

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОТКАЗОВ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

А. Г. Разоренов, А. М. Медведев

Введение

Непременным атрибутом электронной аппаратуры и, в частности, авионики, являются монтажные подложки в виде печатных плат с основаниями из композиционных материалов: армирующая стеклоткань, эпоксидная смола, медная фольга.

Печатные платы являются физической основой межсхемных соединений электронных компонентов. Высокая интеграция современных электронных компонентов обуславливает необходимость в высокой плотности межсоединений, которые можно реализовать только за счет применения многослойных печатных плат (МПП), на основе композиционных материалов с многочисленными сквозными металлизированными отверстиями для трансверсальных соединений. Капиллярные каналы в композиционных основаниях МПП создают условия для токов утечки между отверстиями вдоль слоев стеклоткани, что создает ощутимую вероятность потенциальных отказов изоляции электронной аппаратуры (рис. 1).

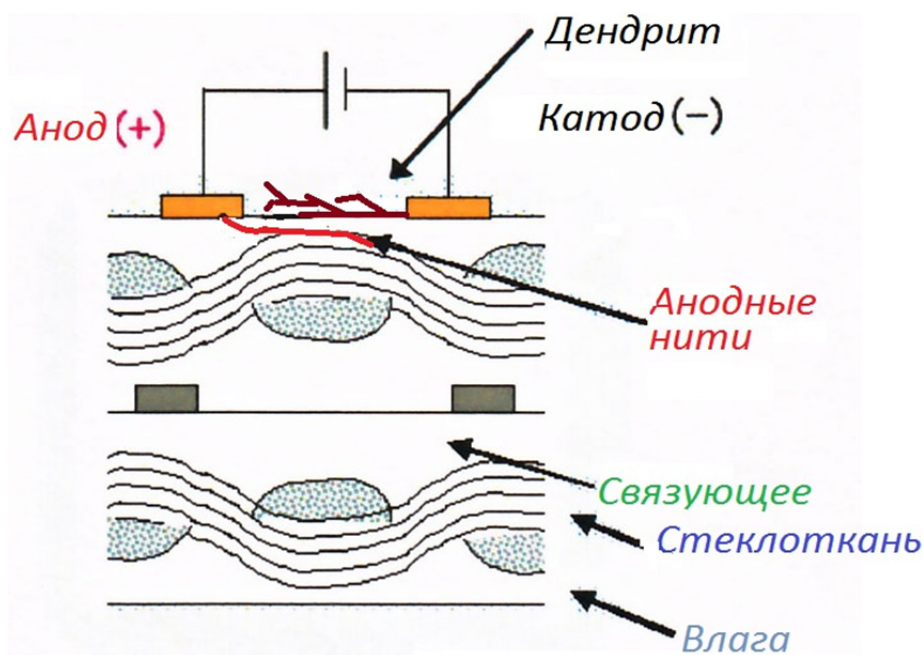


Рис. 1. Электрохимические процессы в структуре композиционного материала МПП

Дефекты электроизоляционной конструкции МПП

Анализ отказов изоляции МПП демонстрирует, что их основными источниками являются локальные дефекты диэлектрика: участки, не заполненные смолой, местные расслоения или слабое сцепление слоев МПП, инородные включения и загрязнения между слоями МПП. Указанные дефекты так или иначе приводят к образованию продольных микрополостей вдоль слоев МПП [1].

Предусмотренная технологией операция химической очистки отверстий перед металлизацией несколько увеличивает размеры внутренних полостей и оставляет в них технологические загрязнения. Геометрия межслоевых микрополостей такова, что обмен жидкости в них при отмывке плат затруднен, поэтому они не освобождаются от загрязнений в нужной мере. Последующие процессы химического меднения отверстий усугубляют загрязнение микрополостей, а последующая гальваническая металлизация закупоривает их в полостях расслоений (рис. 2).

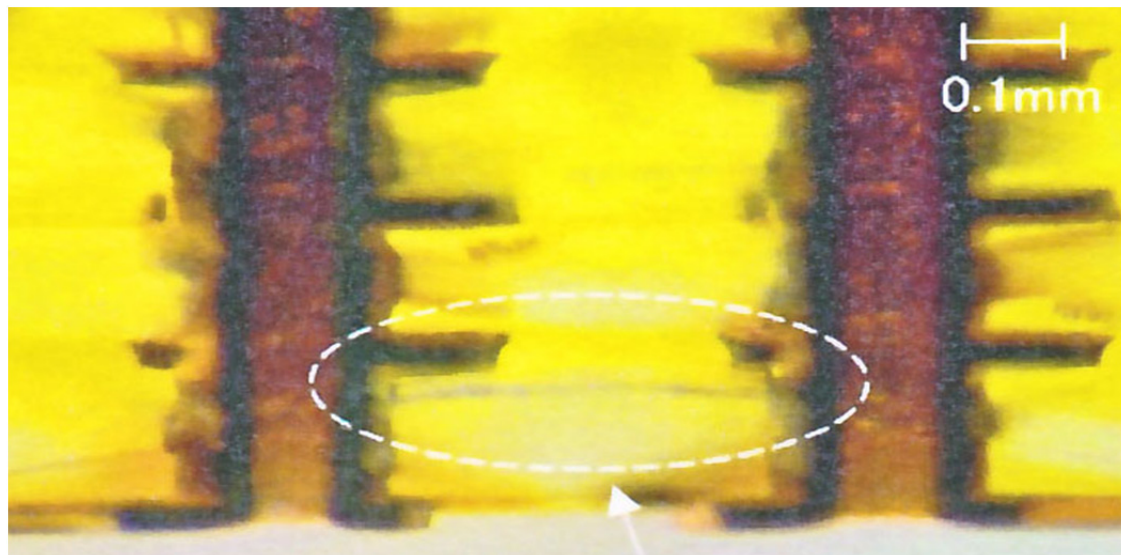


Рис. 2. Накопление загрязнений в микрополостях слоев МПП

Может показаться, что в процессе химического и гальванического меднения происходит обычная металлизация микрополости. На самом деле это может иметь место, когда межслоевые полости достигают такого размера, что в них становится возможным обмен растворов, необходимый для нормального обеспечения процесса осаждения. Однако такие дефекты легко распознаются при визуальном контроле или при контроле сопротивления изоляции, поэтому для их обнаружения нет необходимости принимать особые меры [2].

Труднее выявить дефекты расслоений, если их размер не превышает 100 мкм. Такие микрополости заполняются водой на первой же операции отмывки, а растворы химического меднения попадают в них только в результате диффузионных процессов в ограниченном количестве. Гальваническая металлизация тонких расслоений тоже затруднена из-за ограниченной рассеивающей способности электролитов. Этим можно объяснить достаточно высокий уровень сопротивления изоляции МПП с дефектами в виде межслоевых микрополостей. Тем не менее уже в процессе наладки аппаратуры многослойные платы с такими дефектами проявляют склонность к отказам, выражающимся в постепенном снижении сопротивления изоляции до значений, вызывающих сбой в работе функциональных узлов и блоков (рис. 3). Если такие дефекты были заложены между цепями питания МПП, сопротивление изоляции постепенно снижается до значений, вызывающих возгорание МПП в работающем устройстве [3–4].

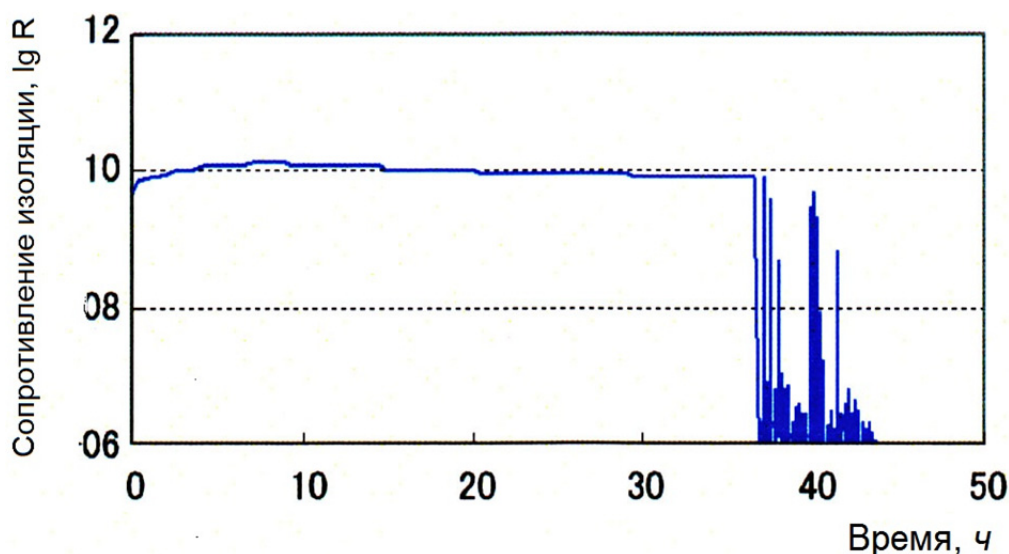


Рис. 3. Время до сбоя из-за отказа изоляции

Наиболее вероятным сбоем является снижение пробойного напряжения, вызванного за счет снижения поверхностного сопротивления изоляционного материала, основной причиной которого являются микрополости.

Микрополости – основной источник отказов изоляции МПП

Наличие в межслоевых микрополостях МПП водорастворимых химических загрязнений способствует образованию в них электролитов даже в условиях нормальной влажности, так как молекулы воды, диффундируя через толщу МПП, задерживаются у частиц солей, стремясь растворить их. В связи с тем, что упругость паров воды, насыщенной солью, меньше упругости паров чистой воды, внутрь локального дефекта, содержащего водорастворимые загрязнения, диффундирует вода. При этом стенки межслоевой полости растягиваются, что приводит или к дальнейшему расслоению МПП, или благодаря упругому натяжению стенок микрополости создается противодействие дальнейшему поглощению воды. Интенсивному поглощению влаги способствует также повышенная пористость (водопоглощение) тонких фольгированных материалов. Заполнение межслоевых микрополостей влагой создает условия для протекания электролиза, в результате которого на изоляционном участке образуются проводящие перемычки, как показано на рис. 4.

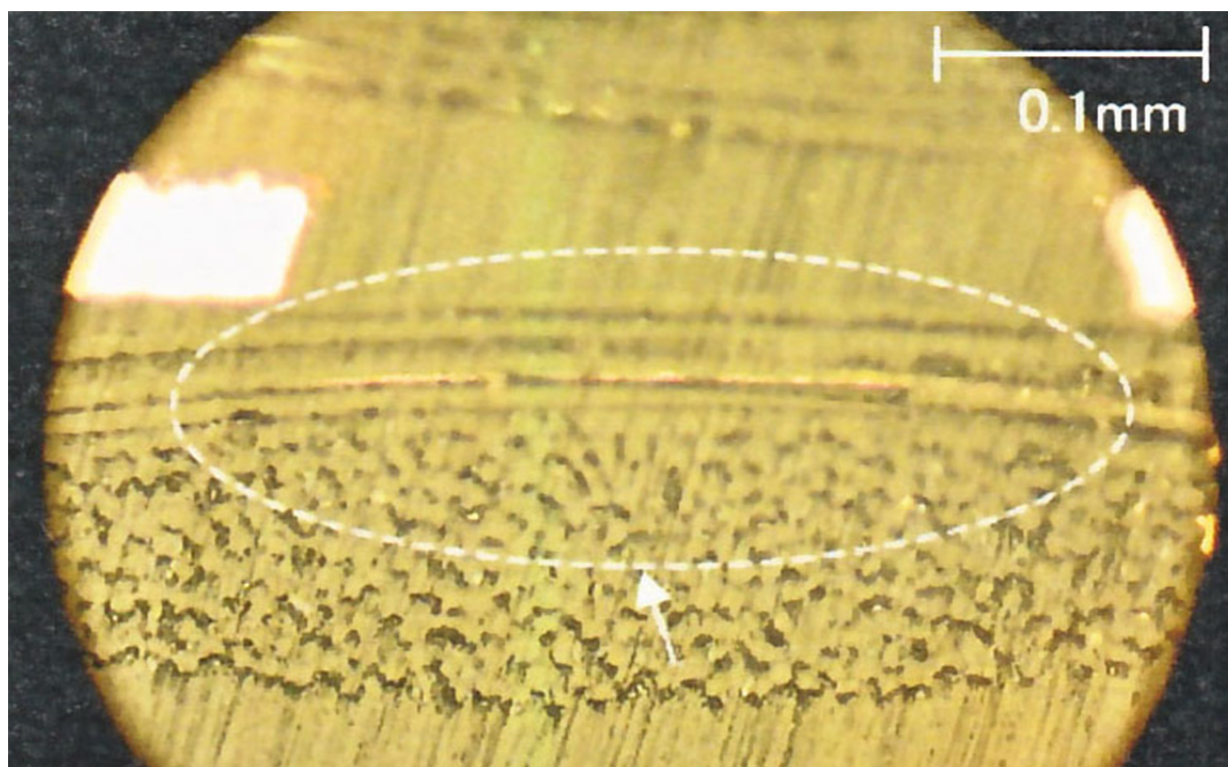


Рис. 4. Проводящая перемычка в полости диэлектрического основания

Таким образом, плотность межсоединений в современной аппаратуре авионики настолько велика, что даже незначительное число дефектов диэлектрика, наличие между слоями гигроскопических или жировых загрязнений (в частности, с поверхности кожи человека) создают достаточно ощутимую вероятность ослабления изоляции.

Список литературы

1. Медведев, А. М. Электрохимическая миграция в композиционных материалах, используемых в электроизоляционных конструкциях авионики / А. М. Медведев // Конструкции из композиционных материалов. – 2013. – № 3. – С. 45–55.
2. Ванцов, С. В. Надежность входного контроля / С. В. Ванцов, А. М. Медведев // Надежность и качество сложных систем. – 2015. – № 4(12). – С. 91–100.

3. Жаднов, В. В. Автоматизированная система расчета показателей долговечности электронных средств / В. В. Жаднов, В. Н. Кулыгин // Надежность и качество сложных систем. – 2015. – № 3(11). – С. 3–38.
4. Жаднов, В. В. Учет влияния внешних воздействующих факторов при прогнозировании характеристик безотказности и долговечности электронной компонентой базы / В. В. Жаднов // Труды международного симпозиума Надежность и качество. – 2016. – № 1 (13). – С. 13–18.

Разоренов Александр Геннадиевич

инженер, директор,
Научно-исследовательский институт
инновационных технологий
(121467, Россия, г. Москва, ул. Молдавская, 5, стр. 2)
E-mail: AlexOst1991@mail.ru

Медведев Аркадий Максимович

доктор технических наук, профессор,
кафедра технологии приборостроения,
Президент Гильдии профессиональных технологов
приборостроения,
Московский авиационный институт
(Национальный исследовательский университет)
(125993, Россия, г. Москва,
ул. Волоколамское шоссе, 4)
E-mail: medvedevam@bk.ru

Аннотация. Одна из причин отказов аппаратуры – плотность межсоединений, настолько большая, что выполненная из композиционных материалов печатная плата подвержена электрохимическим процессам формирования металлических мостиков по капиллярным каналам вдоль слоев слоистых пластинок в условиях повышенной влажности и постоянного напряжения. Это явление характерно для слаботочной аппаратуры авионики и мало изучено. Данное исследование проведено применительно к изоляционным подложкам печатных плат из композиционных материалов. Дан анализ дефектов электроизоляционной конструкции многослойной печатной платы (МПП). Показано влияние электрохимических процессов в структуре композиционного материала МПП. Подчеркнуто, что микрополости являются основным источником отказов изоляции МПП. Предложены меры по предотвращению отказов изоляции печатных плат, что даже незначительное число дефектов диэлектрика, наличие между слоями гигроскопических или жировых загрязнений (в частности, с поверхности кожи человека) создают достаточно ощутимую вероятность ослабления изоляции.

Ключевые слова: авионика, печатные платы, композиционные материалы, электрохимический отказ, надежность, деградация электрической изоляции.

Razorenov Aleksandr Gennadievich

engineer, director,
Research Institute of Innovative Technologies
(121467, build 2, 5 Moldavskaja street, Moscow, Russia)

Medvedev Arkadiy Maksimovich

doctor of technical science, professor,
sub-department of avionic technology,
President of Guild of Professional
Electronics Technologist,
Moscow Aviation Institute
(National Research University)
(125993, 4 Volokolamskoe highway, Moscow, Russia)

Abstract. One of the causes of failures of equipment based on the printed circuit board, made of composite materials with high density interconnections is determined by the electrochemical process of formation of metal bridges on capillary channels along the layers of laminated plastics under conditions of high humidity and constant voltage. This phenomenon is characteristic for low current avionics equipment and little studied. This study was carried out in relation to the insulating substrates of PCB from composite materials. Analysis of defects of electrical design multi-layer printed circuit board (WFP). The influence of electrochemical processes in the composite structure of WFP. Stressed that the mikropolosti are the main source of isolation failures by WFP. Proposed measures for preventing failures isolation of printed circuit boards. that even a small number of defects, presence of dielectric between layers of hygroscopic or grease (in particular, from the surface of human skin).

Key words: avionics, circuit boards, composite materials, electrochemical failure, reliability, electrical insulation degradation.

УДК 621.3.049

Разоренов, А. Г.

Электрохимическая модель отказов электроизоляционных конструкций из композиционных материалов / А. Г. Разоренов, А. М. Медведев // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 3 (15). – С. 11–14. DOI 10.21685/2307-4205-2016-3-2.