Электронные модули и осаждение влаги

В статье представлен перевод главы из книги «Влагозащитные покрытия в электронике». Материал публикуется с разрешения компании Lackwerke Peters GmbH.

Манфред Зуппа (Manfred Suppa)

Перевод: Илья Лейтес

Физические эффекты осаждения влаги (воздуха) на полимерах, а также на электронных модулях (ЭМ) могут быть разделены на адсорбцию и абсорбцию влаги (воды).

При адсорбции атом или молекула из газа или жидкости прикрепляется к поверхности (адсорбента). В зависимости от вида связей в адсорбционном комплексе разделяют физическую и химическую адсорбцию. Обратный процесс, то есть выделение с поверхности, называется десорбцией. В противоположность ей абсорбция определяется как проникновение атома или молекулы в свободный объем твердого тела или жидкости (рис. 1).

Адсорбция воды означает ее осаждение на поверхность металла или пластика, что может вызвать падение поверхностного сопротивления. Это не оказывает влияния на изоляцию внутри материала, на нее оказывает влияние абсорбция (воды).

Электрические дефекты, возникающие в результате адсорбции, можно минимизировать путем нанесения покрытия или заливки компаундом. Однако для лакированных ЭМ не исключен процесс абсорбции. Степень абсорбции косвенно проверяется методом SIR, или контролем сопротивления изоляции во влаге.

В конкретной ситуации воздействия влаги на ЭМ оба феномена действуют одновременно. Даже «сухая» поверхность всегда имеет некоторую пленку влаги. В этой связи возникает следующий вопрос: «Насколько сухой является сухая поверхность?»

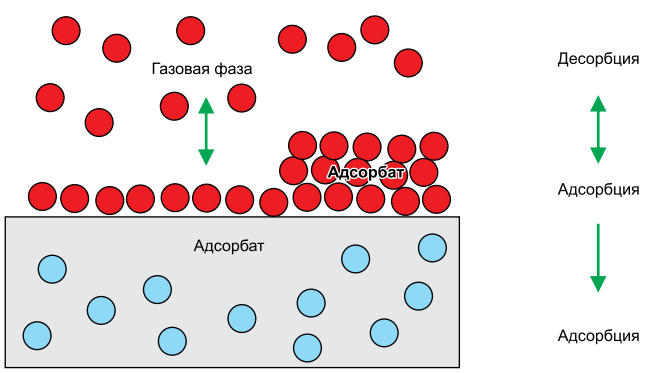

Рис. 1. Модель адсорбции, десорбции и абсорбции

Ответ может быть дан сканированием туннельным микроскопом (СТМ) [1]. В очень сухой атмосфере, при RH менее 50%, может образовываться водяная пленка около 10 нм в форме капелек или островков. Пленки такой толщины могут взаимодействовать с гигроскопичными, то есть подверженными сильному воздействию воды, загрязнениями на поверхности. При RH в 50% и более толщина водяной пленки может достигать величины, превышающей 60 нм. Большинство ЭМ функционируют в таких условиях, когда, как правило, не требуется никакого дополнительного покрытия.

При исключительно гидролитической металлической поверхности, то есть при наличии слоя оксида металла, хорошо поглощающего влагу, адсорбция значительно сильнее. В этом случае пленка может достигать 80 нм даже при 50% RH, быстро достигая величины более 100 нм. При более 50% RH на поверхности металла образуется сплошная водяная пленка. Здесь следует учитывать, что при толщине более 10 нм начинают проявляться нормальные свойства воды. На поверхности могут начать растворяться соли и, следовательно, могут быть запущены ионные процессы [2, 3].

Когда же влажность воздуха составляет более 80%, всегда существует скрытый риск выпадения росы. Причем точка выпадения росы может колебаться в пределах 2…3 °C.

Атмосферная влага и ее воздействие на изоляционные свойства покрытий включены в национальные и международные стандарты, регулирующие характеристики защитных покрытий ЭМ. Например, стандарт IPC-CC-830B требует, чтобы сопротивление изоляции и во время, и после воздействия влаги было бы не менее 10 МОм (что весьма отличается от 500 МОм для нормальных влажностно-температурных условий).

Но в чем заключается разница между высокой влажностью воздуха, выпадением росы и погружением в воду?

Выпадение влаги появляется только тогда, когда давление насыщенного пара воды превысит известную для данной температуры величину. Если холодный компонент поместить в теплую атмосферу, воздух, непосредственно примыкающий к ЭМ, охладится. Поскольку холодный воздух абсорбирует меньше влаги, чем теплый, вода конденсируется

и может выпасть в виде капель на ЭМ. Риск падения температуры ниже точки росы реально велик при температуре 0… +10 °С.

Различные климатические тесты включают определенные фазы, связанные с выпадением росы, которые связаны с теплоемкостью испытываемого образца.

Этот процесс выпадения росы ясно демонстрируется на тесте, который выполнен Хантом [4] и показан на рис. 2. IPC-купон в виде гребенки измеряется при 5 В, +40 °С и 93% RH. Элемент Пельтье, прикрепленный с обратной стороны, охлаждает испытываемую плату, уменьшает температуру ниже точки росы и инициирует выпадение росы или конденсацию влаги на верхней стороне купона-гребенки.

В действительности при непокрытой гребенке сопротивление падает значительно во время фазы выпадения росы, как и ожидалось. С другой стороны, покрытая лаком гребенка не дает значительного падения сопротивления, несмотря на то, что имеет место выпадение росы на покрытие, так как оно изолировано от гребенки. Установленные параметры сопротивления позволяют точно распознавать фазы выпадения росы и высыхания.

Более того, когда выпадает роса, начинают работать другие физические законы. Вода, содержащаяся в полимере, больше не находится в равновесии с водяным паром, содержащимся в воздухе, а находится в равновесии с водой, конденсировавшейся на лакированную поверхность. Возникает новое физическое явление под названием осмос. Оно приводит к далеко идущим последствиям.

Осмос означает, что для каждого вещества абсорбированная в твердом объеме вода разбавляется до состояния, когда осмотическое давление этого нового раствора равно осмотическому давлению пленки воды или капле на влагозащитном покрытии. Это могут быть соли, следы пота рук, а также растворимые компоненты флюса. Действие осмоса значительно уменьшает величину электрического сопротивления и может даже приводить к образованию пузырей на конформном покрытии.

При всей разнице между выпадением росы и прямым воздействием воды физические законы, относящиеся к осмосу, остаются одинаковыми. Однако имеется отличие, когда поверхность смочена. При росе на поверхности местами формируется тонкая пленка, которая в зависимости от количества воды в большей или меньшей степени «скатывается». Когда тело полностью погружено в воду, имеет место полное смачивание, и ЭМ омывается со всех сторон. Как следствие, возможен ток утечки не только на поверхности и через капли воды, но также прямо через жидкую фазу. Более того, может наблюдаться серьезное утонение защитного покрытия, имеющегося на поверхности компонента.

Такие же эффекты могут наблюдаться при появлении продуктов реакции, которые возникают при воздействии токовой нагрузки (электролизе). В этом случае также главную роль играет степень концентрации данных продуктов, которая в конечном итоге является определяющей для начала деградации полимера и возможного процесса пассивации. Это может приводить к различным нарушениям функционирования электронных компонентов.

Влияние всех этих параметров на функционирование ЭМ представлено в таблице.

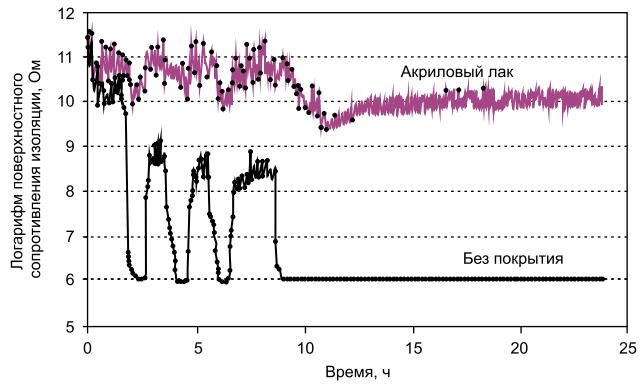

Рис. 2. Влияние выпадения росы на поверхностное сопротивление изоляции, измеренное на купоне в виде гребенки с покрытием и без него

Таблица. Влияние различных факторов на функционирование ЭМ

Параметр	Типовой результат
Влага	Физический: коррозия, миграция, электролиз, адсорбция, абсорбция, осмос, потеря адгезии. Электрический: ток утечки, дрейф параметров, пробой, КЗ, высокий уровень шума
Температурные циклы (–40...+ 85 °С)	Физический: окисление, деградация, размягчение, механический стресс, потеря адгезии. Электрический: дрейф параметров, прерывание контакта при прикладывании механической нагрузки
Воздействие коррозионных сред (соль, туман)	Физический: коррозия, миграция, электролиз, адсорбция, абсорбция, потеря адгезии. Электрический: ток утечки, дрейф параметров, пробой, КЗ
Воздействие непрерывной вибрации. Механический удар	Физический: деградация, разрушение, разрыв соединений. Электрический: прерывание контакта, контактные проблемы, КЗ
Прочие воздействия (грибы, пыль)	Старение и деградация пластика, возможность отказов, КЗ, высокий уровень шума, пробой, ток утечки

Литература

1. Freund J., Halbritter J., H. Korber J. K. How dry are Dried Samples? Water Adsorption Measured by STM // Microscopy Research and Technique. 1999. No 44.
2. Luck W. A. P. Structure of Water and Aqueous Solutions // Verlag Chemie. 1973.
3. IPC-HDBK-830: Conformal Coating Handbook — Guidelines for Design, Selection and Application of Conformal Coatings. 2002. No 10.
4. Hunt Ch. Implementation & Reliability Issues with Lead-free solders. SMTAi. San Diego. 2009.