



Влагозащита — 2

Никогда не говорите сразу всего, что знаете

Пару лет назад в журнале «Электроника: НТБ» была опубликована обзорная статья о методах влагозащиты печатного монтажа [1]. Эта статья довольно быстро переместилась на сайты предприятий, имеющих отношение к производству печатных плат [2, 3]. В Интернете даже появилось предложение о продаже ее электронной версии. Покупать собственную статью я не стал, но, поскольку товар пользуется спросом, решил продолжить размышления на эту тему.

**Владимир Уразаев,
к. т. н.**

urazaev@yandex.ru

ДА — ДА — НЕТ — ДА!

*Если что-либо можно объяснить глупостью,
не стоит прибегать к иному объяснению*

Существует ли вообще проблема влагостойкости? Быть может, она просто надумана?

Кто-то говорит да, а кто-то нет. Нигилисты утверждают, что проблемы нет, она осталась лишь в головах разработчиков методов этой самой влагозащиты. Стали доступными импортные стеклотекстолиты, а также импортные материалы, предназначенные для получения защитных полимерных (паяльных) масок. Подавляющее большинство печатных плат не отличается высокой сложностью. Если говорить об оборонке, то речь идет преимущественно о разработках восьмидесятых годов. Высококачественный стеклотекстолит плюс высококачественная защитная полимерная маска — вот и есть решение проблемы. «Контрольный выстрел» не требуется.

Это так называемое техническое решение. Организационно проблема решается примерно так:

1. Реализуются успешные испытания печатных узлов, изготовленных из отечественных базовых материалов.
2. В конструкторскую документацию изделий в качестве основного вносится СФ, СТФ или другой отечественный стеклотекстолит и делается маленькая приписка «допускается использовать FR-4».
3. Далее замуриваются глаза, и с чувством выполненного долга и глубокого удовлетворения на практике используется только FR-4.

Глубокое удовлетворение нарушается только тогда, когда начинают поступать рекламации об отказах экспортных изделий с аббревиатурами МИ, МИГ, СУ и др. при эксплуатации в дальних странах с влажным субтропическим климатом. Оказывается, использование FR-4 не решает всех проблем!

К сожалению (или к счастью?), не все и не всегда замуривают глаза, принимая во внимание существование еще одной проблемы: обеспечение технологической независимости страны. Поэтому

предприятиям, разрабатывающим, осваивающим производство новых изделий и ограниченным возможностью использования только отечественных материалов, не позавидуешь. Остается констатировать, что проблема обеспечения влагостойкости изделий радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) все-таки объективно существует.

Экстремальные условия эксплуатации характерны не только для военной техники. В аналогичных условиях трудится РЭА на предприятиях нефтедобычи, энергетики и некоторых других отраслей. Этот рынок захвачен в основном предприятиями малого и среднего бизнеса, в которых большей частью о существовании проблемы влагостойкости РЭА не знали, не знают и не хотят знать.

Не так давно ко мне обратились за консультацией специалисты одного из таких предприятий: «Пришел крупный заказ. Заказчик попросил сделать покрытие печатных узлов кремнийорганической жидкостью 136-41 (ГКЖ-94). Купили жидкость. Нанесли покрытие. Три дня сушим, а оно не твердеет...».

После нескольких наводящих вопросов об образовании и опыте работы специалистов причина была установлена довольно быстро. Оказалось, что они не подозревали о необходимости добавки к этой жидкости еще и отвердителя! Очень долго мне пришлось их убеждать, что прежде чем нанести настоящее покрытие, эту жидкость с печатных узлов следует все-таки удалить, а для удаления ни в коем случае не использовать бензин марки АИ-92.

На этом история не заканчивается. На вопрос о том, а как же вы раньше получали такое покрытие, был получен ответ: «Жидкость брали в соседней фирме. Ничего в нее не добавляли, и никаких проблем с отверждением не было». Снова загадка. Что за чудеса? Разгадка вновь оказалась анекдотичной. Соседняя фирма в своей производственной деятельности использовала кремнийорганическую жидкость, которую ее сотрудники заимствовали с прежнего места работы еще в советские времена. Не мудрено, что за долгие годы своего существования она и приобрела способность отверждаться самостоятельно. О защитных свойствах такого покрытия остается только догадываться.

Таблица. Сравнение свойств базовых полимеров

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

А как у них?

Когда работаешь над решением какой-то проблемы, всегда полезно знать заранее ответ

Раскидав персональный компьютер или иной доступный нам продукт творчества зарубежных специалистов, ничего кроме «зеленки» на печатных платах мы не обнаружим. Складывается впечатление, что у них проблемы действительно нет. Увы, как это часто бывает, первое впечатление оказывается обманчивым. Проблема есть, есть и множество вариантов ее решения [4]. Специальные методы влагозащиты используются «в очень дорогих печатных платах или печатных платах с особыми требованиями по надежности (преимущественно военная техника)». Речь идет в основном о влагозащитных полимерных покрытиях «conformal coatings».

В таблице показаны основные типы полимеров, используемых за рубежом для получения защитных покрытий печатных плат, и некоторые их свойства.

Химия интернациональна. Основа покрытий у них та же, что и у нас: полиакрилаты, эпоксидные смолы, полиуретаны, силиконы (кремнийорганические полимеры) и полипараксилилен. Используются также покрытия, являющиеся гибридами нескольких полимеров различной химической природы (уретанов и акрилатов, акрилатов и силиконов и др.). Ближайший аналог — отечественный алкидно-эпоксидно-уретановый лак УР-231.

То же можно сказать и о способах получения покрытий. Если в качестве пленкообразующего лака используются термопластичные полимеры, например, полиакрилаты, то образование покрытия происходит в результате испарения растворителя. Для отверждения трехмерных полимеров используются нагревание, влага воздуха, ультрафиолетовый свет или их комбинации. Выделяются только полипараксилиленовые покрытия, формирование которых происходит из газовой фазы.

Даже скучно становится. Ничего выдающегося для влагозащиты печатного монтажа, похоже, не используется. Но, судя по тому, что «Фантомь» и «Кобры» переносят влажные субтро-

пики гораздо увереннее своих собратьев «made in Russia», влагозащита печатного монтажа на стадиях проектирования и изготовления РЭА у них реализуется на более высоком уровне.

Трудности перевода

Любая цитата, которая может быть искажена, будет искажена

Так уж получилось, что в области полимерной химии мы намного отстаем от них. Лишь в некоторых областях, например в области химии полиэфиракрилатов [5], мы идем наравне или даже чуть впереди Европы всей. А то, что для решения задач в области влагозащиты печатного монтажа мы используем те же самые полимеры, еще ни о чем не говорит. Чаще всего наши разработки сводились к воспроизведению или попросту к копированию их разработок. «Железный занавес» позволял не принимать во внимание существование такого понятия, как интеллектуальная собственность. К сожалению, по самым разным причинам чаще всего безошибочного перевода сделать не удавалось.

Как бы меня не убеждали, что наш стеклотекстолит по своим техническим характеристикам ничуть не хуже, чем зарубежный, я никогда в это не поверю. Достаточно подержать его в руках. Его органолептические свойства значительно уступают свойствам зарубежных аналогов. Возьмем, к примеру, цветность. Наш — желтый, зарубежный — прозрачный, чаще всего со слабым оттенком, который, скорее всего, отражает лишь цветовые предпочтения дизайнеров фирмы-изготовителя.

Если наличие цвета не является неотъемлемым физическим свойством какого-либо химического соединения, с большой долей вероятности это говорит о наличии в нем примесей. Любой химик-синтетик подтвердит это утверждение. Чаще всего за цветность отвечают продукты осмоления, содержащие сопряженные неперделные связи. Такие продукты могут только ухудшить электротехнические характеристики стеклотекстолита. Чем больше таких продуктов, тем интенсивнее окраска. И можно только радоваться, что наш стеклотекстолит имеет всего лишь желтый цвет.

В приведенной выше таблице полипараксилиленовые (париленовые) покрытия выделены отдельной строкой. Действительно, это уникальное техническое решение — хотя бы потому, что в отличие от всех других известных методов позволяет получить одинаковое по толщине полимерное покрытие как на плоских поверхностях, так и в угловых переходах. (Правда есть еще один метод с таким же эффектом — электрофорез, но по ряду причин он оказался непригодным для решения рассматриваемых задач.) Уникальны и электрофизические свойства таких покрытий. Удельное объемное сопротивление изоляции достигает 10^{17} Ом·см! Париленовые покрытия при значительно меньшей толщине эквивалентны по защитным свойствам традиционным лакокрасочным покрытиям.

Первенство в использовании таких покрытий принадлежит фирме Union carbide (США). В настоящее время они широко используются в передовых западных технологиях — в первую очередь в авиакосмической и военной технике. Исходными продуктами для получения париленовых покрытий являются дипараксилилен или ди-хлор-ди-пара-ксилилен. По сути дела, второй продукт — это почти то же самое, что и первый, за исключением одного или двух атомов водорода в ароматических кольцах, которые замещены на хлор.

Они используют второй. Мы, испытывая какие-то неведомые мне сложности с переводом, предпочли первый [6]. У него чуть выше электрическая прочность и удельное объемное сопротивление изоляции, чуть меньше диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь. Разработчики электронной техники скажут, что это очень даже хорошо. Но... есть проблемы с адгезией образующегося из него покрытия.

Для обеспечения необходимой адгезии такого покрытия приходится использовать подслоя праймера. Для сохранения всех перечисленных выше преимуществ необходимо, чтобы электрофизические свойства отвержденного подслоя праймера повторяли уникальные свойства вышележащего покрытия. Но уникальность, увы, неповторима — со всеми вытекающими из этой неповторимости возможными последствиями. В лучшем случае — это потеря всех преимуществ, в худшем...

Вред в пользу

Тот факт, что вы упали, не имеет значения, если, поднимаясь, сумели прихватить с пола какую-либо ценную вещь.

Трудности перевода стимулировали появление новых технических решений области влагозащиты печатного монтажа.

Так, ООО «Гамма-Ресурс» предлагает технологию влагозащиты печатных плат... полиэтиленом [2]. Основа полимерной, а точнее, олигомерной, композиции «Гаммавоск» — низкомолекулярные полиэтиленовые воски с молекулярной массой от 500 до 5000, получаемые при термическом разложении полиэтилена. Технология реализована таким образом,



что не требует использования праймера. А ведь адгезия полиэтилена к стеклотекстолиту намного ниже, чем у поли-пара-ксилилена!

Без активного продвижения на рынок любой, даже самой сверхэффективной разработке суждено чахнуть и медленно умирать. В связи с этим следует отметить активную работу службы маркетинга этого предприятия.

Одним из вариантов патентной защиты оригинальных технических решений является «использование способа, устройства или вещества по неизвестному ранее назначению». Под этот способ защиты стопроцентно попадает использование для влагозащиты печатных плат так называемых эпиламов [7].

Эпиламы представляют собой растворы фторсодержащих поверхностно активных веществ (ПАВ) — перфторполиэфирокислот. Первоначально такие составы использовались только в узлах трения. Тонкие, толщиной до нескольких ангстрем, гидрофобные покрытия — эпиламы чрезвычайно сильно изменяют энергетическое состояние на поверхности твердого тела. Молекулы ПАВ ориентируются под действием поля твердого тела и, взаимодействуя с молекулами масла, препятствуют растеканию последнего из зоны трения. Следствие — снижение коэффициента трения и, соответственно, увеличение ресурса работы узлов трения.

Эпиламирующие составы оказались пригодными для решения других не менее важных задач, в частности для обеспечения влагозащиты микросборок и печатных плат. К преимуществам эпиламирующих влагозащитных покрытий разработчики относят:

- гидрофобность;
- химическую и термическую стойкость;
- флюсующие свойства и ремонтпригодность;
- возможность эксплуатации в закрытых объемах.

От себя добавлю, что, по сути дела, покрытие эпиламом можно рассматривать как первое использование нанотехнологий в области влагозащиты печатных плат. Ведь покрытие эпиламом правильнее называть нанопокрывтием.

Хотелось бы, конечно, в качестве первооткрывателя видеть себя, но, увы, модификация влагозащитных покрытий на наноуровне была предложена автором гораздо позже [8, 9]. Скорее всего, припозднились и разработчики методов «повышения водостойкост-

ти и ресурса покрытий микромодификацией их на наноуровне» [10].

А вот первенство в использовании нанотехнологий для модификации другого активного создателя проблемы влагоустойчивости (подложки печатной платы) принадлежит все-таки автору статьи.

Бывает и так, что падают одни, а ценные вещицы подхватывают другие. Отечественный стеклотекстолит запомнился многим не только желтым цветом. Для характеристики одного из его дефектов даже был придуман стыдливый термин «оголение текстуры стеклоткани». Это когда в процессе стравливания фольги параллельно стравливается еще и эпоксидная смола. Стеклоткань оказывается снаружи и об изоляции в таких печатных платах можно забыть. В капиллярах стеклоткани вода может конденсироваться даже в нормальных условиях [11] и «коротить» проводники.

С использованием известных из других областей техники методов заполнения пор мне удалось научиться залечивать такие дефекты. «Ремонтная» технология оказалась способной увеличивать сопротивление изоляции и в тех печатных платах, где стеклоткань находится там, где она и должна быть, — внутри стеклотекстолита, и очень даже сильно [12, 13]. Об эффективности этой технологии говорит такой факт, что она оказалась способной улучшать электроизоляционные свойства не только нашего СФ, но и их FR-4 [14]. Чем же объясняются такие чудеса? Чудеса объясняются модификацией структуры эпоксидного связующего стеклотекстолита на молекулярном (нано) уровне. Конечный продукт такой модификации — взаимопроницающие полимерные сетки эпоксидной смолы и полимера наполнителя.

Эволюция или революция?

Вывод — это место в размышлениях, где вы уже устали думать.

Микроминиатюризация не оставляет в стороне и печатные платы. В отечественной нормативно-технической документации уже не хватает классов точности для характеристики уровня сложности современных печатных плат. С увеличением плотности расположения проводников повышаются требования к изоляционным характеристикам окружающих их

материалов (стеклотекстолит и защитное покрытие). Следовательно, проблема обеспечения влагоустойчивости печатного монтажа объективно становится все более проблемной.

Они решают эту все усложняющуюся проблему, преимущественно используя эволюционный путь развития, шаг за шагом, традиционными методами улучшая изоляционные и прочие технические характеристики стеклотекстолита и базовых полимерных влагозащитных покрытий. И до сих пор преуспевали в этом.

У нас, начиная с 1917 года, в почете было слово революция. Привыкли махать шашкой. Посмотрите хотя бы заголовок статьи [14]. Правда, иногда удается срубить очень даже интересные вещицы, но... не хватает усидчивости. Хотелось бы заглянуть вперед лет этак на 10–15. Может быть, найдется все-таки такой рубака, который сможет раз и навсегда разубить «гордиев узел», и слово влагозащита навсегда уйдет из нашего лексикона?

Технически, если мобилизовать все современные достижения химии, физики и других пограничных наук, это можно сделать и сейчас. Но вот экономическая сторона... Поэтому, думаю, что еще долго мы будем наблюдать за эволюционными упражнениями, оживляемыми время от времени небольшими дворцовыми переворотами. Если мой прогноз не сбывается, буду этому только рад.

Литература

1. Уразаев В. Влагозащита печатного монтажа. Обзор методов // Электроника: НТБ. 2003. № 1.
2. <http://www.gamma-resurs.ru/news.html>
3. http://www.pcbtech.ru/doc/articles/coating_methods.mht
4. http://www.loctite-europe.com/int_henkel/loctite_europe/index.cfm?pageid=399&layout=2
5. Берлин А. А., Королев Г. В., Кефели Т. С., Сивергин Ю. М. Акриловые олигомеры и материалы на их основе. М.: Химия. 1983.
6. Ширшова В. Технология влагозащиты и электроизоляции изделий РЭА полипараксилином // Компоненты и технологии. 2002. № 2.
7. <http://www.epilam.ru>
8. Уразаев В. Г. Способ влагозащиты печатных плат по заявке РФ № 2003138069 от 29.12.2003.
9. Уразаев В. Г. Способ влагозащиты печатных плат по заявке РФ № 2004101214 от 14.01.2004.
10. Повышение водостойкости покрытий, их ресурса микромодификацией наноструктурами. Программа семинара «Проблемы влагозащиты узлов и блоков РЭА и пути их решения. Санкт-Петербург. 12–14 апреля 2005 года.
11. Медведев А. М. Надежность и контроль качества печатного монтажа. М.: Радио. 1986.
12. Уразаев В. О проблеме влагоустойчивости печатного монтажа // Компоненты и технологии. 2002. № 4.
13. Уразаев В. Полимеризационное наполнение: новые технологии, контрафактные предложения // Компоненты и технологии. 2004. № 4.
14. Уразаев В. Время — вперед! // Компоненты и технологии: Технологии в электронной промышленности. 2005. № 1.