

В поисках методов влагозащиты изделий нового поколения, разработанных и производимых Государственным Рязанским приборным заводом

Радиоэлектронная аппаратура, предназначенная для работы в «жестких» условиях эксплуатации, требует использования специальных методов влагозащиты. Особую остроту данная проблема приобрела на современном этапе. Резко возросла интеграция компонентов, увеличилась плотность монтажа, значительно выросли требования к точности изготовления деталей, сборочных единиц, печатных плат (особенно многослойных печатных плат до 5-го класса точности). Конструктивные требования тяжким бременем легли на плечи технологов по механическим и сборочным работам, изготовлению печатных плат, получению влагозащитных покрытий и др.

Михаил Грибков
Оксана Ситайло

market@grpz.ru

Для современных бортовых цифровых вычислительных машин (БЦВМ), разработанных и изготавливаемых Государственным Рязанским приборным заводом (ГРПЗ), характерны все названные конструктивные особенности. В связи с этим возникла необходимость в исследованиях по получению высококачественных влагозащитных покрытий с улучшенными свойствами. В нашей статье направление «влагозащита» выделено еще и потому, что из общей совокупности факторов, влияющих на надежность изделий, оно наиболее уязвимо из-за кажущейся второстепенности.

Для влагозащиты радиоэлектронной аппаратуры, работающей в «жестких» условиях, традиционно применяются лаки УР-231, ЭП-9114, ЭП-730, которые позволяют получить глянцевые покрытия, механически прочные и устойчивые к периодическому воздействию минерального масла, бензина, спирто-нефрасовой смеси. Такие покрытия обладают водостойкостью, электроизоляционными и радиопрозрачными свойствами, имеют заслуженно высокую репутацию, подтвержденную многолетним опытом эксплуатации в жестких климатических условиях в широком интервале температур (от -60 до $+120$ °С). Изделия, покрытые лаками, выдерживают следующие виды испытаний:

- воздействие повышенной температуры (60 °С в течение 24 ч);
- воздействие пониженной температуры (-50 °С в течение 24 ч);
- воздействие пониженного атмосферного давления (30 мм рт. ст. при температуре 25 ± 10 °С в течение 24 ч);
- воздействие циклического изменения температуры (от 85 до -60 °С со скоростью изменения температуры 2 °С/мин, три цикла по два часа);

- воздействие атмосферных конденсирующихся осадков (давление 760 мм рт. ст., температура 35 °С, относительная влажность воздуха 98% в течение 8 ч; далее давление 170 мм рт. ст., температура -20 °С в течение 3 ч; далее давление 760 мм рт. ст., температура 35 °С, относительная влажность воздуха 95% в течение 2 ч);
- воздействие повышенной влажности (температура 40 ± 2 °С, относительная влажность воздуха $95 \pm 3\%$, 12 суток);
- воздействие соляного (морского) тумана (7 суток). После всех испытаний в составе изделия покрытие не должно иметь отслоений, вздутий, пузырьковой сыпи, шагрени и побеления, не устраняющегося при просушке; под покрытием на печатных проводниках, местах пайки и корпусах ЭРЭ не должно быть коррозионных изменений; на корпусах ЭРЭ должна сохраняться читаемая маркировка.

К недостаткам лаков можно отнести:

1. Длительный технологический цикл. Общее время нанесения трех-четырех слоев покрытия с многочасовой послышной сушкой составляет от 2 до 4 суток.
2. Недостаточная проникающая способность и склонность к образованию перемычек между выводами ЭРЭ с малым шагом и близко расположенными ЭРЭ.
3. Оптимальные защитные свойства покрытия проявляются при толщине 40–80 мкм. Толщина покрытия на острых кромках и выводах ЭРЭ, тонких печатных проводниках обычно не регламентируется, а на практике бывает на 20–50% меньше, чем на остальных поверхностях;
4. Низкая ремонтпригодность.

В связи с появлением в изделиях последних поколений многослойных печатных плат новой комплектации с низкой посадкой ЭРЭ и использованием более

плотного монтажа возникла необходимость применения влагозащитного покрытия, включающего данные недостатки. Для определения возможности замены традиционно применяемых лаков на предприятии были проведены работы по поиску и отработке новых технологий нанесения прогрессивных влагозащитных покрытий, отвечающих современным требованиям качества. Опробовано несколько современных материалов, широко рекламируемых для влагозащиты радиоэлектронной аппаратуры, заявленные свойства которых отвечают указанным требованиям.

На печатные узлы, изготовленные на нашем предприятии, в сторонней организации были нанесены покрытия по вариантам 1, 2, 3, 4, 5 (см. ниже). Покрытия однослойные, ремонтпригодные, а в случаях 1, 2, 4 не требующие дорогостоящего оборудования для выполнения соответствующей операции.

Результаты испытаний:

1. Полимерная композиция «Поливоск» — дисперсия низкомолекулярного полиэтилена в органических растворителях с различными добавками. Покрытие матовое, прозрачное. Наносится методом окунания. После проведения климатических испытаний внешний вид покрытия не изменился. Однако интервал рабочих температур покрытия $-60...+85$ °С и недостаточные электроизоляционные свойства не вполне удовлетворяют требованиям, которые предъявляются к нашим изделиям.
 2. «Эпилам» — раствор фторсодержащих поверхностно-активных веществ в органических растворителях. Покрытие матовое, прозрачное. После проведения климатических испытаний наблюдались побеление, интенсивная пузырьковая сыпь и единичные отслоения.
 3. Полипараксилиленовое покрытие. Данное покрытие требует специального оборудования для нанесения (наносится методом вакуумной пиролитической полимеризации). Покрытие матовое, сплошное, прозрачное. После проведения климатических испытаний покрытие матовое, менее прозрачное, появляется единичная пузырьковая сыпь (допустимая по ОСТ 107.9.4001-88).
 4. Кремнийорганическое покрытие «Универсал». Покрытие глянцевое, равномерное, без раковин, вздутий и отслоений. Имеются отдельные включения (эффект инея допустается), пузыри. После проведения климатических испытаний на печатных узлах наблюдается побеление покрытия вокруг отдельных мест пайки, матовость покрытия, интенсивная пузырьковая сыпь.
 5. Полиакриловое покрытие EG-1700. Данное покрытие требует специального оборудования для нанесения (установка с холодильным циклом для улавливания и конденсации паров растворителя). Покрытие матовое, прозрачное, сплошное. После проведения климатических испытаний (кроме «морского тумана») внешний вид покрытия не изменился. После проведения испытаний на воздействие «морского тумана» наблюдались помутнение и нарушение целостности покрытия.
- В результате анализа результатов проведенных работ нами было выбрано полипараксилиленовое покрытие, в большей степени соответствующее требованиям, предъявляемым к нашим изделиям.
- Преимущество данного покрытия заключается в следующем:
1. Нанесение покрытия осуществляется на автоматизированной установке методом вакуумной пиролитической полимеризации из газовой фазы. Порошкообразный димер возгоняется в вакууме и разлагается при высокой температуре с образованием бирадикалов. Далее происходит их конденсация на охлажденной поверхности печатного узла с одновременной полимеризацией. При этом образуется прозрачная полимерная пленка без пор. Толщина получаемой пленки может варьироваться от 0,1 до 50 мкм.
 2. Высокая проникающая способность в микротрещины, отсутствие перемычек и одинаковая толщина покрытия на поверхности любой конфигурации (выводы ЭРЭ, острые кромки, узкие каналы).
 3. Надежные влагозащитные свойства покрытия.
 4. Короткий технологический цикл (8–24 ч).
 5. Экологичность. В процессе нанесения покрытия не используются растворители. Отходы производства (полимерная пленка) не токсичны и могут быть утилизированы вместе с бытовыми отходами.
- С целью внедрения на нашем предприятии нового полипараксилиленового покрытия была приобретена установка PDS 2060 (Parylene Deposition System), с объемом камеры 236 л, позволяющая за один цикл наносить покрытие на поверхность общей площадью более 4,0 м². После приобретения установки была проведена отработка технологии нанесения полипараксилиленового покрытия на печатные узлы.
- В настоящее время для получения полипараксилиленового покрытия используются как отечественные материалы (ди-параксилилен и ди-хлор-ди-параксилилен по ОСТ В 107.460007.008-2000 с подслоем АГМ-9 ТУ6-02-724-77), так и импортные материалы (parylene N, C и D с подслоем silane A-174). Проведены экспериментальные работы по нанесению на технологические печатные платы различных типов материалов с подслоем и без подслоя. При этом в качестве образца-свидетеля для замера толщины покрытия использовали пластины из нержавеющей стали (Япония) толщиной 150 мкм, а для контроля адгезии покрытия — ситалловые подложки СТ-50-1-1-0,6 ПГКЖ.431431.003ТУ.
- Получено:
- покрытие parylene N с подслоем silane A-174 — полуматовое, прозрачное, сплошное, заданной толщины (15–20 мкм). Продолжительность цикла нанесения покрытия около 24 ч;
 - покрытие parylene C с подслоем silane A-174 — полуматовое, прозрачное, сплошное, без дефектов, заданной толщины (15–20 мкм). Продолжительность цикла нанесения покрытия около 8 ч;

- для получения покрытия parylene D с подслоем silane A-174 заданной толщины необходимо обеспечить температуру конденсации и полимеризации в камере (температуру подложки) примерно 70 °С. Используемое оборудование не имеет «рубашки» для подачи тепло- или хладагента, соответственно, не может обеспечить требуемую температуру, и полимеризация происходит при температуре 25 ± 10 °С. Поэтому мы получили более тонкое, чем необходимо, покрытие (7 мкм). Покрытие прозрачное, полуматовое, с видимыми матовыми пятнами в форме капель. Цикл нанесения покрытия более 24 ч;
- покрытие, полученное из отечественного ди-параксилилена с подслоем АГМ-9, — матовое, прозрачное, сплошное, заданной толщины (15 мкм). Длительность цикла нанесения покрытия около 24 ч;
- покрытия parylene N, C, D и покрытие, полученное из отечественного ди-параксилилена, без использования подслоя не отличаются по внешнему виду от аналогичных покрытий с подслоем. Но адгезия таких покрытий к подложке, определяемая методом решетчатых надрезов по ГОСТ 15140-78, оказалась неудовлетворительной.

Все печатные платы были подвергнуты климатическим испытаниям. С учетом результатов испытаний, продолжительности цикла нанесения покрытия, требований по обеспечению толщины покрытия 15–20 мкм и адгезии (1–2 балла) для наших изделий мы выбрали такие варианты покрытия:

1. В качестве основного материала — parylene C с подслоем silane A-174.
2. В качестве материала-заменителя — parylene N с подслоем silane A-174.

Данные материалы внедрены на предприятии и предназначены для влагозащиты узлов изделия БЦВМ. Таким образом, найдена достойная замена влагозащитным лаковыми покрытиями (хотя полностью отказываться от них нельзя). Разработана и внедрена технология нанесения полипараксилиленового покрытия на установку PDS 2060. В лаборатории предприятия отрабатываются варианты комбинированных покрытий и методики входного контроля материалов. Однако есть и серьезная проблема: сегодня в нашей стране не выпускается необходимое сырье. Еще в 1980-е годы существовало производство отечественного ди-параксилилена и ди-хлор-ди-параксилилена, но вследствие высокой стоимости материала, а также из-за отсутствия широкого потребительского спроса оно было упразднено.

Потребность в современной элементной базе, технологическом оборудовании и новых материалах все сильнее привязывает нас к импортным продуктам во всех видах производства. Это, увы, стало стратегией развития радиоэлектронной промышленности. Такое положение обязывает технологов прикладывать очень много сил для создания и освоения новых технологий, чтобы соответствовать международному уровню и не отставать в разработке новой электронной техники.