

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

**А. В. Архипов, Б. Н. Березков**

**Защитные покрытия для электронной аппаратуры,  
работающей в тяжелых условиях**

Электронное учебное пособие

САМАРА  
2011

УДК 621.81

Авторы: **Архипов Алексей Владимирович,**  
**Березков Борис Николаевич**

**Архипов, А. В. Защитные покрытия для электронной аппаратуры, работающей в тяжелых условиях [Электронный ресурс] :** электрон. учеб. пособие / .А. В. Архипов, Б. Н. Березков; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). - Электрон. текстовые и граф. дан. (0,2 Мбайт). - Самара, 2011. - 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

Приводятся сведения о материалах, применяемых для защиты печатных узлов ЭС от внешних воздействий. Рекомендуется при изучении дисциплин «Технология РЭС» (9, 10 семестр) студентам специальности 210201.65, «Технология производства электронных средств» (7, 8 семестр) направления 211000.62., «Технология поверхностного монтажа» (семестр В), магистрантам направления 211000.68. кафедра КиПРЭС радиотехнического факультета.

© Самарский государственный  
аэрокосмический университет, 2011

## Содержание

1. Причины, приводящие к необходимости нанесения защитных покрытий	4
2. Характеристики влагозащитных покрытий	8
2.1. Жизнеспособность смеси и срок хранения	8
2.2. Вязкость и содержание твердой составляющей	8
2.3. Отверждение	9
2.4. Электрические свойства	10
2.5. Влагопроницаемость / влагопоглощение	11
2.6. Химическая совместимость и химическая стойкость	11
2.7. Механическая стойкость	11
3. Виды полимерных покрытий	12
3.1. Acrylic (AR)	12
3.2. Urethane (UR)	13
3.3. Epoxy (ER)	14
3.4. Silicone (SR)	16
3.5. Parylene (XY) – (полипараксилилен, парилен)	17
3.6. Многополимерные системы	18
4. Методы нанесения влагозащитных покрытий	20
4.1. Погружение	20
4.2. Селективное автоматизированное нанесение	21
4.3. Распыление	22
4.4. Нанесение покрытия кистью	24
5. Список использованных источников	25

## **ПРИЧИНЫ, ПРИВОДЯЩИЕ К НЕОБХОДИМОСТИ НАНЕСЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ**

Надежность и длительность срока службы изделия электронной техники находится в зависимости от условий и режимов эксплуатации, их конструкции и свойств материалов. Нарушение работоспособности может быть вызвано воздействием ряда факторов. В первую очередь это:

- влияние агрессивной окружающей среды;
- тепловое старение.

Климатические факторы, влияющие на процессы деградации РЭС, достаточно взаимосвязаны между собой и весьма сильно ускоряют протекание разрушающих электрохимических реакций. В нормальных климатических условиях процессы деградации протекают медленнее.

Печатный монтаж повышенной надежности должен выдерживать следующие воздействия атмосферной среды:

- повышенная влажность в течение длительного времени;
- частые перепады температуры;
- химическая загрязненность среды (сернистый газ, хлориды, аммиак);
- пыль;
- солнечная радиация.

Влагозащитные покрытия призваны уменьшить влияние этих факторов на деградационные процессы в радиоэлектронной аппаратуре.

Печатный узел, не защищенный влагозащитным покрытием, при длительном хранении во влажной среде будет поврежден и при включении с большой долей вероятности выйдет из строя.

Причиной этого будет гигроскопичность подложки печатной платы либо адсорбированный на поверхности слой влаги. В условиях нормальной влажности, постоянной температуры и отсутствия пыли основание печатной платы обладает высоким сопротивлением изоляции и малыми токами утечки. При повышенной влажности, перепадах температуры, наличии пыли, на поверхности платы адсорбируется слой влаги и загрязнений. Этот слой обладает ионной проводимостью, и уже он, а не диэлектрический слой

основания ПП определяет прочность промежутка между проводниками и токи утечки. Ионогенные примеси, не отмывшиеся после пайки, усугубляют положение, увеличивая токи утечки на три-четыре порядка. При включении такого узла возникнут электролитические процессы, приводящие к отказу узла.

Очень опасным является образование под действием влаги гальванических пар, облегчающееся наличием в схемах разнородных металлов (проводники, припой, гальванопокрытия и т. д.). Вследствие этого явления возникает электролитическая коррозия, способная приводить к полному разрушению проводников тонких сечений и металлических покрытий.

Известно, что влагозащитное покрытие не обеспечивает полной изоляции печатного узла. Поэтому повышенная влажность в совокупности с некачественной очисткой печатного узла перед нанесением влагозащитного покрытия может привести к осмотическим процессам. Из-за загрязнений во влажной среде под покрытием образуется концентрированный раствор различных солей, и тем самым создаются условия для осмоса, т. е. начинается интенсивное перемещение влаги под покрытие. Скорость такого перемещения прямо пропорциональна разности концентраций раствора под покрытием и раствора в наружной пленке влаги. В результате под лаковым покрытием из-за скопившейся жидкости возникает значительное давление, приводящее к отслаиванию и вспучиванию покрытия. Осмотическое накопление влаги под лаковым покрытием при функционировании аппаратуры неизбежно приводит к образованию токопроводящих мостиков, т. е. к отказу печатного узла.

Одновременное присутствие в изоляционном зазоре влаги, растворимых загрязнений и электрического напряжения создает условия для протекания электролиза, являющегося основой электрохимического процесса отказа. В результате электролиза проводник-анод растворяется, отдавая воде положительно заряженные ионы металла, которые, направляясь к проводнику-катоде, восстанавливаются на нем до металлического состояния, образуя в изоляционном зазоре проводящие перемычки дендритоподобной рыхлой структуры. В результате этих процессов за несколько минут в водной среде

могут образоваться нитевидные кристаллы толщиной 2...20 мкм и длиной до 12 мм.

После образования перемычки кристаллы постепенно утолщаются до 0,1 мм, приобретая отчетливый металлический блеск. Сопротивление таких кристаллов может достигать до 1 Ом. Таким образом, происходит выход из строя изоляции между печатными проводниками.

Скорость образования проводящих перемычек определяется материалом проводников, относительной влажностью среды, смачиваемостью, водо- и влагостойкостью изоляции, величиной напряжения.

Для металлических деталей РЭС характерна атмосферная коррозия, протекающая под тонкой пленкой влаги на поверхности изделия в присутствии кислорода воздуха.

С увеличением влажности или температуры процесс коррозии ускоряется. Обычно коррозия оказывает самое сильное разрушающее действие при часто повторяющейся конденсации в сочетании с повторным испарением.

Наличие посторонних веществ на металлических поверхностях, например остатков флюса, других остатков производственных процессов – грязи, отпечатков пальцев и т. п., может вызвать или ускорить коррозию при наличии влажности.

Наиболее опасные условия коррозии создаются в присутствии сернистого газа, концентрация которого значительна в атмосфере промышленных городов и жилых помещений. Сернистый газ, растворяясь в пленке влаги, повышает ее кислотность и электропроводность и тем самым ускоряет коррозию.

Плесневые грибки не имеют хлорофилла и поэтому используют органические вещества, на которых происходит их рост. Плесневые грибки содержат большое количество ферментов, которые катализируют процессы разложения. Помимо питательных веществ для развития грибков нужна влага, так как грибковые нити не имеют защиты от испарения. Влага не обязательно должна быть в виде жидкости. Достаточно, чтобы влажность воздуха была 70...100 %, во всяком случае, не ниже 65 %. При предельной влажности 65...70 % могут развиваться только отдельные виды грибков. Температура для роста не

играет существенной роли, но свет, особенно ультрафиолетовая и инфракрасная части спектра, сильно тормозят их развитие. Способствует росту грибков неподвижность воздуха. Мицелий плесневого грибка состоит из воды с высоким содержанием белка и питательных солей. По нему может происходить закорачивание электрической цепи. Кроме того, органические кислоты, входящие в такой электролит, ускоряют коррозию токонесущих участков.

На рисунке 1 представлено влияние различных условий и режимов эксплуатации РЭС на их надежность.

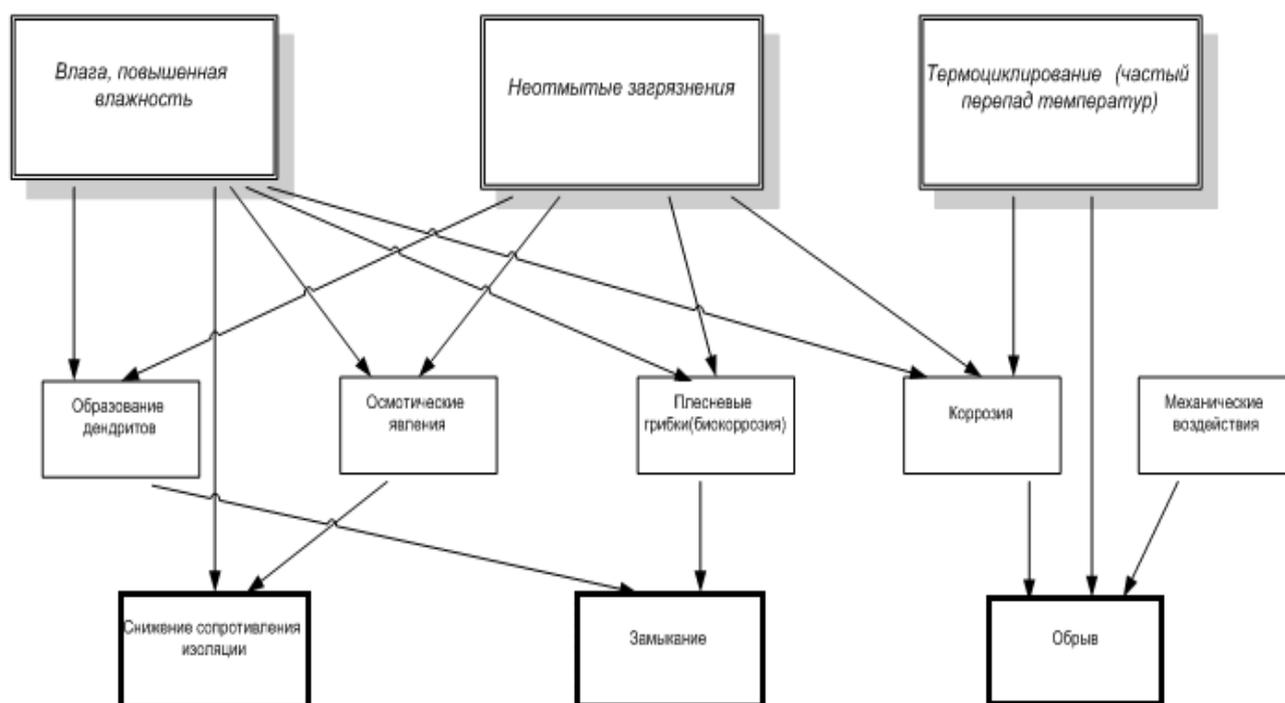


Рисунок 1 – Зависимость надежности РЭС от условий и режимов их эксплуатации

С учетом функционального назначения аппаратуры (бытовая, промышленная, военного назначения), продолжительности и характера воздействия окружающей среды (влаги, агрессивные газы, радиация, тепло) выбирается соответствующий вид влагозащитного покрытия печатных узлов. Влагозащитными покрытиями называют полимерные покрытия печатного узла с целью защиты его от влаги, агрессивных сред, перепадов температуры, механических воздействий. Толщина влагозащитных покрытий составляет 25...75 мкм.

## 2 ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЛАГОЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

### 2.1 Жизнеспособность смеси и срок хранения

Жизнеспособность материала влагозащитного покрытия – это период времени после приготовления, в течение которого материал еще может быть эффективно нанесен до начала его затвердевания. Это важный фактор при планировании операции покрытия, т. к. влияет на стоимость и на объемы нанесения.

Приемлемой считается жизнеспособность смеси от 30 минут до 3 часов при комнатной температуре. Низкая жизнеспособность неизбежно приведет к излишней потере материала во время нанесения и может приводить к неоднородной толщине покрытия вследствие быстрого загустевания материала. Низкая жизнеспособность – недостаток многих прежних двухкомпонентных составов. Современные однокомпонентные покрытия имеют увеличенную жизнеспособность, иногда равную сроку хранения материалов.

Срок хранения определяется временем, в течение которого материал может находиться при заданной температуре в оригинальной нераспечатанной упаковке без явного ухудшения своих свойств.

### 2.2 Вязкость и содержание твердой составляющей

В большинстве случаев наиболее технологичны составы с низкой вязкостью (менее 3000 сПз), позволяющей жидкому покрытию легко растекаться вокруг компонентов во время нанесения и заполнять пространства под компонентами.

Однако, при покрытии компонентов с острыми углами или выступающими выводами желательна высокая вязкость материала.

Вязкость должна быть достаточной, чтобы обеспечить галтель на границе компонента и платы, где не может быть обеспечено полное проникновение покрытия под компонент.

Материал покрытия должен иметь оптимальную или близкую к оптимальной вязкость для данной конкретной задачи.

Это минимизирует или даже устранит потребность разбавления, а следовательно, и дополнительные затраты труда.

Твердая составляющая представляет собой часть материала покрытия, из которого будет сформирована влагозащитная пленка после отверждения. Покрытия обычно поставляются в виде жидкости, представляющей собой раствор материала покрытия. При этом после нанесения растворитель испаряется. В последнее время наблюдается тенденция к переходу на материалы на водной основе, где в качестве растворителя используется вода.

Содержание твердой составляющей может лежать в пределах 15–45 %. Но существуют материалы, состоящие из чистого покрытия без растворителя.

Содержание твердой составляющей влияет на толщину слоя покрытия, наносимого за один проход, и соответственно, на количество материала, требующегося для достижения требуемой толщины покрытия.

### 2.3 Отверждение

Отверждением называют необратимый переход реакционноспособных олигомеров (полимеров сравнительно небольшой молекулярной массы) в нерастворимые и неплавкие (так называемые сшитые) полимеры. Происходит с участием специальных реагентов (отвердителей) или под действием тепла, излучений высокой энергии и других факторов.

Процесс отверждения материала влагозащитного покрытия состоит из нескольких этапов.

На первом этапе материал покрытия теряет способность к растеканию и не прилипает при прикосновении. Этот этап должен быть минимальным по продолжительности для уменьшения оттока покрытия с острых ребер компонентов и выводов.

На втором этапе покрытие можно трогать без повреждения, что облегчает транспортировку и упаковку изделия.

На этапе полной полимеризации покрытие достигает оптимальных защитных и рабочих характеристик. В конце этого этапа важно убедиться, что покрытие полностью полимеризовалось. Поэтому до выпуска любого печатного

узла проводят климатические эксплуатационные испытания. Также проводят тест на ускоренное старение.

Метод определения времени и степени высыхания (отверждения) влагозащитного покрытия регламентирует ГОСТ 19007-73.

Температура отверждения является важным фактором. Чем выше температура, тем быстрее происходит отверждение.

Очевидно, что отверждение при комнатной температуре требует меньше затрат, чем при повышенной температуре. Обычно при комнатной температуре влагозащитным покрытиям до полной полимеризации требуется до 24 часов.

В печи влагозащитные покрытия могут полимеризоваться за короткий промежуток времени, вплоть до 30 секунд. Быстроотверждающиеся покрытия обычно представляют собой двухкомпонентную систему.

Для массового производства желательно применение самых быстроотверждающихся покрытий. Однако, надо иметь в виду, что высокая температура отверждения может привести к повреждению термочувствительных компонентов на плате.

В практике считается, что время второго этапа отверждения не должно превышать 30 минут при комнатной температуре.

#### 2.4 Электрические свойства

Влагозащитное покрытие должно обладать хорошими электроизоляционными свойствами. Эти свойства не должны ухудшаться с изменением температуры и влажности. Кроме того, покрытие не должно отрицательно влиять на характеристики электрической схемы. Например, некоторые покрытия при низких частотах не влияют на работоспособность схемы, но приводят к отказу схемы на частотах выше 10 кГц. Диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь возрастают, тогда как сопротивление и электрическая прочность диэлектрика уменьшаются. Повышение тангенса угла диэлектрических потерь означает увеличение потерь полезной энергии и связанный с этим нагрев аппаратуры. Добротность колебательных контуров обычно уменьшается при увеличении частоты и толщины покрытия.

## 2.5 Влагопроницаемость / влагопоглощение

Поглощение влаги покрытием, как из воздуха так из водяной пробки на поверхности печатного узла влечет за собой уменьшение удельного объемного сопротивления, а также увеличение поверхностных токов. Следовательно, покрытия должны иметь низкие показатели влагопроницаемости и влагопоглощения.

## 2.6 Химическая совместимость и химическая стойкость

Влагозащитное покрытие должно быть электрохимически совместимым с материалом печатного узла, компонентами и химическими соединениями, оставшимися на плате в результате выполнения предыдущих технологических операций. Они не должны разъедать корпуса компонентов и удалять с них маркировку. Некоторые химические соединения могут влиять на адгезию влагозащитного покрытия с платой, препятствовать отверждению покрытия или замедлять его. Перед применением покрытия настоятельно рекомендуется провести испытания на совместимость покрытия и материала платы. Кроме этого рекомендуется провести испытания поверхностного сопротивления изоляции конечного продукта. Этот тест позволит выяснить, существует ли электрохимическое взаимодействие между покрытием и различными химическими соединениями – паяльной маской, клеем, остатками флюса и промывочной жидкости.

Большинство материалов влагозащитных покрытий обладают весьма высокой устойчивостью в различных химически агрессивных средах. Однако, если печатный узел будет подвергаться продолжительному воздействию агрессивных химических соединений, таких как углеводороды, необходимый уровень защиты могут обеспечить только покрытия на основе эпоксидных смол.

## 2.7 Механическая стойкость

Влагозащитное покрытие должно обеспечивать определенную ударную вязкость и устойчивость к истиранию. Покрытие должно быть максимально эластичным, иначе самая хорошая адгезия покрытия к плате не уберет его от отслоения.

### 3 ВИДЫ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ

После проведения длительной селекционной работы за рубежом были отобраны пять основных классов полимеров, пригодных для использования во влагозащитных покрытиях печатных узлов:

- полиакриловые – «acrylic (AR)»,
- полиуретановые – «urethane (UR)»,
- эпоксидные – «эроху (ER)»,
- кремнийорганические – «silicone (SR)»,
- полипараксиленовые – «parylene (XY)»,

а также их сочетания.

Придерживаясь этой классификации, рассмотрим основные свойства этих полимеров и покрытий, получаемых на их основе, (таблица 1).

Таблица 1– Сравнение свойств базовых полимеров

Полимер	Модуль упругости	Устойчивость к растворителям	Адгезия	Ремонтопригодность	Максимальная температура применения, °С
Полиакрилат	Высокий	Отличная	Хорошая	Трудная	125
Полиуретан	Высокий	Хорошая	Хорошая	Трудная	125
Эпоксидная смола	Высокий	Отличная	Хорошая	Трудная	150
Силикон	Низкий	Средняя	Хорошая	Легкая	175
Парилен	Высокий	Отличная	Хорошая	Трудная	150

#### 3.1 Acrylic (AR)

Различают два типа полиакриловых лаков:

- лаки на основе термопластичных полимеров;
- лаки на основе термореактивных полимеров.

Эти лаки объединяет наличие в полимерных цепях пленкообразующего функциональных группировок  $-\text{CH}_2\text{CH}(\text{COOR})-$ . Отличия в структуре

полимеров: в одном случае— это множество линейных полимерных цепочек, в другом – единая пространственная сетка «сшитых» полимеров. Различия в структуре обуславливают различия в свойствах акриловых полимеров и в свойствах покрытий на их основе.

Полиакриловые лаки, основу которых составляют растворы термопластичных полимеров, очень удобны в применении. Из них можно получать покрытия естественной сушки. Лаковые покрытия на основе акриловых полимеров и сополимеров отличаются высокой атмосферно- и светостойкостью. Они эластичны, стойки к удару, обладают высокой адгезией. Покрытия сохраняют растворимость в органических растворителях, легко удаляются нагреванием до 150 °С и поэтому очень удобны в ремонте. Однако, способность растворяться иногда из достоинства может превращаться и в недостаток.

Термореактивные пленкообразователи могут быть получены при сополимеризации акрилатов или метакрилатов с акриловым мономером, содержащим функциональные группы (гидроксильные, карбоксильные, амидные) и виниловым мономером, например стиролом.

Уровень физико-механических свойств «сшитых» полимеров обычно бывает гораздо выше, чем у линейных полимеров.

### 3.2 Urethane (UR)

Полиуретановые (уретановые) покрытия обеспечивают отличную химическую стойкость в сочетании с хорошими показателями влагопоглощения, диэлектрическими и температурными характеристиками.

Однако, высокая стойкость к химическому воздействию является причиной того, что эти покрытия очень трудно удалять при ремонте.

При ремонте или замене элемента должен быть применен специальный компаунд. Но этот компаунд оставляет загрязнения, которые могут ухудшить характеристики узла и его надежность, также ухудшить адгезию нового покрытия. Поэтому после применения компаунда печатный узел необходимо тщательно отмывать.

При ремонте паять можно сквозь покрытие. В этом случае образуется буроватый остаток, который обычно не ухудшает характеристик платы, а лишь приносит вред ее внешнему виду.

Полиуретановые покрытия обычно выпускаются в виде одно- или двух компонентного состава.

Однокомпонентные полиуретановые влагозащитные лаки (HumiSeal 1A33, HumiSeal 1 A68, HumiSeal 1 A20) в настоящее время используются за рубежом для влагозащиты печатных узлов в военной технике, в авиации, в промышленной электронике.

Чистый (однокомпонентный) полиуретан, легко применять. Однако до полной его полимеризации иногда требуется 3-10 дней при комнатной температуре; чтобы сократить это время до нескольких часов, печатные узлы кратковременно нагревают до 85°C. С другой стороны, двухкомпонентный состав, достигает оптимальных свойств при повышенной температуре за 1–3 часа, но имеет время жизни от 30 минут до 3 часов.

### 3.3 Ероху (ER)

Благодаря удачному сочетанию физико-механических свойств материалы на основе эпоксидных смол получили очень широкое применение в технике. Эпоксидные смолы – олигомеры, содержащие в молекуле одну или более глицидиловых или эпоксидных групп. Под действием отвердителей они способны превращаться в сшитые (сетчатые) полимеры.

В России изготавливаются следующие марки смол: ЭД-16, ЭД-20, Э-40, Э-30, Э-41 и др. Для получения покрытий с улучшенными техническими характеристиками диановые смолы модифицируют жирными кислотами растительных масел или введением специальных сшивающих добавок.

Отверждение полимеров обычно сопровождается значительными объемными усадками и возникновением усадочных напряжений. Эпоксидные смолы обладают минимальной усадкой (3...6 %). Поэтому они очень широко используются в заливочных компаундах, а также в качестве полимерной основы влагозащитных покрытий. Покрытия на основе эпоксидных смол

обладают хорошей адгезией, высокими твердостью, химической стойкостью и электроизоляционными свойствами.

Для отверждения эпоксидных смол используют химические соединения, функциональные группы которых способны реагировать с эпоксидными или гидроксильными группами смолы с образованием полимеров пространственного строения (сшитых). Наибольшее распространение получил отвердитель, представляющий собой 50 % раствор гексаметилендиамина в этиловом спирте, выпускаемый под названием отвердитель № 1. Его недостаток – высокая токсичность и раздражающее действие на кожные покровы. Недостаток отвердителя в смеси, так же как и его избыток, обычно приводят к ухудшению качества получаемого покрытия. Следствие – необходимость тщательного соблюдения рецептуры. Отвердитель № 1 используется во влагозащитном лаке ЭП-730.

В отечественной промышленности для влагозащиты печатных узлов находит применение еще один эпоксидный лак – ЭП-9114. По своим техническим характеристикам он существенно не отличается от ЭП-730, однако выгодно отличается высоким содержанием нелетучих компонентов (около 85 %). Как следствие – возможность получения покрытия толщиной более 70 мкм при однослойном нанесении.

Но следует иметь в виду, что двухслойное или многослойное покрытие эффективнее однослойного той же толщины, поскольку часть пор первого слоя перекрывается при нанесении второго слоя и так далее.

Эпоксидные покрытия практически невозможно удалить во время ремонта, т.к. сама плата, корпуса компонентов также состоят из материалов на основе эпоксидных смол и могут подвергнуться агрессивному воздействию со стороны очищающих жидкостей. Эффективным методом ремонта платы или замены компонента является прожигание эпоксидного слоя паяльником или удаление его ножом.

Время полимеризации – среднее. Отверждение эпоксидного покрытия происходит в течение 1...3 часов при повышенной температуре или 4...7 дней при комнатной температуре.

### 3.4 Silicone (SR)

Силиконовые покрытия обеспечивают высокие температурные, диэлектрические показатели и влагоустойчивость, но обладают ограниченной химической стойкостью. Очень малое поверхностное натяжение обеспечивает проникновение во все участки печатного узла.

Главное достоинство силиконовых покрытий – в высокой термоустойчивости, вплоть до 200 °С. Их применение желательно при наличии на печатных узлах тепловыделяющих компонентов, таких как мощные резисторы.

Наряду с эпоксидными силиконовые покрытия могут вызвать трудности при ремонте, и они несколько дороже по сравнению с другими типами влагозащитных материалов.

Следует отметить, что силиконовые покрытия не идеальны. Так, их режим работы в условно влажной среде, как правило, в 10...20 раз хуже по сравнению с другими покрытиями.

Однокомпонентное силиконовое покрытие для полимеризации обычно требует наличия свободного гидроксильного радикала. Это значит, что оно не будет отверждаться в совершенно сухой атмосфере. В этом состоянии, до отверждения, он гигроскопичен. После отверждения, гигроскопичность снижается, но вследствие пористости материала захваченная им влага не испаряется.

Двухкомпонентные силиконовые покрытия используют другие механизмы отверждения, поэтому они менее гигроскопичны до отверждения. Тем не менее они практически так же пористы.

Любая незаполненная покрытием полость, особенно в комбинации с остатками флюса или другими гидрофильными загрязнениями, при эксплуатации во влажной среде может быть заполнена водой.

Помимо этого силикон имеет очень большой термический коэффициент расширения (ТКР) (300...350 ppm/°C) по сравнению с припоем (16 ppm/°C).

Кроме того, силиконы обладают еще одной уникальной особенностью. Будучи очень мягкими на ощупь, они приобретают высокую твердость при воздействии ударной нагрузки.

### 3.5 Parylene (XY) – (полипараксилилен, парилен).

Используемые традиционно эпоксидные, силиконовые, уретановые покрытия, получаемые из жидкой фазы, не могут обеспечить защиту микросхем с малым шагом выводов и тем более микросхем в корпусах BGA.

Париленовые покрытия выделяются своими уникальными свойствами и соответствующим этой уникальности способом получения, основанном на явлении вакуумной пиролитической полимеризации. Для получения таких покрытий необходимо иметь термическое и вакуумное оборудование.

Технология нанесения покрытия включает три основные стадии:

1) Возгонка в вакууме димера (ди-пара-ксилилена) при температуре 150 °С и остаточном давлении порядка 1 мм.рт.ст.

2) Термическое разложение (пиролиз) пара-ксилилена с образованием двух бирадикалов. Условия осуществления этой операции – остаточное давление 0,5 мм.рт.ст., температура 680 °С.

3) Осаждение бирадикалов на холодной поверхности печатного узла с одновременной полимеризацией. Осаждение происходит в условиях еще более глубокого вакуума (0,1 мм.рт.ст.), но уже при нормальной температуре.

Регулирование температуры печатного узла и скорости подачи манометра дает возможность влиять на свойства получаемого покрытия.

Париленовые покрытия характеризуются очень низким водопоглощением и низкой газо-, влагопроницаемостью. Эти покрытия обладают еще и выдающимися электроизоляционными свойствами. Как следствие, париленовые покрытия толщиной 6...40 мкм эквивалентны по защитным свойствам лаковым покрытиям толщиной 50...125 мкм.

Благодаря тому, что осаждение покрытия происходит из газовой фазы, в нем отсутствуют внутренние напряжения. По этой же причине:

- даже очень тонкое покрытие (5...10 мкм) не содержит сквозных пор – обязательного атрибута однослойных лаковых покрытий, получаемых традиционными методами;
- париленовое покрытие получается абсолютно одинаковым по толщине по всей поверхности печатного узла, включая острые кромки радиоэлементов;
- не существует проблемы нанесения покрытия в затененных зонах, например под микросхемами. Но по этой же причине чрезвычайно усложняется задача защиты участков поверхности печатных узлов там, где покрытия не должно быть.

Недостатками также являются:

- Неустойчивость покрытия к длительному воздействию ультрафиолета;
- Ограничения на типы используемых компонентов, вызванные высокой проникающей способностью покрытия (компоненты должны быть в герметичных корпусах и выдерживать воздействие вакуума).

### 3.6 Многополимерные системы.

Попытки объединить достоинства нескольких классов полимеров и одновременно избавиться от их недостатков иногда завершаются успешно. Так, за рубежом находят применение полимерные влагозащитные покрытия, включающие несколько различных по своей природе полимеров: acrylic/urethane (AR/UR), acrylic/silicone (AR/SR), и др. Связь между этими полимерами может быть химической, а может быть и топологической. Последняя может быть реализована благодаря образованию взаимопроникающих полимерных сеток.

Следует отметить, что использование акрилатов в многополимерных системах - не случайность, а осознанная закономерность. Развитие техники идет в направлении создания новых материалов, свободных от растворителей и отверждающихся значительно быстрее, чем традиционные материалы. Использование акрилатов позволяет легко реализовать «сверхбыструю» технологию отверждения покрытий под действием ультрафиолетового излучения. Говоря о многополимерных покрытиях, нельзя не сказать об отечественном эпоксидно-акриловом лаке УР-231, не только получившем

широкое распространение, но и хорошо зарекомендовавшем себя в производстве военной техники. Если быть более точным, то правильной будет сказать об алкидно-эпоксидно-уретановом лаке. Дело в том, что в покрытии лаком УР-231 присутствуют фрагменты структуры, характерные для трех классов полимеров: алкидные смолы, эпоксидные смолы и полиуретаны. В состоянии поставки это двухкомпонентная система, состоящая из раствора алкидно-эпоксидной смолы Э-30 и отвердителя (70 % раствора ДГУ в циклогексаноне). При отверждении эпоксидной смолы диизоцианатом (ДГУ) происходит взаимодействие изоцианатных групп и гидроксильных групп смолы с образованием полиуретановых связей.

Эпоксидную смолу Э-30 получают, модифицируя диановую смолу жирными кислотами растительного масла. (Диановые смолы линейного строения образуют непрочные покрытия с низкой твердостью и слабой адгезией). Разработчики лака использовали растительное масло тунгового дерева. В настоящее время изготавливается две модификации лака (ТУ-6-21-14-90): лак УР-231 и лак УР-231Л. Первый изготавливается с использованием смеси тунгового и льняного масел (50:50). Во втором используется только льняное масло. Технические характеристики первого значительно лучше. Лак Ур-231 применяется для защиты металлических изделий и печатных узлов всеклиматического исполнения, эксплуатируемых в интервале температур от -60 до +120 °С. Лак УР-231Л применяется для защиты металлических соединений и печатных узлов, эксплуатируемых в интервале температур от -60 до +120 °С в условиях умеренного и холодного климата. Лаки разбавляют до рабочей вязкости смесью ксилола и бутилацетата в соотношении 4:1. Время высыхания до степени 3 при 20 °С не более 8 ч; до степени 7 при 65±5°С не более 9 ч.

## **4. МЕТОДЫ НАНЕСЕНИЯ ВЛАГОЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ**

Эффективность влагозащитных покрытий в некоторой степени зависит от метода нанесения, который в свою очередь влияет на тип применяемого покрытия (некоторые поставщики предлагают специальные версии одних и тех же покрытий для различных методов нанесения). Существует четыре основных метода нанесения влагозащитного покрытия: погружением, селективное нанесение автоматом, распыление и нанесение кистью.

Дефекты с наибольшей вероятностью могут быть перекрыты при нанесении покрытий в несколько слоев. Каждый метод нанесения имеет свои преимущества и недостатки. Комбинация погружения и распыления дает лучшие результаты, чем любой из методов в отдельности.

### **4.1 Погружение.**

Погружение печатного узла в ванну с материалом влагозащитного покрытия – наиболее эффективный метод нанесения. Однако в этом случае требуется, чтобы конструкция печатного узла предусматривала возможность нанесения этим методом. Компоненты, на которые не должно наноситься влагозащитное покрытие (разъемы, потенциометры, предохранители и т.д.), должны быть сгруппированы на одном участке узла. В противном случае эти участки подлежат маскированию. Погружение способствует хорошему проникновению покрытия под компоненты и полному обволакиванию труднодоступных мест. Сложные поверхности и формы (такие как кубические элементы) могут быть эффективно покрыты только методом погружения.

Вертикальное погружение печатного узла в ванну гарантирует равномерность покрытия. Основными факторами, влияющими на качество покрытия погружением, являются скорости погружения и извлечения печатного узла из ванны. Обычно рекомендуется погружение со скоростью 15...30 см/мин. Такой скорости достаточно для удаления воздуха из-под корпусов компонентов и избегания образования воздушных пузырей. Это особенно важно при покрытии печатных узлов с компонентами поверхностного монтажа. Печатный узел должен быть извлечен из ванны после того как полностью прекратится выделение пузырьков. Для образования равномерной

пленки скорость извлечения должна быть ниже, чем скорость стекания материала влагозащитного покрытия в ванну (обычно 2,5...15 см/мин.). Однако следует иметь в виду, что понижение скорости извлечения приведет к уменьшению толщины покрытия. Для достижения лучших результатов температура материала в ванне должна поддерживаться на уровне 20...30 °С.

При нанесении влагозащитного покрытия погружением относительная влажность не должна превышать 65 %. В противном случае могут образоваться точечные дефекты, помутнение и ухудшение структуры поверхности.

Испарение растворителя из ванны увеличивает вязкость материала влагозащитного покрытия. Поэтому вязкость нужно постоянно контролировать и при необходимости разбавлять растворитель. Однако, потери растворителя в случае погружения меньше, чем при других методах нанесения.

Чтобы обеспечить оптимальную безопасность оператора машины, установки нанесения влагозащитных покрытий снабжаются аргоновыми газовыми ножами, устанавливаемыми над поверхностью материала покрытия в ванной. Подача аргона позволяет:

- снизить потери растворителя;
- исключить образование пленки на поверхности ванны из-за контакта материала покрытия с воздухом.

Ванна также снабжается стационарным насосом перекачки для лучшей повторяемости результатов и постоянного контроля за уровнем погружения.

#### 4.2 Селективное автоматизированное нанесение.

Наиболее популярный современный метод нанесения влагозащитных покрытий – селективное автоматизированное нанесение.

Высокоточное автоматическое оборудование выборочно наносит покрытие на печатный узел, который загружается в автомат вручную либо по конвейеру. Конвейер встраивается в оборудование для использования его в поточной линии. Преимуществами селективного автоматизированного нанесения является относительно высокая производительность, экономичность и возможность использования закрытых (герметичных) камер для предотвращения загрязнения материалов.

Главный недостаток метода – цена. Автоматы селективного нанесения более дорогие по сравнению с другим оборудованием нанесения покрытий. Метод селективного покрытия не устраняет необходимость маскирования, а лишь помогает минимизировать его. Некоторые автоматы используют комбинации двух типов распылителей: игла/насадка (наносит капли материала вокруг компонентов и труднодоступных зонах печатного узла) и распылитель-пульверизатор (для нанесения покрытия на большие участки платы). Материал, наносимый с помощью дозирующей иглы, имеет форму капель (не распыляется). Однако дозирование – процесс медленный. Существует и еще один недостаток. Большинство дозаторов имеют склонность к капанию, т.к. клапаны, управляющие процессом дозирования, располагаются далеко от иглы. Капание – неконтролируемый процесс. При этом появляется риск попадания капли на непокрываемые области печатного узла (например, разъемы) или на конвейер, приводя к снижению качества нанесения и загрязнению агрегата.

Нанесение из распылителя-пульверизатора имеет свои недостатки. Этот процесс может приводить к образованию избытка материала покрытия на отдельных участках печатного узла. Во время нанесения большинство частиц осаждаются в требуемой области, но некоторый процент частиц будет оседать и за ее пределами. В результате получаются неравномерные или неровные края, которые могут быть недопустимыми в некоторых случаях.

Общим правилом при проектировании печатных узлов, подлежащих влагозащите, является установка допуска  $\pm 2$  мм между покрываемыми и непокрываемыми участками.

#### 4.3 Распыление.

Распыление используется в тех случаях, когда конструкция печатных узлов не позволяет наносить влагозащитное покрытие погружением. Обычно это печатные узлы с беспорядочным расположением непокрываемых участков.

Распыление – трудоемкий метод, требующий больших затрат времени на маскирование. Несмотря на это, на сегодняшний день этот метод наиболее распространен в мире. Этот метод нанесения влагозащитного покрытия обеспечивает привлекательный внешний вид печатного узла.

Метод распыления имеет три варианта:

- автоматическое распыление,
- ручное распыление,
- аэрозольное распыление.

### *Автоматическое распыление*

Нанесение покрытия с помощью автоматов более эффективно по сравнению с любыми ручными методами, которым свойственны невысокая точность и низкая повторяемость. Использование автоматического оборудования имеет смысл, если объемы производства достигают 350...700 плат в час.

Автоматы наносят покрытие через совокупность дозирующих игл и распылительных головок по одной из стандартных программ или программе, составленной пользователем. Все методы распыления обеспечивают лучший результат, когда печатный узел находится в горизонтальном положении. Благодаря этому исключается образование подтеков и скопление излишнего материала на границах компонентов.

Распылительные камеры автоматов имеют системы вентиляции и улавливания избытка материала, а также фильтры. Сушка материала влагозащитных покрытий производится в специальных инфракрасных и конвекционных зонах.

### *Ручное распыление.*

Это популярный метод нанесения покрытий, который применяется при малых объемах производства. Ручное распыление имеет следующие недостатки:

- не может быть гарантирована 100% повторяемость,
- теневые эффекты и недостаток покрытия под компонентами,
- безопасность операторов и пожарная безопасность должны быть обеспечены на очень высоком уровне,
- необходимость обеспечения вентиляции рабочей зоны,

Вследствие повышенного содержания растворителя при ручном распылении содержание твердых частиц составляет обычно 15...20 %. Поэтому для

получения гарантированной толщины пленки 25...75 мкм требуется два-три нанесения на каждую сторону платы.

#### *Аэрозольное распыление.*

Этот метод удобен, но непригоден для массового производства, т.к. содержание твердой составляющей очень низкое (иногда менее 5 %) по сравнению с методами ручного и автоматизированного нанесения. По этой причине для формирования покрытия требуемой толщины необходимо не менее 4-х нанесений.

#### 4.4 Нанесение покрытия кистью.

Применение этого метода не оправдано в массовом производстве. Нанесение кистью очень удобно при ремонте и при обработке опытных образцов. Важно обратить внимание на то, что чем толще покрытие, тем выше вероятность брака вследствие захвата пузырьков воздуха.

При этом методе рекомендуется использовать кисти со щетиной из натуральных материалов во избежание скопления электростатического разряда.

### **Список использованных источников**

1. Медведев А.М. Сборка и монтаж электронных устройств. М.: Техносфера, 2007. – 256 с.
2. Пособие «Введение в технологию поверхностного монтажа». /ЗАО Предприятие ОСТЕК – М.: 2009 – 286 с.
3. Уразаев В.Г. Влагозащита печатных узлов. М.: Техносфера, 2006. – 344 с.
4. Уразаев В.Г. Влагозащита-2 //Технологии в электронной промышленности. 2005, №3.
5. Антонов С. Покрытия для защиты электроники от воздействия внешней среды. //Производство электроники. 2007, № 2.