

Покрытие «Гаммавоск» СИМ-01

для влагозащиты высокочастотных печатных плат

В статье приведены результаты сравнительного исследования влагозащитных свойств композиции «Гаммавоск» СИМ-01 с лаками УР-231, 1А33. Показаны преимущества и недостатки использования композиции «Гаммавоск» СИМ-01.

**Ильсафутдин Замалеев
Владимир Сахаров
Надежда Бормونتова**

alikza@rambler.ru

Введение

Технология изготовления печатных плат (ПП) имеет достаточно большую историю, тем не менее публикаций по влагозащите СВЧ-плат недостаточно. Все более широкое освоение СВЧ-диэлектриков вызывает необходимость поиска материалов, которые при их нанесении на настроенные платы не вызывали бы существенных искажений в функционировании схемы. Для влагозащиты ПП традиционно применяют лаки УР-231, ЭП-730, которые позволяют получать глянцевые покрытия, механически прочные и устойчивые к бензину и спирту [1]. Но у этих покрытий есть и недостатки:

- длительный технологический цикл нанесения;
- недостаточная проникающая способность и склонность к образованию перемычек между выводами микросхем;
- необходимость нанесения 3–4 слоев лака с общей толщиной 35–45 мкм для обеспечения лучшей влагозащиты;
- низкая ремонтпригодность;
- повышенные электрические потери на высоких частотах электромагнитных полей.

Для определения возможности замены лаков, в частности, на высокочастотных платах, где нанесение слоев лака приводит к изменению электрических характеристик печатного узла, была опробована полимерная композиция «Гаммавоск».

Влагозащитная полимерная композиция «Гаммавоск» СИМ-01 ТУ 2241-001-71439219-2004, предназначенная для защиты ПП, блоков и узлов радиоэлектронной аппаратуры, представляет собой дисперсию низкомолекулярных полиэтиленовых восков в органическом растворителе [2].

Лак УР-231 — уретановый, ТУ 6-21-14-90, 2-компонентный. Перед применением 100 весовых частей лака-основы смешиваются с 18 весовыми частями уретана ДГУ. Рабочая вязкость лака — 12–14 сантипуаз по вискозиметру ВЗ-246.

Лак 1А33 — уретановый, однокомпонентный, его вязкость — 220 сантипуаз.

Композиция «Гаммавоск» наносится окунанием платы в нагретый раствор и сушится в печи при температуре 60 °С в течение 3 часов. Особенность покрытия в том, что оно наносится очень тонким слоем (менее 1 мкм). Ремонт изделий можно производить путем пайки прямо по покрытию, так как полиэтиленовое покрытие «Гаммавоск» при темпе-

ратуре 220...250 °С проявляет себя как флюсующий состав.

Первый же опыт работы с композицией показал, что у покрытия «Гаммавоск» есть недостатки:

- Трудность контроля наличия покрытия на плате, так как толщина покрытия очень мала: визуально покрытие не всегда просматривается.
- Малая механическая прочность.
- Слабая устойчивость к спирто-нефрасовой смеси.

Изучение влагозащитного покрытия на стеклотекстолите проводилось по нескольким направлениям: климатическое испытание плат по стандартной программе, изучение динамических процессов поглощения влаги и изучение защитных свойств покрытия в коррозионно-активной среде. Отдельно изучались высокочастотные свойства покрытия при нанесении на полосковые СВЧ-платы.

Климатические испытания печатных плат в соответствии с ГОСТ 23752-79

Для проверки влагозащитных свойств покрытия на ПП проведены климатические испытания по следующей программе:

1. Воздействие термоциклов $-60...+85\text{ °C}$ — 5 циклов по 2 часа.
2. Воздействие повышенной влажности 98% при температуре $+40\text{ °C}$ — в течение 32 суток.
3. Воздействие пониженной температуры -60 °C — 5 часов.



Рис. 1. Топология тестовых плат с гребенчатыми структурами

4. Воздействие повышенной температуры +85 °С — 5 часов.
5. Пониженное атмосферное давление 0,67 кПа (5 мм рт. ст.).
6. Воздействие соляного тумана — 5 суток.

Испытанию подвергли специально изготовленные тестовые платы из материала «Ламплекс» ЛР-400-35/0-1,5 в количестве 5 шт., на каждой из которых было по 5 шт. электродов для измерения общего сопротивления изоляции. Электроды представляют собой вдвинутые друг в друга «гребенки», как показано на рис. 1. Общая длина изоляционного зазора такой системы электродов составляет 300 мм. Расстояние между электродами — 0,2 мм. Такие электроды использованы в работе [3]. На контактные площадки «гребенок» припаяны технологические экранированные провода длиной 1–1,5 м марки МГТФЭ 0.07.

Экранированные провода и изготовленная экранированная камера для подсоединения проводов к прибору Е6-13А позволили надежно проводить измерения сопротивлений до 10^{14} Ом.

После каждого испытания (в камере влажности — во время испытания, не вынимая образцы из камеры) проводили измерения сопротивления изоляции между «гребенками» при испытательном напряжении 100 В.

Результаты испытаний показывают, что нанесение композиции «Гаммавоск» обеспечивает хорошую влагозащиту ПП: даже после 32 суток пребывания в камере влажности сопротивление изоляции между «гребенками» находилось в пределах 10^8 – 10^{10} Ом при допустимом значении 10^6 Ом.

Платы выдержали также очень жесткое испытание пребыванием в камере солевого тумана, которое не предусмотрено в ГОСТ 23752-79 на ПП, но требует заказчик для некоторых изделий.

В работах [3, 7] изучалась зависимость сопротивления изоляции ПП (покрытой двумя слоями лака УР-231 и нелакированной) в динамике при помещении плат во влажную среду. Установлено, что через 4–6 часов сопротивление изоляции снижается до значения порядка 10^8 Ом в обеих платах.

Обсуждение этих измерений, проведенное в [3, 4, 6], сводится к анализу влагопроницаемости полимерных покрытий.

В реальных условиях платы не подвергаются непрерывному увлажнению. Рассеиваемая мощность электронного оборудования нагревает и подсушивает платы. Поэтому, в идеальном случае, покрытие должно быть непроницаемым для влаги извне и проницаемым для влаги изнутри печатного узла.

Для понимания механизмов влагозащиты плат при нанесении на них композиции «Гаммавоск» и разработки ограничений на ее применение проведено сравнительное изучение электроизоляционных характеристик плат.

Для работы использовались такие же тестовые платы. Платы подготовлены следующим образом:

- Образец № 1 — очищен спиртом, покрытие отсутствует.
- Образец № 2 — очищен спиртом, покрыт композицией «Гаммавоск».

Таблица 1. Зависимость сопротивления изоляции ПП от времени выдержки в условиях относительной влажности 98% при 22 °С и в нормальных условиях (45%, 22 °С)

Время выдержки, ч	Образец			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Образцы в гидростате				
0	$\geq 10^{14}$	$\geq 10^{14}$	$\geq 10^{14}$	$\geq 10^{14}$
0,1	3×10^{10}	7×10^8	–	–
0,5	$1,3 \times 10^7$	8×10^7	$1,4 \times 10^9$	6×10^{13}
1	8×10^6	$1,1 \times 10^8$	$1,3 \times 10^9$	4×10^{13}
2	5×10^6	3×10^7	$1,7 \times 10^8$	3×10^{11}
4	6×10^6	3×10^7	$1,3 \times 10^8$	$1,1 \times 10^{11}$
22	$1,5 \times 10^6$	$1,6 \times 10^7$	3×10^8	2×10^7
Образцы в нормальных условиях, сразу после извлечения из гидростата				
0,1	2×10^{10}	8×10^7	$3,5 \times 10^{12}$	4×10^7
0,5	–	–	$\geq 10^{14}$	$1,5 \times 10^7$
Образцы после повторного помещения в гидростат				
0,1	$1,2 \times 10^5$	$1,2 \times 10^8$	$1,2 \times 10^{10}$	$1,5 \times 10^7$
1	–	–	5×10^8	5×10^7

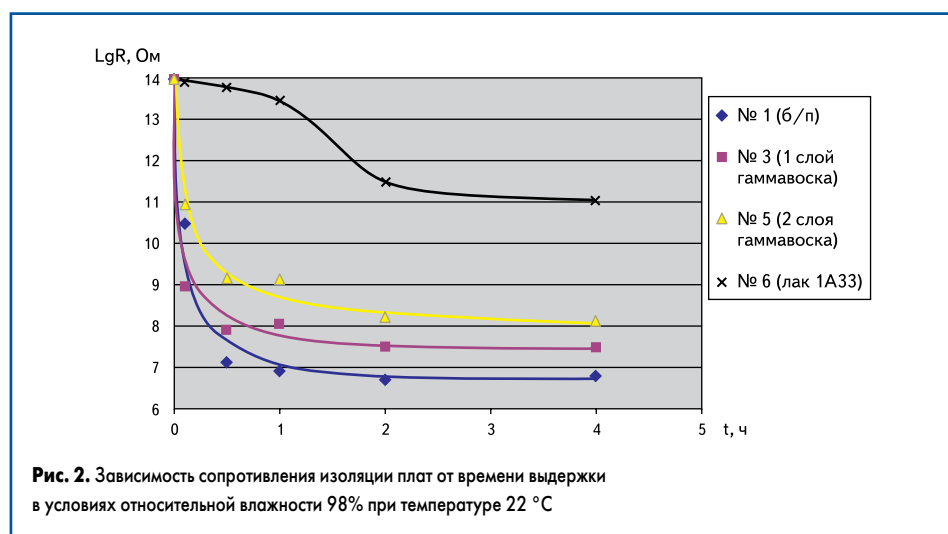


Рис. 2. Зависимость сопротивления изоляции плат от времени выдержки в условиях относительной влажности 98% при температуре 22 °С

- Образец № 3 — очищен спиртом, покрыт композицией «Гаммавоск» в 2 слоя.
- Образец № 4 — очищен спиртом, покрыт лаком 1А33 в два слоя, сушка второго слоя — при 80 °С в течение 5 часов.

Использованный лак 1А33 производства фирмы HumiSeal рекомендован для защиты плат в военных применениях. По электрическим и влагозащитным свойствам он аналогичен отечественному лаку УР-231 [13], но более технологичен: нанесение лака в два слоя вместе с окончательной сушкой занимает 5,5 ч.

После нанесения покрытий все платы сушили в вакуумной печи при температуре 90 °С в течение 6 часов. После остывания платы помещали в эксикатор с силикагелем и проводили измерения сопротивления между «гребенками» в исходном состоянии.

Затем платы помещали в гидростат с влажностью 98% при комнатной температуре. Сопротивление измеряли через определенные промежутки времени без извлечения плат из гидростата, некоторые измерения проводили после извлечения плат из гидростата.

Результаты испытаний приведены в таблице 1 и на рис. 2.

При анализе данных таблицы видно, что сопротивление изоляции всех образцов в начальный момент очень высокое, но скорость уменьшения сопротивления в гидростате разная.

Даже совершенно чистая вода имеет проводимость, и при помещении платы в атмосферу повышенной влажности на ее поверхности образуется проводящая пленка. В силу этого в течение 1–5 мин. увлажнения даже очень чистой поверхности сопротивление диэлектрика резко падает: при 98% влажности за 5 мин. — с 10^{14} до 10^9 Ом [3]. При помещении в сухую атмосферу поверхностное сопротивление восстанавливается также быстро. Даже без лака открытые платы в стерильных условиях (в первую очередь, при защите поверхностей от прикосновения руками) имеют электроизоляционные характеристики того же порядка, что и лакированные.

Образец № 4 (покрытый лаком) при извлечении из гидростата почти не изменяет сопротивление, что говорит о том, что молекулы воды проникли в толщу материала покрытия и через покрытие — в плату и удаление влаги затруднено. Наоборот, образцы № 2 и № 3 (покрытые «Гаммавоском») быстро отдают влагу и восстанавливают сопротивление.

Если посмотреть на динамику влагопоглощения образцов, то можно сделать вывод, что «Гаммавоск» напоминает силиконовое покрытие, только быстрое удаление влаги происходит не за счет высокой влагопроницаемости покрытия, а за счет очень малой его толщины.

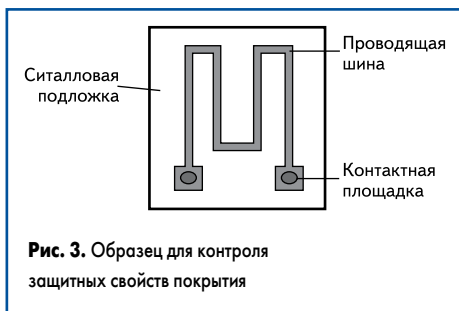


Рис. 3. Образец для контроля защитных свойств покрытия

Защитные свойства покрытий

Для определения противокоррозионных свойств покрытий пользуются стандартными методами в соответствии с «Единой системой защиты от коррозии и старения». Простым и распространенным способом определения защитной способности покрытий является испытание погружением образцов в коррозионно-активный раствор. Другой метод испытаний — в камере солевого тумана с 3- или 6-процентным раствором NaCl.

Платы прошли испытание этим методом с положительным результатом.

Есть и количественный метод определения защитных свойств покрытий, основанный на регистрации изменения сопротивления специально изготовленной подложки с напыленным в вакууме металлом при испытании покрытия в коррозионно-активной среде. Сопротивление металла возрастает вследствие растворения (коррозии) металла под пленкой. Этот метод, известный под названием метода Зубова-Михайловского, позволяет с большой точностью судить как о начале коррозии металла под покрытием, так и о кинетике протекания этого процесса [1, 12].

Для медной фольги подходящим испытательным раствором оказался водный раствор аммиака. Образцы помещали в закрытый сосуд, на дно которого наливали 1%-ный водный раствор аммиака. Следы коррозии меди проявлялись в течение нескольких часов.

Для количественных оценок защитных свойств покрытия «Гаммавоск» методом Зубова-Михайловского были изготовлены тонкопленочные тест-структуры: на ситалловых подложки напыляли слой меди толщиной 0,14 мкм на установке ВУП-5 с магнетронным источником распыления. Затем методом фотолитографии изготовили «меандр» с шириной проводника 2 мм (рис. 3). Для обеспечения хорошего контакта со щупами прибора Е7-8 на контактные площадки прикатывали индиевую фольгу.

Были изготовлены три тест-структуры: одна покрывалась слоем «Гаммавоска», вторая — изолирующим лаком 1А33 фирмы HumiSeal с сушкой в течение 5 часов, третья — контрольная.

На рис. 4 приведены сравнительные характеристики защитных свойств покрытий на тест-структурах.

На рис. 4 видно, что через 10–15 часов испытаний на нелакированной плате происходят резкие изменения сопротивления шины, тогда как на защищенных платах изменения незначительны даже после 40 часов испытаний.

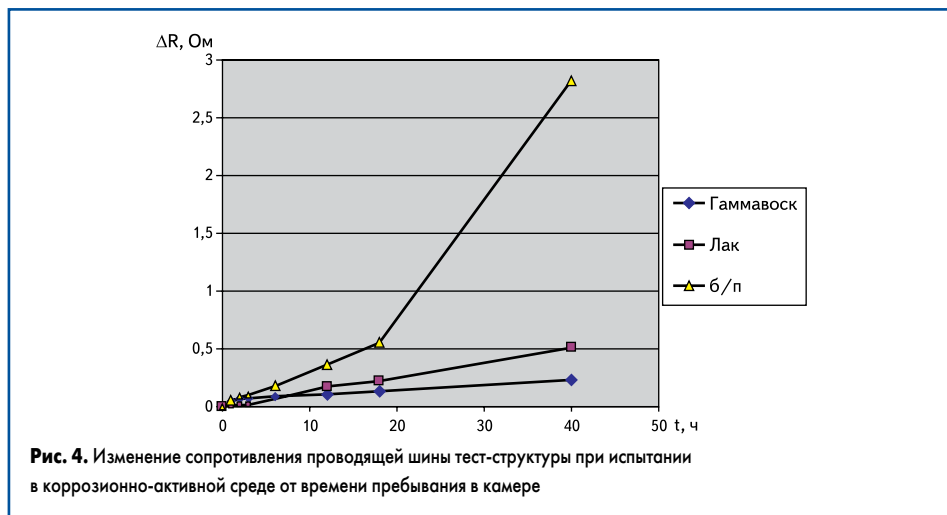


Рис. 4. Изменение сопротивления проводящей шины тест-структуры при испытании в коррозионно-активной среде от времени пребывания в камере

Причем композиция «Гаммавоск» обладает даже лучшими защитными свойствами, чем лак 1А33.

СВЧ-свойства плат с покрытием «Гаммавоск»

В новых разработках высокочастотных узлов все чаще применяются ПП, изготовленные из высокочастотных стеклопластиков, при этом платы размещаются в негерметичных корпусах. Нанесение лака УР-231 на высокочастотные платы может резко изменить электрические характеристики устройств, размещенных на плате.

Для испытаний покрытия «Гаммавоск» выбран наиболее чувствительный к покрытию элемент схемы — плата фильтра высоких частот приемника, изготовленная из СВЧ-стеклопластика AD-1000 толщиной 1,27 мм (фирмы «Арлон») с позолоченными проводниками. Параметры полосового фильтра: центральная частота 1500 МГц, полоса пропускания — 36 МГц.

Измерение комплексных коэффициентов передачи и отражения фильтров проводилось на приборе «Обзор-304/1». Результаты измерений некоторых параметров фильтров приведены в таблице 2.

Как показали измерения, параметры СВЧ-фильтров, покрытых «Гаммавоском», изменяются незначительно. Потери фильтров и КСВН не увеличиваются. Изменения касаются в основном сдвига по частоте. Частотный сдвиг параметров измеренных фильтров — не более 0,17%. Для сравнения, сдвиг частоты у этих же фильтров, покрытых высокочастотными лаками ФП-525

и КО-940 при толщине покрытия 20 мкм, составил 0,6–0,7%.

Сдвиг частоты фильтра после длительных испытаний в камере влажности доходит до 14 МГц как при покрытии плат «Гаммавоском», так и лаками ФП-525 и КО-940, что говорит о проникновении влаги в диэлектрическое основание. После испытаний на температурные циклы платы высушиваются, и центральная частота фильтра возвращается к норме.

Выводы

Проведены климатические испытания свойств композиции «Гаммавоск» СИМ-01 по программе типовых испытаний ПП в соответствии с ГОСТ 23752-79 с положительным результатом.

Композиция «Гаммавоск» технологична: легко наносится на платы, быстро сушится. Обычно достаточно одного слоя. При необходимости можно наносить композицию в два слоя.

Платы, покрытые композицией «Гаммавоск», выдерживают испытания в камере солевого тумана в течение пяти суток.

Проведено сравнительное изучение динамики влагопоглощения плат, покрытых композицией «Гаммавоск», импортным лаком для военных применений 1А33 и нелакированных плат. Показано, что поглощению платами влаги препятствуют гидрофобные свойства композиции, а малая толщина покрытия обеспечивает быстрое удаление влаги при подсушивании плат в нормальных условиях.

Композиция обладает защитными свойствами при испытании в коррозионно-активной среде.

Таблица 2. Параметры двух радиочастотных фильтров до и после нанесения покрытия «Гаммавоск», а также после испытаний в камере влажности и температурных циклов

№ образца	Характеристика	До покрытия	После покрытия	После испытаний на влагуустойчивость, 10 суток	После испытаний на влагуустойчивость, 30 суток	После 5 циклов, по 2 часа, -60...+85 °С
1	КСВН	1,07	1,07	1,05	1,2	1,08
	Центральная частота, МГц	1502	1500	1495	1488	1503
2	КСВН	1,2	1,17	1,04	1,28	1,15
	Центральная частота, МГц	1504	1501	1497	1490	1504

«Гаммавоск» хорошо выполняет влагозащитную функцию, но не защищает плату от механических повреждений или случайных замыканий проводников металлическими предметами. Поэтому применение этого покрытия ограничено: его необходимо использовать в тех конструкциях, где платы защищены от механических повреждений, электрических контактов с другими элементами конструкции, а также от длительного воздействия со спирто-бензиновой смесью.

Покрытие «Гаммавоск» рекомендуется применять для защиты СВЧ-плат от влаги.

Литература

1. Кочкин В. Ф., Гуревич А. Е. Лакокрасочные материалы и покрытия в производстве радиоаппаратуры. М.: Химия, 1991.
2. www.gamma-resurs.ru
3. Медведев А. М. Контроль и испытание плат печатного монтажа. М.: Энергия, 1973.
4. Уразаев В. Влагопроницаемость покрытий печатных узлов // Технологии в электронной промышленности. 2005. № 5.
5. Бекишев А., Медведев А., Сержантов А. Надежность электроизоляционных конструкций на основе композиционных диэлектриков // Производство электроники: технологии, оборудование, материалы. 2009. № 1.
6. Уразаев В. Влагозащитные полимерные покрытия: функции // Технологии в электронной промышленности. 2005. № 4.
7. Сипета Р. В., Коробов А. И. Влияние влажной атмосферы на изоляционные свойства печатных плат // Технология приборостроения. 2007. № 1.
8. Уразаев В. Современные технологии влагозащиты печатных узлов // Печатный монтаж. 2007. № 5.
9. Норкин А. Испытания характеристик влагозащитных покрытий на примере лаков Gamolin на акриловой и полиуретановой основе // Технологии в электронной промышленности. 2009. № 3.
10. Сержантов А. М., Медведев А. М. Процессы увлажнения и сушки печатных плат // Технология приборостроения. 2007. № 1.
11. Медведев А. М., Сержантов А. М. Сушка печатных плат // Технологии в электронной промышленности. 2007. № 1.
12. Яковлев А. Д. Химия и технология лакокрасочных покрытий. Л.: Химия, 1989.
13. Стахуров А. Старый конь борозды не портит? Соперник ли УР-231 современным влагозащитным материалам? // Технологии в электронной промышленности. 2006. № 3.