

Новая эра защитных покрытий для печатных плат

Современная электроника становится все более портативной и сложной. Плотность монтажа повышается, а прочность компонентов снижается из-за их малогабаритности. В связи с этим остро встает вопрос о предохранении печатных узлов от таких загрязнений, как влага, сульфаты (сера), наслоения пыли и грязи. Без обеспечения должной защиты чувствительные компоненты быстро подвергаются коррозии, что приводит к коротким замыканиям, ухудшению рабочих параметров и поломке устройств.

Светлана Пескова

svetlana@platan.ru

Для защиты поверхности монтажного основания и компонентов от внешних факторов окружающей среды, таких как влага, повышенная температура, пыль, отпечатки пальцев, загрязнения, химические и механические воздействия, электромиграция, используются различные типы покрытий (некоторые из них называют конформными покрытиями). Подобная защита помогает предотвратить коррозию, утечку тока или появление плесени и, следовательно, позволяет увеличить срок службы оборудования и повысить его надежность. Конформные покрытия обладают отличной адгезией, практически незаметны и повторяют форму печатного узла.

При выборе защитного покрытия учитывается множество факторов: условия эксплуатации конечного

прибора, особенности топологии платы и используемых комплектующих, диэлектрическая прочность покрытия, ремонтпригодность и возможность модификации платы после нанесения покрытия.

Существующие покрытия

Конформные покрытия выпускаются на основе акрила, парилена, силикона, уретана и имеют различные методы нанесения, в частности погружение, распыление, нанесение кистью, струйный облив (табл. 1). Дальнейшее отверждение может происходить под воздействием УФ-облучения, сушки в шкафу или с помощью других методов.

Традиционные методы покрытий хорошо себя зарекомендовали, однако они были созданы для элементной базы прошлого поколения. Современные печатные узлы характеризуются малым шагом выводов, использованием сложных корпусов, высокой плотностью расположения компонентов. Для элементов с миниатюрным форм-фактором покрытия типа эпоксидных или силиконовых могут оказаться слишком тяжелыми и создавать неблагоприятные механические напряжения. Полиуретановые покрытия являются более универсальными, но их ремонтпригодность и необходимость маскирования создают излишние технологические проблемы.

Для решения вышеперечисленных задач компания 3М предлагает покрытие нового поколения на основе фторполимеров. Этот специальный класс защитных жидкостей — Novec Electronic Grade Coatings — представляет собой прозрачные жидкости малой вязкости и с низким поверхностным натяжением. Активным веществом таких жидкостей являются фторированные полимеры в сегрегированных гидрофторэфирных растворителях.

Свойства фторполимеров

Фторполимер — это полимер на основе фторированного углеводорода с сильными фторуглеродистыми связями. Фтор во фторполимере электрически отрицателен и практически не связывается с другими материалами. Это и придает фторполимеру уникальные свойства отталкивания, а потому первое попу-

Таблица 1. Сравнение защитных покрытий

Вид покрытий	Преимущества	Недостатки
Акриловые		
Покрытия общего применения	<ul style="list-style-type: none"> быстрая сушка простота нанесения ремонтпригодность высокая эластичность высокая влагостойкость низкая стоимость 	<ul style="list-style-type: none"> много растворителя плохая химическая стойкость
Эпоксидные		
Механическая защита	<ul style="list-style-type: none"> высокая температурная стойкость простота нанесения превосходная устойчивость к механическим воздействиям и истиранию химическая стойкость хорошие диэлектрические свойства 	<ul style="list-style-type: none"> долгий процесс полимеризации тяжело удаляются (трудности при ремонте) тяжелые, поэтому создают механическое напряжение на хрупких компонентах
Силиконовые		
Высокотемпературная защита	<ul style="list-style-type: none"> сверхвысокая температурная стойкость высокая эластичность ремонтпригодность отличная химическая стойкость малое время отверждения 	<ul style="list-style-type: none"> проблема нанесения большая толщина нанесения низкая адгезия не стойки к истиранию высокая стоимость
Уретановые		
Защита от влаги и химии, диэлектрик	<ul style="list-style-type: none"> хорошая эластичность отличная химическая стойкость к растворителям противодействуют росту «усов» олова хорошая устойчивость к механическим воздействиям хорошие диэлектрические свойства 	<ul style="list-style-type: none"> долгий процесс полимеризации тяжело удаляются (трудности при ремонте) не выдерживают вибрации
Фторполимерные		
Защита от влаги и химии, диэлектрик	<ul style="list-style-type: none"> низкая диэлектрическая постоянная низкая поверхностная энергия низкая гигроскопичность стойкость к растворителям 	<ul style="list-style-type: none"> высокая стоимость ограничение механической защиты

Таблица 2. Основные характеристики фторполимерных покрытий

Прочность на разрыв (ASTM D1708)	275,8–345 бар
Растяжение (ASTM D1457)	50%
Ударная прочность (ASTM D256)	13 фунтов на фут/дюйм
Твердость (ASTM D2240)	60–90 НВ (по Шору D)
Износостойчивость (Tabor)	>15 мг
Коэффициент трения (ASTM D1894)	0,15–0,35 статичный
Пробивное напряжение (ASTM D149)	1400 В/мил
Рабочий диапазон температур	–73...+260 °С
Температура плавления	–
Теплопроводимость	–
Стойкость к химическому воздействию (ASTM D543)	хорошая
Стойкость к воздействию солевого тумана (ASTM B117)	превосходная
Влагопоглощение (ASTM D570)	<0,03%
Толщина	0,02–0,05 мм

лярное применение фторполимеров — антипригарные покрытия.

Масштабная исследовательская программа по изучению фторполимеров была проведена в 1968 году лабораторией The Naval Research Laboratory. Ее главной задачей было определить потенциал материала для использования в военно-морском флоте. Никакой другой материал не мог соответствовать поставленным задачам.

Основные характеристики фторполимерных покрытий приведены в таблице 2.

Долгое время коммерческое применение фторполимерных покрытий было ограничено высокой стоимостью материала по сравнению с другими конформными покрытиями. Цена в значительной степени зависела от стоимости и доступности таких мономеров, как гексафторацетон. Кроме того, материал требует приобретения специального дорогостоящего оборудования.

Однако постепенно фторполимерные покрытия проникали в различные области промышленности. Спрос на фторполимеры во всем мире растет непрерывно, в 2011 году он составил \$7,25 млрд. Приведем некоторые примеры использования фторполимерных покрытий в различных областях промышленности:

- покрытие изоляции проводников в авиационной промышленности: здесь фторполимер защищает проводники и снижает риск возгорания воздушного судна;
- покрытие конвейерных участков: типографии и предприятия по производству упаковки используют фторполимеры для покрытия поддонов с чернилами и роликов конвейеров; покрытие способствует тому, что перемещаемые по конвейеру предметы не цепляются за конструктивные элементы оборудования, также покрытые фторполимером участки легко мыть и очищать от краски;
- автомобильная промышленность: фторполимер позволяет предотвратить трение и коррозию запчастей, он незаменим при работе с шариковыми подшипниками и зубчатыми механизмами, которые претерпевают значительный износ в процессе эксплуатации.

Фторполимерные покрытия для электроники

Для электронной промышленности фторполимеры также обладают набором привлекательных свойств. Во-первых, они вообще не отличаются клейкостью, во-вторых, значительно уменьшают трение и противодействуют коррозии. Также фторполимеры выдерживают воздействие очень высоких температур, являясь отличными изоляторами (не проводят электричество), не поглощают влагу. В результате применение фторполимерных покрытий намного увеличивает срок эксплуатации электронных изделий.

Такие покрытия предназначены для обслуживания, требующего очень высокой надежности, где необходима стойкость к водно-масляным жидкостям и силикону, стойкость к микробиологическим атакам, сверхнизкая диэлектрическая константа, очень низкий коэффициент миграции ионов и способность выдерживать атмосферные воздействия.

Разберем основные свойства защитных покрытий для печатных плат на основе фторполимеров.

1. Фтор имеет самую высокую электроотрицательность среди всех химических элементов. При объединении с полимерной цепью атомы фтора значительно укрепляют ее, поскольку расстояние углеродофторных связей очень мало и достаточно сильно (477 кДж/моль). Это химическое свойство обеспечивает стойкость покрытия к химическим воздействиям и отличную термостабильность фторполимеров.

Способность фторполимеров отталкивать нежелательные химические воздействия тестировалась на многомoleкулярном спирте, хлорфениле и соли себациновой кислоты. Тест проводился методом погружения в течение 19 ч при температуре +100 °С. Затем поверхность покрытия изучалась под электронным микроскопом. Другой тест определял способность покрытия к миграции металлов (в результате которой образуются дендриты), для этого его погрузили в загрязненную среду 10^{14} Na⁺/см² при относительной влажности 95% и термоциклировании –10...+100 °С. Следов миграции после 100 циклов продолжительностью 4 ч/цикл обнаружено не было. Для сравнения кремнийорганические покрытия (типа силиконовых) показали следы миграции уже после 8 циклов.

2. Фторполимеры обладают самым низким поверхностным натяжением среди всех существующих конформных покрытий (табл. 3). Именно эта характеристика придает поверхности отталкивающие свойства.

Поверхностное натяжение определяет степень смачиваемости поверхности. Если на поверхность нанести каплю жидкости, то угол образовавшейся капли-сферы будет характеризовать степень смачиваемости. Чем меньше угол, тем лучше растекание жидкости. Поэтому водоотталкивающие поверхности должны иметь максимально больший угол контакта. Для фторполимерных жидкостей он составляет 105° для воды и 65° для гексадекана.

Таблица 3. Значения поверхностного натяжения различных материалов

Материал	Типичное значение, Н/м	Типичное значение, дин/см
Фторуглеродные акрилаты	0,011–0,014	11–14
Тефлон	0,018–0,02	18–20
Силикон (кремнийорганика)	0,024	24
Полиэтилен	0,031	31
Эпоксидное покрытие	0,04	40
Полиуретан	0,04	40
Акрил	0,04	40

При контакте с покрываемым материалом (особенно после 15-минутной температурной выдержки при +100 °С) определенные фторполимеры перестраивают свою микроструктуру для минимизации разницы в поверхностной энергии между покрытием и подложкой. Это обеспечивает хорошую адгезию покрытия практически к любым материалам, включая медь, эпоксидную смолу, стеклоткань.

3. Растворимость фторполимеров составляет 11,4 Дж/см³. Максимально приближенный к этому значению растворитель серии 7100 производства 3М пока достигает 11,6 Дж/см³ при условии сохранения следующей пропорции: 2% фторполимера и 98% растворителя 7100. Поэтому некоторые производители фторполимерных покрытий, например Nordson, используют именно растворитель производства 3М 7100.

4. Отличная долгосрочная стабильность фторполимерного покрытия объясняется силой связи C-F. Благодаря этому материал обладает высокой диэлектрической способностью и изоляционными свойствами (40 кВ/мм), а также сохраняет стабильные влагозащитные характеристики при многократных долговременных циклах изменения температуры и влажности. Этим обеспечивается долгосрочная защита печатных плат.

Фторполимерное покрытие 1700 3М

Сегодня на российском рынке представлен один образец фторполимерного защитного покрытия — 1700 Electronic Grade Coating торговой марки Novac (3М, табл. 4). Это прозрачный низковязкий раствор фторсодержащего акрилового полимера в гидрофторэфирном растворителе. Данный растворитель не относится к легколетучим (VOC) веществам, благодаря чему отвечает международным экологическим нормам.

Жидкость предназначена для нанесения практически на любые поверхности: печатные платы, металл, стекло, подложки из меди или алюминия, гибкие полиимидные пленки и другие. После нанесения она образует тончайшую прозрачную пленку не более 1 мкм (для сравнения: толщина лаковых покрытий составляет 25–50 мкм).

Покрытие 1700 обеспечивает следующие защитные функции печатного узла: защита от влаги, от химических воздействий и от коррозии. Отметим, что функция влагозащиты включает как прямое попадание воды на по-

Таблица 4. Конформные защитные покрытия 3M Novac Electronic Grade Coatings

Свойства	Семейство покрытий											
	Серия 1700			Серия 1900				Серия 2700				2702
	Модель покрытия											
	1702	1700	1710	1901	1902	1904	1908	27002	2701	2704	2708	2702
Полимер	фторсодержащий акрилат											фторсодержащий акрилат (гибрид)
Растворитель	Novac 7100			Novac 7100 и 7200				Novac 7200				Novac 7200
Концентрация твердых веществ	0,2%	2%	10%	1%	2%	4%	8%	0,2%	1%	4%	8%	2%
Рекомендованный метод нанесения	погружение			распыление/погружение			погружение	селективное распыление	распыление/погружение		погружение	распыление/погружение
Толщина покрытия методом погружения, мкм	0,1	0,1–0,2	–	<0,1	0,1–0,2	0,3–0,6	0,8–1,3	<0,1	<0,1	0,3–0,6	0,8–1,3	0,1–0,2
Толщина покрытия методом распыления, мкм	–	–	–	1–3	2–5	3–6	–	–	1–3	3–6	–	2–5
УФ определение	нет			нет				есть				нет
Время сушки, мин	<2											
Отверждение	не требуется											15–60 мин при +70...+150 °С
Диэлектрическая константа (1 кГц, 30% RH)	3,2											5,5
Диэлектрическая проницаемость (1 кГц, 30% RH)	0,02											
Диэлектрическая прочность (В/мил при 35% RH)	2000						2500				2900	

верхность платы, так и образование конденсата в результате резких перепадов температуры. Фторполимер имеет широчайший температурный диапазон –73...+260 °С. Защитная пленка фторполимерного покрытия обеспечивает защиту печатной платы и ее компонентов от нагрева до +175 °С в течение продолжительного времени, сохраняя свои водоотталкивающие способности. Такой высокотемпературный рабочий режим покрытия принципиально важен для электроники, эксплуатирующейся при резких перепадах температуры.

Выделим некоторые моменты в технологии использования защитных покрытий 1700.

Топология печатной платы

На плате могут располагаться компоненты, которые не подлежат обработке защитными покрытиями, например соединители, контактные ламели, потенциометры или другие элементы управления. Обычно такие компоненты размещаются по краям платы и требуют применения маскирующих материалов.

Однако жидкость 1700 можно использовать и для печатных плат с предустановленными на них разъемами. Если контактные разъемы являются ножевыми, то в результате сочленения ответной части слой пленки будет легко удален и контакт восстановлен. Материал имеет малую механическую прочность, поэтому его легко убрать простым трением, что устраняет потребность в маскировании таких компонентов, как переключатели, разъемы, пьезоэлектрические излучатели.

Кроме того, жидкость 1700 можно удалить с помощью растворителя (7100).

Ремонтпригодность

Если узел требует ремонта, то критичным вопросом становится простота удаления покрытия. Важное преимущество покрытия 1700 — возможность доработки платы даже после нанесения защитного слоя. Слой пленки очень тонкий и без дополнительной очистки можно

проводить пайку и выпайку компонентов с нанесенным покрытием Novac 1700.

Методы нанесения

Нанести жидкость 1700 можно различными способами. При этом любой способ обеспечит точность нанесения, повторяемость и селективность. Она не требует высокотемпературной обработки, при необходимости ее легко удалить. Способы нанесения:

- погружение;
- распыление;
- капельный метод;
- капиллярный метод;
- нанесение кистью.

Традиционно разные методы нанесения предполагают различную толщину покрытия, однако такой проблемы с 1700 не существует. Жидкость имеет низкую вязкость и поверхностное натяжение, поэтому любой метод нанесения обеспечивает оптимальное управление потоком раствора.

Нанесение методом погружения позволяет покрыть самые узкие места платы и компоненты нестандартной формы. При разной скорости подачи платы образуется разная толщина покрытия. Для уменьшения испарения рекомендуется использовать узкие резервуары с высокими бортами. Кстати, это наиболее предпочтительный метод нанесения покрытия.

Нанесение методом распыления может выполняться вручную или селективно при помощи роботизированного оборудования. Автоматизированный способ позволит более экономно использовать жидкость и наносить ее более равномерно с учетом геометрии поверхности.

Капельный метод позволяет точно контролировать расход материала при сохранении ручного метода нанесения.

Нанесение кистью не рекомендуется из-за перекрестного загрязнения раствора. На волоски кисти могут попадать частицы с печатной платы. Кроме того, сложно контролировать количество наносимого раствора.

Контроль нанесения покрытия

Несколько слов о технологическом процессе и контроле качества. Первый вопрос, с которым придется столкнуться технологу и мастерам, — отличие обработанных плат от необработанных. Решение задачи заключается в использовании различного типа маркировки. На черные корпуса микросхем можно наносить точечные пятна раствора, которые будут видны невооруженным глазом (рис. 1).

Если покрытие наносится на светлые участки и такая маркировка не очевидна, то покрытие можно увидеть под микроскопом или методом сравнения двух плат.

Тем не менее подобные визуальные и экспериментальные методы позволяют увидеть просто наличие покрытия, но качество его нанесения не контролируется. Поэтому рекомендуется использовать спектрометр (для моделей без УФ-добавок) как основной метод контроля.

Еще один способ, позволяющий определить нанесение покрытия, — тест на несмачиваемость масла (рис. 2). Высохшее покрытие будет отталкивать жидкости, минеральные масла, парафиновое масло и гексадекан. Такой тест можно проводить и при приемке печатных плат.

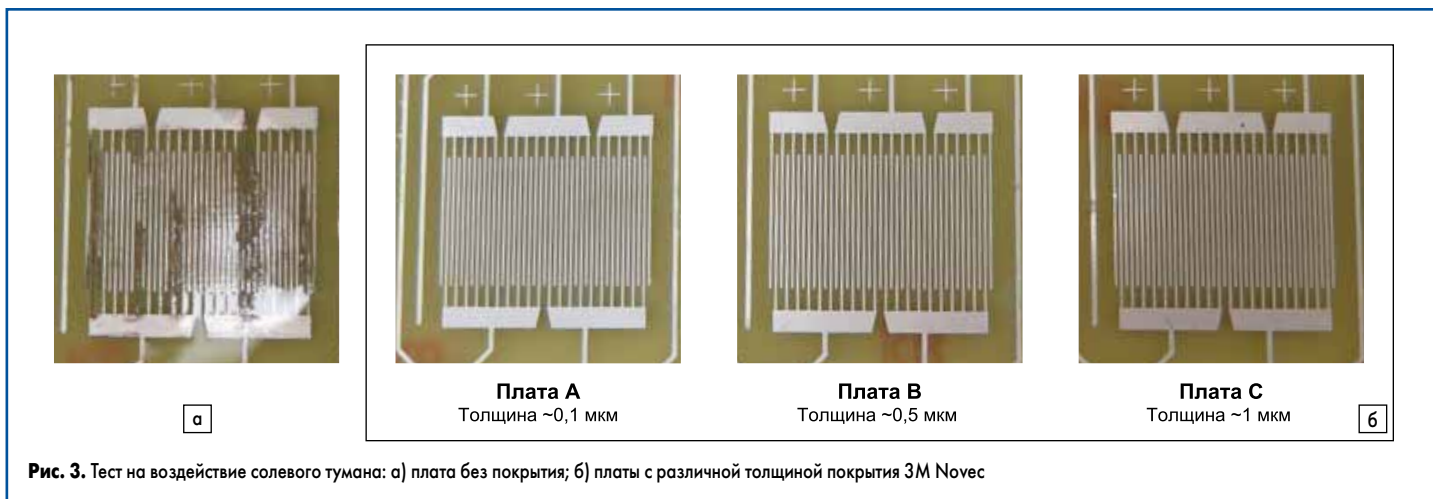
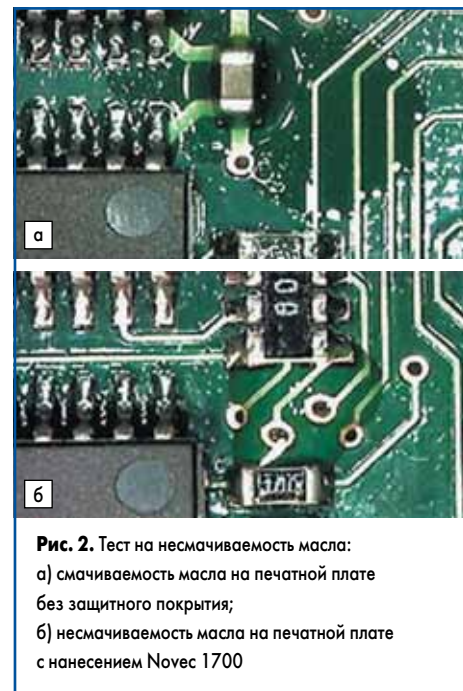
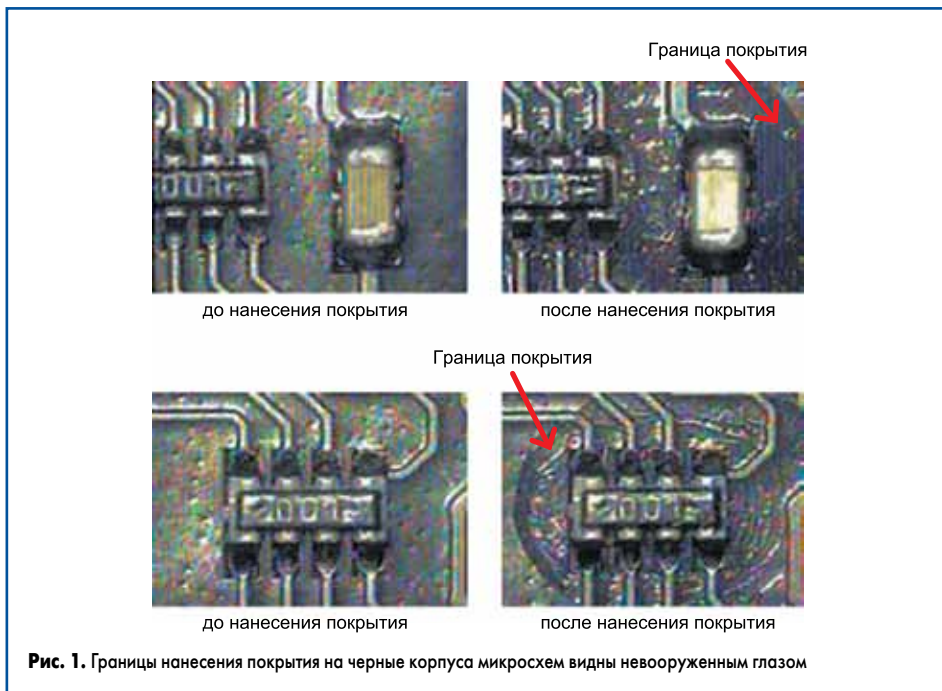
Контроль расхода

Другой вопрос — интенсивность расхода жидкости. Ее можно контролировать с помощью электронных весов, взвешивая массу жидкости каждые 4 ч (при автоматизированном процессе нанесения).

УФ-тестирование

Важным преимуществом является и то, что жидкости могут содержать добавки, что позволяет контролировать качество нанесения покрытия при помощи УФ-лучей.

Серия защитных покрытий 2700 (жидкости серий 27002, 2701, 2704 и 2708) имеют желто-оранжевый наполнитель, который флуоресцирует под воздействием УФ-лучей, облегчая инспекцию и контроль качества нанесения покрытий.



Толщина покрытия

Традиционные конформные покрытия имеют толщину слоя 25 мкм и выше. Покрытия 3М значительно тоньше. При нанесении методом погружения толщина покрытия может варьироваться в пределах 0,1–1,3 мкм. При однократном покрытии распылением толщина слоя составит 1–6 мкм. Можно наносить несколько слоев для увеличения толщины защитного покрытия.

Тонкость покрытия имеет несколько преимуществ:

- электрический контакт можно осуществлять непосредственно через покрытие, устраняя необходимость в маскировании;
- превосходное покрытие сложных геометрических рельефов;
- улучшение термопрофиля при эксплуатации платы — тонкое покрытие быстрее проводит тепло.

Безопасность применения

Защитные покрытия Novac 3М полностью безопасны для рабочего персонала и окружающей среды, они характеризуются такими свойствами, как:

- невоспламеняемость и низкая токсичность для безопасности рабочего персонала;
- непроводимость;
- минимальное воздействие на окружающую среду, нулевой потенциал озонного истощения, низкий потенциал глобального потепления по сравнению с традиционными конформными покрытиями с углеводородными растворителями;
- без летучих соединений (VOC);
- строгое соблюдение нормативных требований.

Испытания 1700 на воздействие солевого тумана

Для тестирования покрытия на предмет его антикоррозионных свойств используют тест на влияние солевого тумана. В камерах солевого тумана печатные платы подвергаются воздействию морской воды и морского тумана, в которых содержатся соли хлора, магния и других элементов. Такие тесты позволяют судить о стойкости покрытий к коррозионным воздействиям при высокой влажности воздуха.

Результаты тестов с 1700 показывают, что даже тонкий слой покрытия обеспечивает на-

дежную защиту традиционных металлических покрытий (таких как иммерсионное серебро) от коррозии, вызванной тяжелыми условиями солевого тумана. Нанесение дополнительных слоев позволит повысить защиту платы и высокопрофильных компонентов или же плат со сложной конфигурацией (рис. 3).

Тестирование на сопротивление изоляции

Качество конформных покрытий тестируются по международному стандарту IPC-CC-830 и IPC-TM-650 2.6.3.4, который регламентирует сопротивление изоляции (более 500 МОм) после определенных испытательных циклов изменения температуры +25...+65 °С при 85% относительной влажности (рис. 4, 5).

Заключение

Фторполимерные покрытия являются высоконадежной заменой полиуретановых покрытий нового поколения для изделий, требующих высокой надежности в эксплуатации. В отличие от полиуретана фторполимерные покрытия обладают рядом преимуществ,

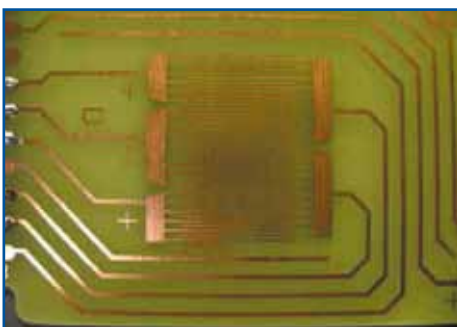
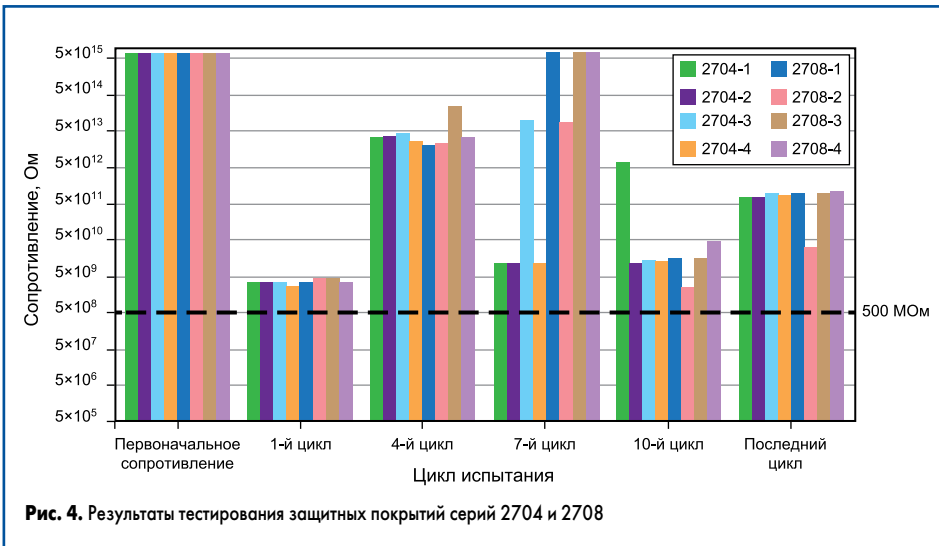


Рис. 5. Вид платы после испытаний на влажность и сопротивление изоляции по стандарту IPC-CC-830: без видимых изменений

ускоряющих и облегчающих процесс нанесения и ремонта покрытия:

- возможность использования любого типа нанесения: погружение, напыление, селективное распыление, кисть;
- не требуют времени на отверждение, высыхают за несколько секунд;
- применение покрытия не требует маскирования разъемов или ламелей;
- покрытие ремонтпригодно для последующей пайки без удаления;
- возможность усиления свойств покрытия увеличением слоев;
- специальные покрытия для УФ-инспекции и контроля качества.