г. Ковров); ОАО "НПП "Ра-

дар-ММС" (г. С.-Петербург); ФГУП "НПП "Исток" (г. Фрязино); ФГУП "НПП "Пульсар"(г. Москва); ОАО ВПК "НПО Машиностроения" (г. Реутов); ФГУП "ННИИРТ" (г. Н.Новгород); ООО НПФ "Микран" (г. Томск); ОАО "ММЗ" (г. Йошкар-Ола); ОАО "НИИ "Стрела" (г. Тула); ОАО "НПО "ЛЭМЗ" (г. Москва); ОАО "РИРВ"(г. С.-Петербург).

Предприятия электронного машиностроения России и Белоруссии выпускают все необходимые установки для компоновки комплектов технологического оборудования, которое используется в производстве функциональных радиоэлектронных блоков методом внутреннего и совмещенного (внутреннего и поверхностного) монтажа. Необходимо лишь адаптировать и доработать оборудование, чтобы создать комплекты оборудования для производства функциональных электронных блоков различных серий методом внутреннего монтажа. Наиболее же сложна и трудоемка разработка линий для массового сборочно-монтажного производства функциональных радиоэлектронных блоков по совмещенной технологии внутреннего и поверхностного монтажа.

**Сравнительные характеристики технологии поверхностного монтажа СБИС в BGA-корпусах и технологии внутреннего монтажа ИС**

	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 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 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 невелика	Вес кристалла минимален, кристалл находится внутри платы, соединяющие слои очень пластичны
Быстродействие	Наличие выводов и многоуровневая разводка ПП, невозможность близкого размещения исполнительных элементов и СБИС приводят к снижению быстродействия	Быстродействие электронных блоков, исполненных по технологии "внутреннего монтажа", в несколько раз, а и 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% 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	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. Надежность аппаратуры дает колоссальный экономический эффект
Массогабаритные характеристики	Электронные блоки, исполненные по технологии поверхностного монтажа, имеют габариты, в 2–3 раза меньше, 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

Сегодня возникла острая необходимость в новых принципах влагозащиты изделий, эксплуатируемых в особо жестких условиях воздействия климатических факторов. Этому способствовали рост числа радиоэлементов, в том числе бескорпусных, применение безвыводных пассивных и активных компонентов, высокоомных ИЭТ, особенно чувствительных к токам утечки, новых миниатюрных мощных ИС с большим количеством выводов, монтируемых на печатные платы с шагом меньше 0,625 мм. Кроме того, использование миниатюрных многоконтактных соединений приводит к необходимости искать новые принципы влагозащиты изделий, эксплуатируемых в особо жестких условиях воздействия климатических факторов.

Уникальным способом обеспечения надежной защиты электронных устройств различного назначения является технология нанесения полимерных покрытий из газовой фазы в вакууме. Покрытия, получаемые вакуумным осаждением, существенно отличаются по структуре и свойствам от покрытий, получаемых из жидких сред, и реализуют свои защитные свойства при толщине 12–15 мкм. Основными их преимуществами являются: высокие электроизоляционные свойства, низкая газо- и влагопроницаемость, возможность формирования покрытия при нормальных температурах, однородность покрытия по толщине на изделиях очень сложной конфигурации, отсутствие токсичности.

Наиболее изучены и широко применяются в промышленности полипараксилиленовые покрытия (ППКП), которые получают вакуумпиролитической полимеризацией из цикло-ди-л-ксилиленов.

ППКП наносятся на специальных вакуумных установках. Покрытие толщиной 5–10 мкм не содержит точечных отверстий и благодаря низкой паро- и газопроницаемости характеризуется исключительно высокой влагостойкостью и устойчивостью к проникновению коррозирующих жидкостей и газов. Кроме того, толщина наносимого слоя равномерна, поэтому исключается образование натеков, оголение острых кромок, непрокрытых мест, например, под элементами сложных электронных схем и в узких каналах.

В отличие от лаковых покрытий, когда для обеспечения требуемых защитных свойств покрытие осуществляется методом многократного нанесения материала толщиной 50–80 мкм, при использовании ППКП эквивалентное по защитным свойствам покрытие наносится за одну операцию. Важной особенностью ППКП является отсутствие внутренних напряжений, так как осаждение идет из газовой фазы, минуя жидкую.

Решение о целесообразности применения ППКП всегда принимается исходя из условий эксплуатации изделия, конструктивно-технологического исполнения, экономических показателей, требований к чистоте и экологичности процесса.



ППКП весьма эффективны в электронных модулях с высокой плотностью монтажа, в том числе БИС, ГИС, и в первую очередь для влагозащиты модулей, изготовленных по технологии поверхностного монтажа.

ППКП можно использовать также для создания дополнительной защиты изделий микроэлектронной техники и резистивно-пленочных элементов, герметизированных в металлические или металлокерамические корпуса. В этом случае защиту получает каждый элемент конструкции, в том числе ИС, полупроводниковые приборы, резисторы и т. д., что в 3–5 раз повышает влагоустойчивость изделия в целом. В некоторых случаях можно также обойтись без общей герметизации изделия в корпус, составляющей до 30% от общей трудоемкости и стоимости изделия.

Однако применение лаковых покрытий в таких изделиях не решает проблемы защиты выводов и мест под микросхемами.

По своим электроизоляционным свойствам – электрической прочности, удельному объемному сопротивлению – ППКП примерно в 10 раз превосходит силиконовые покрытия и значительно лучше сохраняет свойства во влажной среде, что очень важно при защите высоковольтных устройств.

ППКП имеет следующие характеристики: электроизоляционные свойства в нормальных условиях  $\rho_v - 10^{17}$  Ом·см;  $E - 250$  кВ/мм,  $\text{tg } \alpha - 0,0002$ ,  $\epsilon - 2,65$ ; рабочий диапазон температур  $- 100^{\circ} - 150^{\circ}\text{C}$ .

В настоящее время серийное производство установок для нанесения покрытия отсутствует. ООО "Базальт" (С.-Петербург) изготавливает установки в соответствии с конкретными требованиями заказчика, производит модернизацию существующих установок. На предприятии имеется действующее оборудование и типовой технологический процесс, отвечающий требованиям стандарта ОСТ В107.460007.008-2000.

Доклады специалистов, которые сегодня занимаются разработкой и выпуском технологического оборудования, материалов и технологических процессов для производства функциональных радиоэлектронных блоков на печатных платах, позволяют сделать вывод о том, что технологический фундамент советской отечественной электроники полностью не утрачен, а в некоторых ключевых направлениях сохранен и развивается. В большинстве докладов проходило утверждение о том, что технологии внутреннего монтажа кристаллов в производстве функциональных радиоэлектронных блоков применять просто необходимо.

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

