

Защитные покрытия электронных модулей

В статье анализируются различные защитные покрытия в зависимости от их способности противодействовать климатическим стрессовым нагрузкам, а также возможные последствия и решения этой проблемы. Исследованы различные типы воздействий на изделие: от воздуха высокой влажности до выпадения росы. Рассмотрены обычные защитные покрытия (содержащие в своем составе до 50% растворителей), толсто пленочные покрытия (лаки с высоким содержанием сухих веществ при объеме растворителя менее 15–20%, либо, в идеальном случае, материалы, не содержащие растворителя), а также тиксотропные защитные покрытия, которые обеспечивают лучшее покрытие краев без нарушения капиллярных свойств, необходимых для заполнения пространства под компонентами. Также рассмотрены материалы, соответствующие повышенным требованиям защиты электронных сборок.

Манфред Зуппа
(Manfred Supra)

Климатические воздействия и защита электронных модулей

Климатические воздействия

Защитные покрытия предназначены для защиты электронных сборок, работающих в неблагоприятной среде. В первую очередь, эти покрытия обеспечивают электрическую изоляцию элементов; в частности, они обеспечивают защиту изделия от воздействия влаги из воздуха, а также от различных химических веществ.

Требования, относящиеся к устойчивости к климатическому воздействию, по своей природе связаны с механическими и/или электрическими свойствами, которые должны сохраняться в самых разнообразных условиях.

Климатические нагрузки как параметры окружающей среды, обычно действующие на электронную сборку при ее работе, перечислены на рис. 1. К такому относятся:

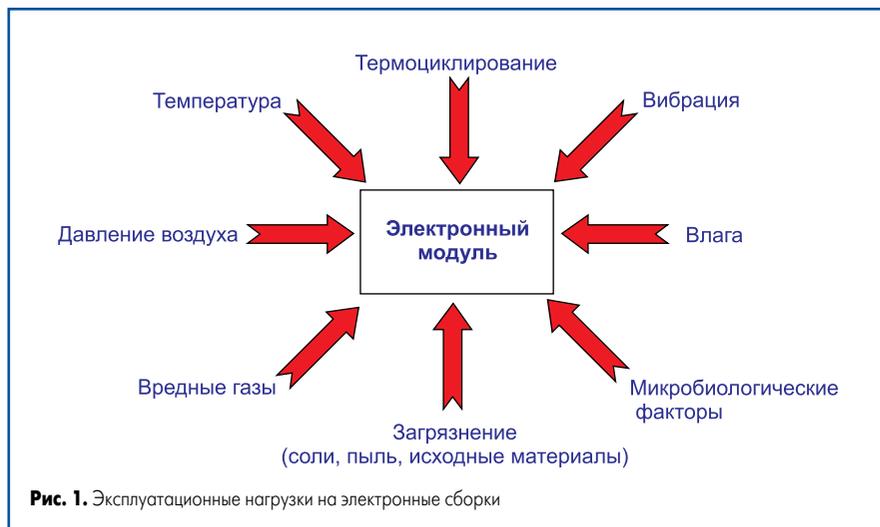
- повышенная/пониженная влажность воздуха;

- повышенная/пониженная температура;
- пониженное атмосферное давление;
- быстрое изменение климатических факторов;
- выпадение росы;
- микробиологическая нагрузка;
- загрязнения.

Основное требование, предъявляемое к электронной аппаратуре высокой надежности, — это ее функциональная надежность в условиях выпадения росы и воздействия других климатических факторов. Особенно сильное воздействие создает сочетание повышенной температуры и повышенной влажности воздуха, известное по так называемому тесту 85/85. Далее подробно рассматриваются требования, относящиеся к воздействию влаги. Степень надежности при воздействии климатических факторов определяется существующими стандартами.

При работе в обычных климатических условиях на изделие всегда воздействует атмосферная влага. Защитное покрытие находится в состоянии равновесия с водяным паром в воздухе. Так как все полимеры проницаемы для паров, в них всегда содержится некоторое количество влаги, которая может постепенно накапливаться. При повышении температуры и/или увеличении влажности воздуха концентрация влаги возрастает. В этих случаях нарушение равновесия «воды, растворенной в полимере», и давления водяного пара в воздухе является решающим фактором. При относительной влажности воздуха около 40% на поверхности начинают образовываться очень тонкие пленки воды на молекулярном уровне, а при относительной влажности воздуха около 60% — пленки с толщиной слоя до четырех молекул. Пленки такой толщины уже могут взаимодействовать с влагопоглощающими загрязнениями на поверхности печатной платы.

При относительной влажности воздуха 80% образуются слои толщиной примерно в десять молекул и на поверхности могут растворяться соли и происходить ионные процессы.



0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Низкая влажность				Средняя влажность			Высокая влажность			Максимальная влажность
Риск электростатического разряда				Эксплуатация без проблем			Критическая эксплуатация			Особый случай

Рис. 2. Влияние относительной влажности от 0 до 100% на эксплуатацию электронных модулей

На практике электронная аппаратура работает в более широком диапазоне влажности. Оценка степени риска приведена на рис. 2.

В условиях относительной влажности порядка 40–70% эксплуатация обычно происходит без проблем. При уровне влажности порядка 70% вероятность нормальной эксплуатации сильно снижается. При дальнейшем повышении влажности отрицательное воздействие влагопоглощения становится заметным и проявляется в виде увеличения токов утечки. Могут появляться первые признаки выпадения росы или конденсации влаги, поскольку достигается критический уровень относительной влажности. Для надежной работы в условиях выпадения росы рекомендуется наносить защитное покрытие.

Воздействие влаги резко усиливается при выпадении росы, что происходит при достижении давления насыщенного пара при данной температуре. Если холодный компонент помещается в теплую атмосферу, воздух, который находится рядом с компонентом, охлаждается. Поскольку холодный воздух может содержать меньше паров воды, чем теплый, избыточная влага конденсируется и осаждается на компоненте в виде капель. Опасность перехода в состояние, лежащее ниже точки росы, особенно высока при пониженной температуре от 0 до +10 °С.

При выпадении росы влага, содержащаяся в полимере, уже находится в равновесии не с водяным паром воздуха, а с конденсированной водой на поверхности. Действующие теперь факторы можно объединить понятием «осмос» (рис. 3).

Осмос — это процесс односторонней диффузии через полупроницаемую мембрану молекул растворителя в сторону большей концентрации растворенного вещества (меньшей концентрации растворителя). Эти эффекты могут приводить к набуханию покрытия, вы-

зывать резкое снижение величины электрического сопротивления, приводить к образованию пустот.

Такие процессы требуют особого внимания как к предварительной обработке печатной платы перед нанесением защитного покрытия, так и к выбору материала покрытия.

Воздействие постоянной температуры, даже при высокой относительной влажности воздуха 90–98%, не вызывает эффекта выпадения росы. В случае перекрытия диапазона изменения температуры влажность воздуха перенастраивается, и в зависимости от характеристик устройства выпадение росы либо исключается, либо становится сравнительно кратковременной фазой. Испытания проводятся с так называемым «устройством конденсации воды» согласно IEC 60068-2-3 (или, соответственно, DIN 50017), которое провоцирует постоянное выпадение росы и таким образом переключает осмотический процесс, как описано выше.

Как отягчающее обстоятельство нужно рассматривать воздействие различного рода загрязнений и вредных веществ, таких как смазочные материалы, топливо, масла и т. д.

Защитные покрытия

Паяльная маска

При производстве печатных плат применяют различные виды паяльных масок. Требования к паяльным маскам однозначно регламентируются стандартами DIN 40 804, IPC SM 840, DIN VDE 110-3 и IEC 249-3-3.

Согласно этим стандартам паяльные маски — это термостойкие покрытия, используемые для нанесения на необходимые области печатной платы таким образом, чтобы исключить попадание припоя в этих областях во время процесса пайки. Поэтому паяльные маски, также в соответствии со стандартом DIN 40 804, позволяют полностью выполнять пайку большого количества соединений

за одну технологическую операцию. Это определение указывает, какие главные требования предъявляются к паяльным маскам с точки зрения их качества и надежности.

Паяльные маски очень важны для предотвращения коррозии медных проводников. Наиболее часто применяемые типы паяльных масок:

- двухкомпонентные;
- паяльные маски, отверждаемые ультрафиолетовым (УФ) излучением;
- фотопроявляемые.

В этом смысле важно знать, что свойства паяльных масок, например для обеспечения влагоустойчивости, зависят от их химической основы. Вообще считается, что наивысший уровень защиты обеспечивают фотопроявляемые паяльные маски.

Недостатки паяльной маски невозможно устранить за счет нанесения влагозащитного покрытия, поскольку плотность сшивания таких покрытий всегда ниже, чем у систем с УФ-отверждением, даже при идеальных условиях нанесения. Таким образом, адгезия на паяльных масках не является единственным абсолютным критерием оценки качества защитного покрытия. Необходимо также исследовать адгезию в критичных точках, которые действительно должны быть защищены, например паяные соединения, выводы компонентов. В этих точках наличие и состав флюса также оказывает большое влияние на адгезию и растрескивание лака.

Защитное покрытие

Кроме мест, не защищенных паяльной маской, на собранной печатной плате существует множество уязвимых точек, к которым к тому же приложена разность потенциалов, например выводы компонентов. Для изоляции таких мест также можно использовать защитные покрытия. Вид покрытия выбирают в зависимости от условий эксплуатации изделия. Это может быть лак либо заливочный компаунд. Их главная задача заключается в обеспечении электрической изоляции при воздействии неблагоприятных условий.

Защитные покрытия, также известные как перманентные (см. DIN EN 60464, часть 1), наносят как со стороны компонентов, так и со стороны платы.

В зависимости от структуры лака и содержания в нем твердых веществ можно получить пленку толщиной от 20 до 40 мкм за одну технологическую операцию. Такая толщина слоя достаточна для решения большинства задач: многослойное нанесение или заливочный компаунд применяются тогда, когда необходимо обеспечить более толстое покрытие.

Толщина слоя

В соответствии с IPC-2221 для защитных покрытий на основе акриловых, эпоксидных и полиуретановых смол рекомендуется толщина слоя 30–130 мкм, а для покрытий на основе силикона — 50–150 мкм. Обычно для защитных покрытий, содержащих растворитель, стремятся получить толщину сухого слоя в диапазоне от 20 до 40 мкм. Чтобы по-

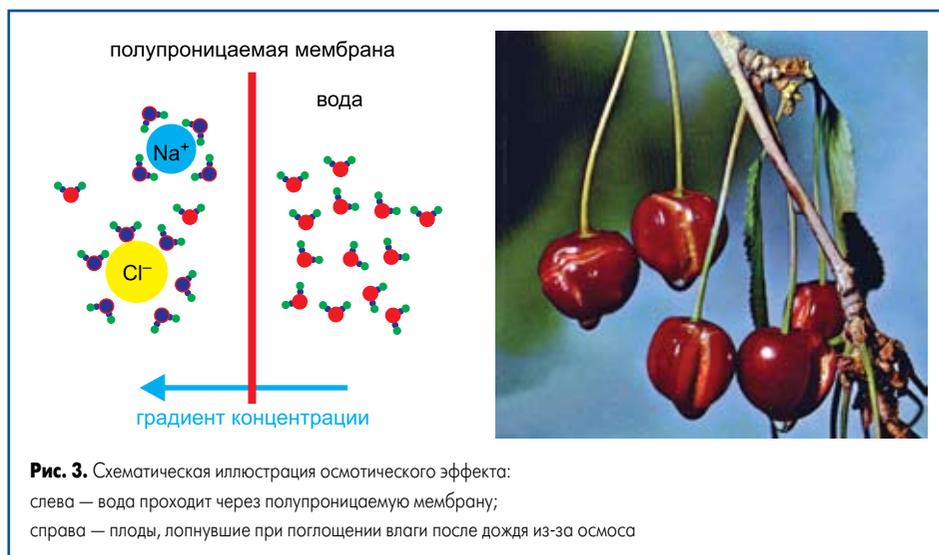


Рис. 3. Схематическая иллюстрация осмотического эффекта:

слева — вода проходит через полупроницаемую мембрану;

справа — плоды, набухшие при поглощении влаги после дождя из-за осмоса

лучить такую толщину слоя традиционными методами нанесения, которые включают нанесение кистью, напыление, окувание или с помощью установок для селективного нанесения, содержание растворителя в лаке, как правило, должно быть около 60%.

Существенным фактором для защиты изделий является толщина мокрого слоя, которая почти прямо пропорциональна миграционной устойчивости, то есть двойная толщина слоя должна практически удваивать миграционную устойчивость и, соответственно, защитное действие. Однако на практике, при нанесении более толстого слоя, этот подход дает обратный эффект, причина которого рассматривается ниже.

По отношению к обычным защитным покрытиям справедливо, что пленка лака высыхает тем медленнее, чем толще нанесенный слой. Это явление понятно с физической точки зрения, потому что растворитель должен преодолеть большее расстояние, чтобы выйти из толщи пленки лака. Также, в случае отверждения кислородом, требуется диффузия через слой покрытия, чтобы произошло отверждение. Такое продление процессов сушки не происходит чисто линейно, то есть двойной слой необязательно требует двойного времени сушки. Это соотношение скорее экспоненциальное, потому что двойной толщине слоя соответствует примерно четырехкратное увеличение времени сушки. Время, необходимое для достижения требуемых конечных свойств покрытия, например адгезии или электрической изоляции, заметно увеличивается. Тем не менее двойное нанесение покрытия — это возможный путь получения стойкого покрытия. Кроме того, следует отметить, что двойное нанесение снижает опасность образования пор.

Однако при использовании метода двойного покрытия необходимо проанализировать, действительно ли слой будет толще не только в самых критичных местах (например, на торцах выводов компонентов), но и в менее критичных местах, то есть на компонентах также будет нанесен толстый слой.

Защитные покрытия и их свойства

Классификация защитных покрытий

Чтобы определить особенности защитных покрытий, предназначенных для применения в электронике, можно воспользоваться различными системами классификации, в зависимости от аспектов, на которых необходимо сосредоточить внимание. В общем случае их можно классифицировать следующим образом:

- по принципу сушки или отверждения;
- по составу растворителя;
- по химической основе связующего вещества.

Другой способ классификации материалов покрытий, то есть лаков и покрытий, — это их разделение по содержанию растворителей:

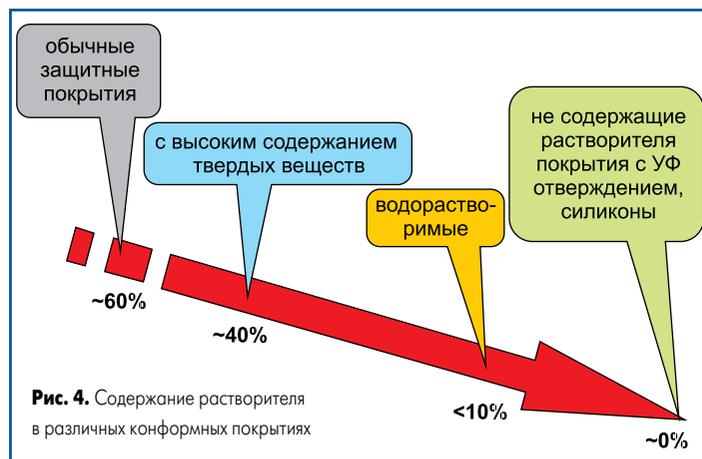
- обычные классические лаки;
- лаки с высоким содержанием сухого остатка;
- лаки, не содержащие растворителя.

Термины «обычные» и «классические» должны быть определены на базе современных представлений в этой области и могут сильно отличаться в зависимости от области применения. Содержание растворителя для разных групп схематически показано на рис. 4.

Обычно защитные покрытия, используемые для нанесения на электронные сборки, — это бесцветные или окрашенные прозрачные лаки без наполнителя. В последнее время все чаще встречаются новые, так называемые толсто пленочные лаки.

Климатические условия, при которых работает ответственная электроника, характеризуются повышенным уровнем агрессивности и нагрузки. Некоторые широко распространенные покрытия не обеспечивают необходимую защиту. Этот недостаток в действительности вызван не недостаточной эффективностью или качеством полимеров или связующих веществ, а скорее уже нанесенным слоем обычной толщины, при этом важную роль играет покрытие на краях выводов компонентов.

Что касается новых толсто пленочных лаков, то появляются экологичные решения. Например, не содержащая растворителя система TWIN-CURE, которая характеризуется уникальным механизмом отверждения, или новые, не содержащие растворителя влагостойкие силиконовые лаки. Обе лаковые системы позволяют получить толщину покрытия 200 мкм и более за одну операцию.



Защитные покрытия на водной основе

С 1995 года защитные покрытия на водной основе применяются все более широко. Действительно, однокомпонентные покрытия на водной основе должны быть классифицированы как физически высыхающие лаки, однако благодаря их специфическим свойствам (значительно лучшей стойкости к воздействию химических веществ, чем у большинства обычных содержащих растворитель однокомпонентных лаковых систем) их необходимо рассмотреть отдельно. В однокомпонентных изолирующих и защитных покрытиях органические растворители были почти полностью заменены водой. Они содержат специальные связующие вещества, которые хорошо растворяются в воде. Даже при малом процентном соотношении органических пленкообразующих веществ с низкой летучестью (<10%), принципиально важных для образования лаковых пленок, они учитываются как так называемые VOC (летучие органические соединения). После отверждения лаковая пленка становится устойчивой к воздействию растворителя, в отличие от обычных, физически высыхающих лаков, например акриловых.

Одно из специфических достоинств защитных покрытий на водной основе, кроме их великолепных диэлектрических свойств и высокой стойкости при работе в условиях повышенной влажности, — это их экологичность и пожаробезопасность, а также быстрая полимеризация при комнатной температуре.

По изложенным выше причинам наблюдается растущая потребность в таких лаковых системах. Однако при использовании этих лаков следует соблюдать некоторые ограничения.

Поскольку эти лаковые системы содержат воду, они не подходят для сборок со встроенными аккумуляторными батареями из-за электрической проводимости. В зависимости от компоновки и покрытия функциональная проверка сборки сразу после нанесения покрытия может быть затруднена или даже невозможна, также из-за содержания воды. Следует учесть, что такие материалы невозможно хранить при отрицательной температуре.

Анализ толсто пленочных покрытий

Если проанализировать широко распространенные покрытия, то в общем случае справедливо, что пленки покрытий высыхают тем медленнее, чем они толще. Это также справедливо для двойного покрытия, время нанесения которого значительно возрастает. Если последующие слои нанесены некачественно, существует дополнительная опасность образования складок или отслаивания. Кроме того, такие решения не идеальны по отношению к готовящейся к выпуску директиве VOC, которая направлена на регистрацию и снижение количества используемых растворителей.

Другие решения включают использование лаковых систем с высоким содержанием сухого остатка, но даже такие лаки требуют повышенного времени сушки, несмотря на меньшее содержание растворителя. Здесь также большая толщина слоя замедляет испарение растворителя из пленки. Конечно, не содержащие растворителей материалы покрытий — это разумное решение с технической и экологической точек зрения; их химическая основа известна как заливочные компаунды и заливочные смолы. Недостатки заливочных смол и заливочных компаундов хорошо известны: поскольку это в основном двухкомпонентные системы, для них характерна значительно более высокая вязкость,

чем для защитных покрытий, а процесс нанесения занимает больше времени из-за их двухкомпонентной природы.

Обычные лаки с УФ-отверждением отличаются тем, что могут иметь низкую вязкость, они обычно не содержат растворителей и быстро высыхают. Однако они имеют серьезный недостаток: обычные лаки с УФ-отверждением высыхают только в тех местах, где УФ-излучение прямо попадает на лак. В теневых областях отверждение происходит очень медленно, при этом лаковая система не обеспечивает достаточную защиту. Более того, эти области не только ослабляют защитное действие, но и могут даже вызывать нарушение работоспособности всей сборки, особенно при жестких климатических воздействиях, например при выпадении росы. Часто для таких продуктов рекомендуют после отверждения выполнять термообработку при температуре более 100 °С, чтобы инициировать отверждение пленки и в теневых областях. Это ограничивает применение систем подобного типа, и отчасти поэтому приходится снова обращаться к традиционным покрытиям.

О системе TWIN-CURE

Если нужный «толстопленочный лак» обладает большим количеством недостатков, можно поискать толстопленочный лак без них. Это новая лаковая система TWIN-CURE*.

Система TWIN-CURE основана на двух процессах отверждения, дополняющих друг друга. В первой фазе система TWIN-CURE подвергается УФ-полимеризации и, спустя очень короткий промежуток времени (менее 60 с), отверждается до такой степени, что можно продолжать работать с изделием и нагружать его. Во второй фазе полимеризации, более медленной, происходит химическое «сшивание» структуры лака, особенно в теневых областях, то есть там, где «сшивание» не может быть инициировано УФ-светом. Полиуретаны полимеризуются за счет диффузии влаги из воздуха в полимер. Таким образом, происходит отверждение покрытия в теневой области. С помощью этой лаковой системы можно получить толщину слоя от 60 до 200 мкм на краях выводов компонентов и идеальную толщину слоя в диапазоне 80–100 мкм на плоских поверхностях.

Несомненно, здесь может идти речь о реальном толстопленочном покрытии, которое одновременно обеспечивает и высокую стойкость, и технологичность сушки. Поскольку в состав системы TWIN-CURE не входят никакие растворители, она является идеальным решением в связи с предстоящим выходом европейской директивы по VOC, а также с точки зрения лучшей защиты электронного устройства.

Таким образом, промежуток между заливаемыми компаундами и обычными защитными покрытиями был закрыт как в плане экономической перспективы, так и с точки зрения повышенной защиты.

Толстопленочные покрытия с высокой вязкостью также способны заполнять промежуток под SMD-компонентами, благодаря так называемому капиллярному эффекту. Капиллярный эффект создается смачиванием жидкости в капилляре (промежутке) за счет поверхностного натяжения. При нанесении покрытия на сборку, если требуется подзаливка, необходимо убедиться, что есть достаточное время и возможность выхода воздуха из-под компонента.

Благодаря полному затеканию жидкости под компонент, с одной стороны, исключается возможность образования воздушных пустот под компонентами. Такие пустоты могут неоднозначно проявлять себя во время климатического воздействия на изделие. С другой — обеспечивается надежный тепловой контакт компонента с основанием печатной платы. Известно, что теплопроводность защитного покрытия, приблизительно равная 0,3 Вт/м·К, не очень высока, но, тем не менее, она гораздо выше теплопроводности воздушного промежутка (около 0,03 Вт/м·К).

Все рассматриваемые здесь толстопленочные покрытия с УФ-отверждением не содержат растворителя; как следствие, в заполненных лаком областях не происходит значительной объемной усадки, при этом объем под компонентом остается полностью залитым после отверждения и, самое главное, выводы компонента остаются полностью герметизированными. Это особое свойство не содержащих растворителя систем покрытий обеспечивает лучшую герметизацию выводов компонента и оптимальное покрытие краев.

На рис. 5 показаны выводы специализированной микросхемы с нанесенным покрытием. Явно видно, что толщина плоского слоя приблизительно равна 100 мкм, на выводах с острыми кромками дополни-

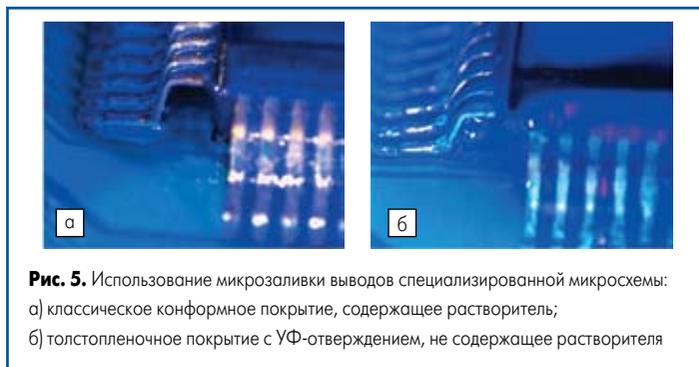


Рис. 5. Использование микрозаливки выводов специализированной микросхемы:
а) классическое конформное покрытие, содержащее растворитель;
б) толстопленочное покрытие с УФ-отверждением, не содержащее растворителя

тельно выполнена микрозаливка (рис. 5б), в то время как содержащие растворитель лаки образуют отчетливые тонкие пленки и полости под выводами компонента (рис. 5а).

По причине их высокой вязкости по сравнению с классическими защитными покрытиями не все методы нанесения покрытий можно применять или прямо переносить без доработки. Здесь предпочтительно использовать селективное нанесение. Регулирование вязкости за счет добавления растворителя для таких материалов покрытий нецелесообразно. Тем не менее можно уменьшать вязкость, повышая температуру материала. Как показывает опыт, повышение температуры на 10 К должно уменьшать вязкость наполовину или, соответственно, такое же уменьшение температуры будет удваивать ее. Подчеркнем, как важно применять лак при как можно более постоянной температуре.

Не содержащие растворителя силиконовые защитные покрытия

В течение длительного времени силиконовые покрытия не пользовались успехом как защитные покрытия для электроники, по крайней мере в Европе. В последнее время этой группе материалов начали уделять повышенное внимание. Наряду с хорошо известной температурной стабильностью, силиконовые покрытия обладают рядом других особенностей.

Благодаря своей базовой структуре Si-O-Si-O, силиконовый полимер отличается высокой мобильностью сегментов, обуславливающей ряд необычных свойств. Высокая мобильность сегментов полимера вызывает повышение эластичности.

Очень важный вывод следует из анализа этого коэффициента упругости при циклической тепловой нагрузке. На смонтированной печатной плате наблюдается несоответствие разных коэффициентов теплового расширения (базового материала, меди, припоя, компонентов). Разные коэффициенты теплового расширения вызывают напряжения при циклической тепловой нагрузке. Такие наведенные воздействия тепла силы в силиконовых лаках сведены к минимуму. Не содержащие растворителей толстопленочные покрытия на основе силикона доступны, с одной стороны, как покрытия с тепловым отверждением и дополнительным сшиванием — около 15 мин. при +110 °С — и, с другой стороны, как отверждаемые под действием влаги толстопленочные покрытия. Обе системы покрытий обеспечивают отличную влагоустойчивость даже при высокой температуре; гидролитическая стойкость и невоспламеняемость — это две самые важные составляющие для выбора силиконовых толстопленочных покрытий. Еще одно их достоинство заключается в том, что их можно легко наносить с помощью обычного оборудования. Однако следует отметить, что подобно другим, не содержащим растворителей покрытиям они обладают способностью растворять газ, например сжатый воздух. Это следует учитывать при подаче материала в установках селективного нанесения покрытий.

Тиксотропные защитные покрытия

Термины «тиксотропия» и «структурная вязкость» описывают явление, при котором вязкость системы снижается под действием внешней силы. Если вязкость продолжает падать под действием постоянной силы/сдвига, говорят о тиксотропии, но если она остается постоянной, говорят о структурной вязкости. (Замечательный пример

* Зарегистрированная торговая марка компании Lackwerke Peters.

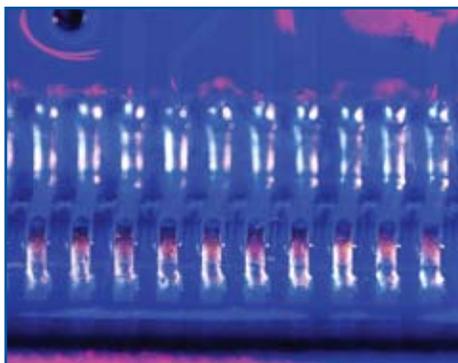


Рис. 6. Покрытие на выводах компонентов после нанесения на dip-выводы классического защитного покрытия

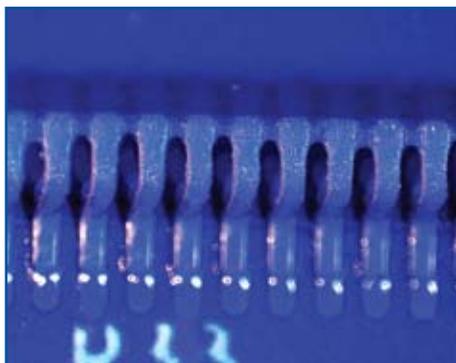


Рис. 7. Покрытие на выводах компонентов после нанесения тиксотропного защитного покрытия

падения вязкости после приложения силы — это бутылка кетчупа, которую нужно хорошенько встряхнуть, чтобы получить жидкий продукт.) В электронике тиксотропные материалы в первую очередь применяются при локальной заливке (dam and fill). Однако в области защитных покрытий тиксотропные системы также имеют определенные преимущества. Хорошо известная проблема стекания материала на выводах компонентов с острыми краями может быть значительно сглажена или даже исключена. Когда толщина слоя уменьшается всего до нескольких мкм (рис. 6) при покрытии dip-выводов не тиксотропной системой, грамотное нанесение тиксотропного материала позволяет создать практически гладкую пленку (рис. 7). То же справедливо для защиты труднодоступных областей, например тыльной стороны выводов компонентов или области под компо-

нентами. Обычно это достигается с помощью капиллярного эффекта.

Пользуясь защитными покрытиями специального состава, можно добиться хорошего компромисса между качественным покрытием краев и одновременным растеканием.

Тиксотропные защитные покрытия также могут наноситься по методу dam and fill, взятому из технологии заливочных материалов. Если использование метода полной заливки не позволяет создать четкий контур и ограничить растекание лака, то метод локальной заливки обеспечивает более четкие границы. Этот метод можно также применять в случае предъявления специальных требований при селективном нанесении. Он в первую очередь применяется для защиты от попадания лака в такие места, как разъемы или непокрываемые компоненты. Тиксотропные покрытия, используемые для локальной заливки, очень густые и не могут использоваться для покры-

тия «краев» и проникновения под компоненты. В этом случае поступают следующим образом: наносят тиксотропное покрытие вокруг компонента (создается дамба), что не дает растекаться обычному лаку. Затем в ограниченную область наносят обычный материал со значительно меньшей вязкостью, тем самым обеспечивается качественная защита и проникание лака под компонент.

Важно пользоваться только теми материалами, которые специально разработаны для этой цели. В качестве ограждающего материала следует использовать только те продукты, у которых физические и электрические характеристики подобны характеристикам защитных покрытий. При нанесении тиксотропных материалов нужно обращать особое внимание на то, что такие материалы по причине своей высокой вязкости и большой толщины слоя способны полностью закупоривать пространство под компонентами, что может негативно сказаться на результатах термоциклирования. По этой причине не рекомендуется наносить такой материал непосредственно на выводы микросхем.

Литература

1. Ellis B. N. Reinigen in der Elektronik. Bad Saulgau: Eugen G. Leuze Verlag, 1989.
2. Glasurit-Handbuch Lacke und Farben, 11. Auflage 1984. Hannover: Vincentz-Verlag.
3. Ruf J. Organischer Metallschutz. Hannover: Vincentz Verlag, 1993.
4. Jillek W., Keller G. Handbuch der Leiterplattentechnik Bd. 4. Bad Saulgau: Eugen G. Leuze Verlag, 2003.
5. Suppa M., Kollasa M. Referat Nr. 152: Dickschicht-Beschichtungsstoffe und schnelle Schutzlackierprozesse — ein Widerspruch? Lackwerke Peters GmbH + Co KG, 2001.
6. Suppa M. Schutzlacke und Vergußmassen als Beschichtungsstoffe für elektronische Baugruppen. VTE 15 Heft 1, 2003.
7. Suppa M. Conformal Coatings for Component Protection. Circuits Assembly, June 2002.
8. Verarbeitungshinweise für die konventionellen physikalisch trocknenden/oxidativ härtenden Isolier- und Überzugslacke, AI 1/1. Lackwerke Peters GmbH + Co KG, 2002.
9. Jillek W., Keller G. Handbuch der Leiterplattentechnik Bd. 4. Bad Saulgau: Eugen G. Leuze Verlag, 2003.