

# Сравнение результатов паяемости плат с покрытиями ENIG и EPIG после воздействия паром

Сегодня специалистам хорошо известно зарекомендовавшее себя такое поверхностное покрытие, как ENIG — иммерсионное золочение по подслою никеля, используемое для усиления и сохранения способности к пайке медных контактов. Однако в последнее время обретает популярность новое поверхностное покрытие EPIG — иммерсионное золочение по подслою палладия, тоже предназначенное для усиления и сохранения способности к пайке, но с преимуществом устранения подслоя никеля. Это свойство становится все более важным из-за растущего спроса на высокочастотные печатные платы, в которых магнитные свойства никеля оказывают негативное воздействие. Мы изучили оба покрытия и соответствующие им характеристики пайки после нанесения и после парового старения и предлагаем свое объяснение изменений в характеристиках.

Джон Бенгстон  
(Jon Bengston)  
Ричард ДеПото  
(Richard DePoto)

Перевод:  
Сергей Шихов

sergey@aconf.ru

Сравнение данных, полученных при проведении теста на старение под воздействием пара, показывает значительное преимущество EPIG перед ENIG. Даже после непродолжительного воздействия пара покрытие ENIG оказалось неспособно к пайке. Намного более продолжительное воздействие пара оказало либо незначительное, либо не оказало никакого влияния на образцы с покрытием EPIG. Превосходные результаты EPIG по сравнению с ENIG объясняются быстрым окислением химически нанесенного слоя никеля под воздействием тепла и влаги.

Способность сохранять отличную паяемость после воздействия пара гарантирует возможность качественного монтажа при неидеальных условиях хранения.

## Введение

Оценка паяемости конкретного поверхностного покрытия может варьироваться от простой пайки погружением до достаточно сложных процедур, включающих тип поверхностного покрытия, сплав припоя, характеристики флюса, предварительную подготовку испытания, паяльный аппарат (баланс смачивания) и геометрию деталей. Фокусирование на двух типах покрытий и одной процедуре предварительной подготовки позволяет увидеть четкие результаты и составить представление о возможностях этих покрытий.

Гаррон Моррис (Garron Morris), Ричард А. Лукашевский (Richard A. Lukaszewski) и Кристофер Гент (Christopher Genthe) [1] описывают необходимость методов проверки для ускоренного тестирования

электроники. Касательно параметров пайки ускоренное старение ПП под воздействием пара (паровое старение), проведенное перед тестированием на растекание припоя, считается не только быстрым и недорогим тестом, но и надежным средством предсказания срока годности. Воздействие пара в течение 8 ч считается эквивалентным 12 месяцам срока годности для систем свинец-олово [2].

Существует много способов к пайке поверхностных покрытий, используемых на медных печатных платах. Они варьируются от тонких органических покрытий до тяжелых металлических, например покрытие золотом в 1–3 мкм. Свинцово-оловянные или свинцово-оловянные горячего лужения покрытия (HASL) — это ранние предшественники разнообразных покрытий, доступных сегодня. Эти содержащие свинец сплавы неизменно демонстрируют высокую устойчивость к паровому старению и сохранение качества паяемости. Большинство других покрытий ПП не очень хорошо себя проявляют после воздействия пара. Сегодня все остальные поверхностные покрытия для ПП не в состоянии поддерживать приемлемые характеристики паяемости после старения паром в течение 1 ч [2].

Из множества доступных на рынке поверхностных покрытий нами тестировались два. Первое из них, ENIG, применяется более 20 лет. Оно имеет хорошую репутацию по надежности характеристик пайки, и обычно считается, что срок его годности составляет 12 месяцев до того, как его паяемость начинает ухудшаться. Второе покрытие, EPIG, — это новое покрытие, по результатам тестирования, оно обеспечивает хорошую смачиваемость и высокую надежность паяного соединения. Общий срок годности еще

не определен. Однако результаты тестирования, приведенные в данной статье, сравнивающие характеристики ENIG и EPIG под воздействием пара, прольют свет на данный вопрос.

Воздействие паром — это не единственный метод определения, как покрытие будет выдерживать влияние условий окружающей среды. Другие испытания включают циклическое изменение температуры, которое показывает влияние нескольких циклов пайки; воздействие окружающей среды в режиме реального времени, что дает самые надежные данные; тестирование смешанными потоками газа, точный тест в камере, где строго контролируются тип газа и его концентрация. С другой стороны, воздействие паром обеспечивает быстрый, надежный и недорогой индикатор срока годности пайки.

### Методология

Была проведена предварительная процедура парового старения на двух образцах — ENIG и EPIG в соответствии с IPC J-STD-002 и J-STD-003. Использование перегрузки от воздействия пара помогает определить долговечность и надежность каждой паяемой поверхности. Понятие «надежность» сложно определить и точно измерить. В данном случае под надежностью подразумевается то, что продолжительность жизни печатной платы значительно превосходит стандартные 12 месяцев, плата может выдерживать большее количество циклов пайки и сохраняет паяльные свойства вне зависимости от используемых стандартных процессов производства.

При тесте применялись материалы: неактивный флюс (наносился непосредственно перед пайкой), бессвинцовый припой Sn3Ag0.5Cu. Для упрощения протокола испытания использовались одинаковые параметры пайки. Оба опыта представляют собой стандартную технологию коммерческой пайки.

Данная оценка позволяет наблюдать растекание припоя по тестируемому образцу печатной платы, покрытой ENIG или EPIG. Испытание проводится после нанесения покрытия и после воздействия на него паром. Продолжительность воздействия паром измеряется в часах и длится до тех пор, пока не произойдет отказ или до 8 ч непрерывного воздействия паром. Ожидается, что смачиваемость припоем ухудшится только при окислении поверхности покрытия или базовой меди до той степени, когда флюс не сможет удалить эти оксиды.

Печатные платы с испытываемыми покрытиями состоят из стандартных образцов и показаны на рис. 1.

Толщина пленки ENIG составляет 3,75 мкм никель-фосфора со слоем 0,075–0,1 мкм иммерсионного золота на поверхности. Толщина не менялась, поскольку не являлась переменной (рис. 2).

Толщина пленки EPIG составляет 0,375 мкм палладия-фосфора с 0,025 мкм иммерсионного золота на поверхности. Опять же, толщина сохранялась на одном уровне на всей продолжительности испытания (рис. 3).

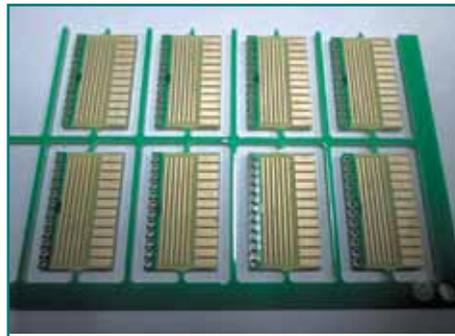


Рис. 1. Тестируемые образцы, используемые для тестирования смачивания



Рис. 2. Тестируемое покрытие ENIG (золото/никель/медная основа)



Рис. 3. Тестируемое покрытие EPIG (золото/палладий/медная основа)

Используемый флюс состоит из  $(25 \pm 0,5)\%$  канифоли,  $(0,39 \pm 0,01)\%$  хлорида диэтиламония и изопропилового спирта.

В качестве припоя был использован сплав SAC 305, состоящий из 3% серебра, 0,5% меди, остальное — олово. Температура пайки была установлена  $+255\text{ }^\circ\text{C}$ . Время контакта между припоем и образцом измеряет время смачивания и максимальную прочность соединения.

Для измерения времени смачивания и прочности соединения использовался метод баланса смачивания (рис. 4).

Для измерения толщины покрытия применен аппарат рентгенолюминесценции (рис. 5).

Для проведения испытания использовался аппарат парового старения в соответствии с IPC J-STD-002/003 (рис. 6).

Процедура оценки паяемости заключалась в том, чтобы сначала нанести на тестовые образцы покрытия ENIG и EPIG. Для обоих процессов покрытия применялся одинаковый цикл подготовки по очистке и активации медной основы. Химически нанесенный никель просто заменили химически нанесенным палладием, чтобы создать покрытие EPIG. Последовательность подготовки и нанесения приведена в таблице 1.

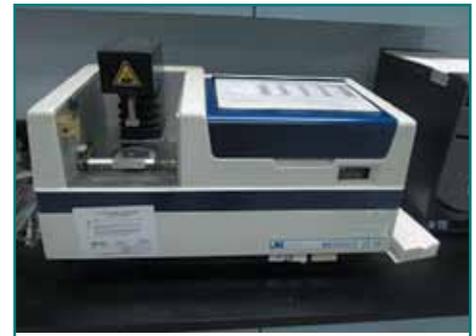


Рис. 4. Метод баланса смачивания использовался для тестирования паяемости



Рис. 5. Аппарат рентгенолюминесценции для измерения толщины покрытий ENIG и EPIG на тестовых образцах



Рис. 6. Аппарат парового старения, используемый для воздействия на припой на покрытиях ENIG и EPIG

Время покрытия было отрегулировано на этапе иммерсионного золочения, так как осаждение никеля более интенсивное по сравнению с палладием, как предсказывают относительные потенциалы коррозии  $-0,250\text{ В}$  для никеля и  $+1,498\text{ В}$  для золота, дельта  $-1,748\text{ В}$ , по сравнению с  $+0,987\text{ В}$  для палладия и  $+1,498\text{ В}$  для золота, дельта  $-0,511\text{ В}$  [3]. Большой отрицательный дельта-потенциал между никелем и золотом показывает, что при иммерсионном золочении золото быстрее осаждается на никеле, чем на палладию.

После нанесения покрытия тестовые образцы были высушены и хранились в герметичной обезвоженной среде до проведения испытания.

Образцы были подвергнуты старению воздействием пара в соответствии с J-STD-002/003

**Таблица 1.** Этапы покрытия, используемые для подготовки образцов для тестирования с покрытиями ENIG и EPIG

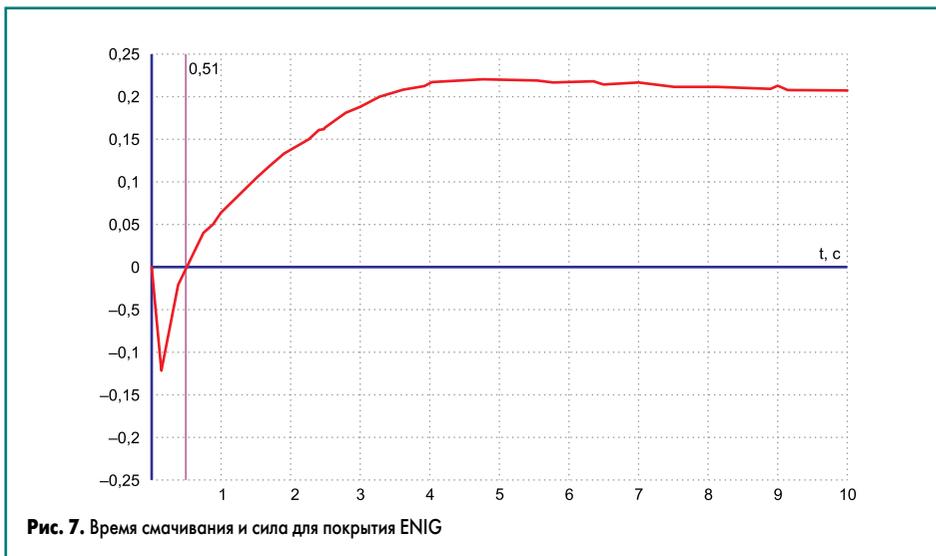
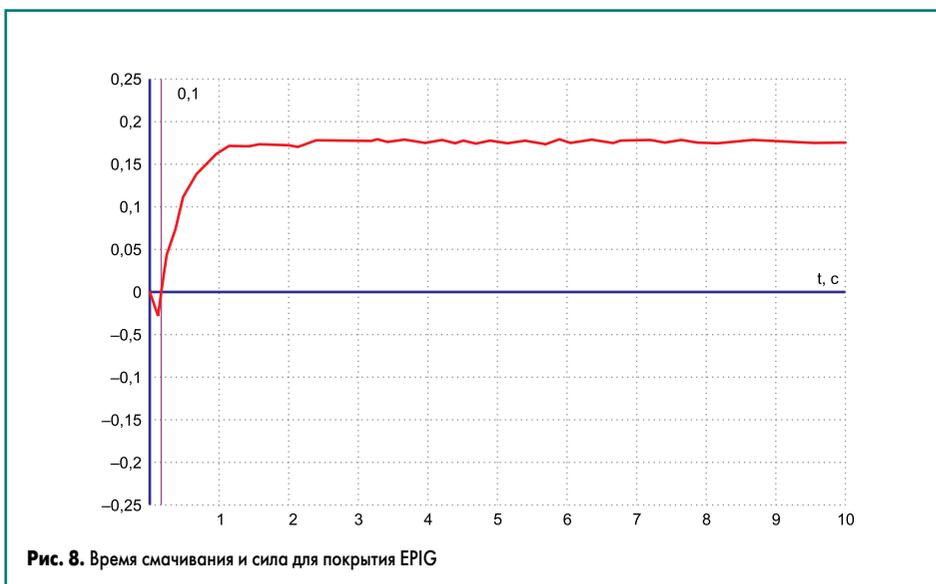
Этап покрытия	Температура, °С	Время, мин	Смешивание	Тип
Очистка	+49	5	Встряхивание	Кислотная
Ополаскивание деионизированной водой	+21	1	Встряхивание	
Травление	+27	1	Встряхивание	Пероксид/сернокислый
Ополаскивание деионизированной водой	+21	1	Встряхивание	
Активация	+27	2,5	Встряхивание	Кислотно растворенный палладий
Ополаскивание деионизированной водой	+21	1	Встряхивание	
Химическое нанесение никеля или палладия	+82 +49	20 15	Встряхивание	Никель, 7% фосфор Палладий, 3% фосфор
Ополаскивание деионизированной водой	+21	1	Встряхивание	
Иммерсионное нанесение золота	+81 +85	10 20	Встряхивание	Золото, цианистый калий 2 г/л Золото, металл рН 5,2
Ополаскивание деионизированной водой	+21	2	Встряхивание	
Сушка				Принудительно подаваемый воздух

в течение 1–8 ч. Испытание проводилось с шагом в 1 ч, либо до отказа припоя, либо до достижения общего времени парового старения (8 ч).

### Результаты и обсуждения

Результаты тестирования показывают, что покрытие ENIG является выдающимся поверхностным покрытием. Однако ENIG теряет паяемость (резко снижается смачиваемость) при

воздействии паром. С другой стороны, EPIG практически не показывает подобной чувствительности в сравнении с ENIG. Ответом на вопрос, почему между двумя покрытиями существует такая разница, является предположение о сильном взаимодействии пара с никелем-фосфором. Никель-фосфор доступен для воздействия пара, проникающего через тонкие поры поверхностного золота, присутствующего в ENIG.


**Рис. 7.** Время смачивания и сила для покрытия ENIG

**Рис. 8.** Время смачивания и сила для покрытия EPIG

На рис. 7–12 показаны результаты тестов на смачивание с использованием метода баланса смачивания. По оси X отражено время контакта между покрытыми медными площадками и жидким припоем. Время измерялось в секундах. Общее время контакта для каждого измерения — 10 или 20 с.

На оси Y графика смачиваемости показана степень растекания припоя по медным площадкам с покрытием. В данных испытаниях эта сила измеряется в мН/мм. Сила увеличивается по мере того, как большая часть площадки покрывается припоем. Первичный наклон графика показывает первичный контакт между образцом и припоем. По мере того, как тестируемая зона смачивается припоем, сила достигает максимума, который представляет собой силу смачивания для конкретного теста. Время, необходимое для того, чтобы эта сила пересекла нулевое значение, считается общим временем смачивания для данного конкретного теста.

Результаты считаются положительными, когда сила смачивания быстро достигает максимума и держится на этом уровне. Если сила смачивания не проходит через ноль во время теста, то результатом считается отказ в виде несмачивания. Также отказ наблюдается, когда сила смачивания достигает максимума, а затем снижается. Такой график говорит о десмачивании (de-wetting) в данном тесте.

Сравнение результатов паяемости ENIG (рис. 7) и EPIG (рис. 8) показывает, что оба покрытия обеспечивают прекрасное время смачивания и паяемость в новом состоянии.

Всего лишь после 1 ч парового старения образец с покрытием ENIG выдал отказ по смачиванию (состояние несмачивания) (рис. 9). Образец EPIG показывал хорошее смачивание после 1 ч воздействия паром (рис. 10).

Спустя 8 ч парового старения образцы EPIG хорошо паяются с незначительным снижением силы смачивания, как видно на рис. 11 (на данном графике показана продолжительность контакта 20 с).

Результаты тестов демонстрируют, что пар оказывает сильное негативное влияние на паяемость ENIG даже после 1 ч воздействия. С другой стороны, EPIG остается достаточно паяемым с почти не изменившимся временем и силой смачивания после 8 ч непрерывного воздействия паром. Причина этой разницы в результатах видится в быстром формировании оксида никеля на поверхности, образованной химически нанесенным никель-фосфором во время воздействия пара, что препятствует смачиванию и образованию интерметаллического соединения никель-олово, снижая способность к пайке. Образование интерметаллического соединения никеля и олова необходимо для хорошего смачивания.

Йокомине и соавторы описывают результаты тестирования глубины окисления, обнаруженного на поверхности никеля в ENIG, после покрытия и погружения в водный очиститель при +80 °С. С помощью оборудования ESCA (электронная спектроскопия для химического анализа) было зарегистрировано 3–4-кратное увеличение глубины окисления после погру-

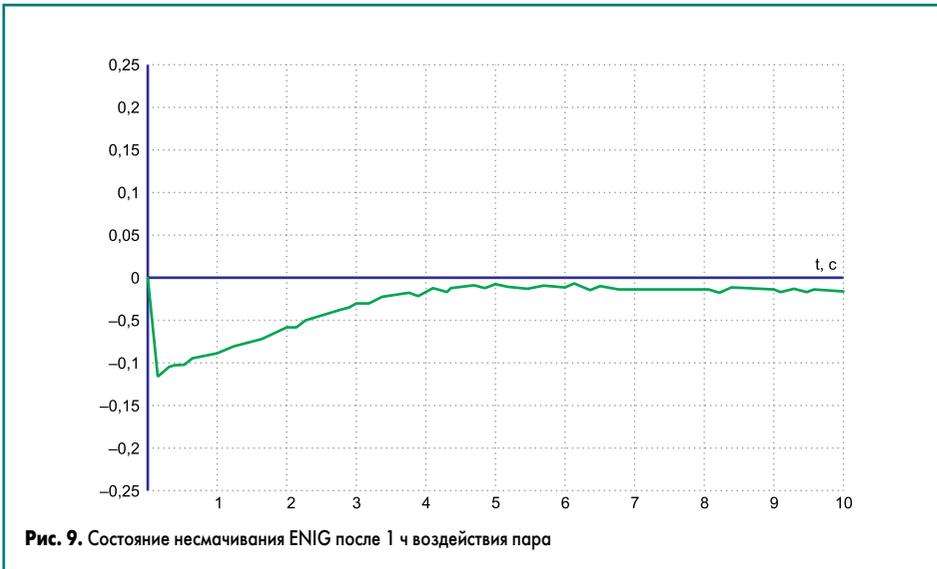


Рис. 9. Состояние несмачивания ENIG после 1 ч воздействия пара

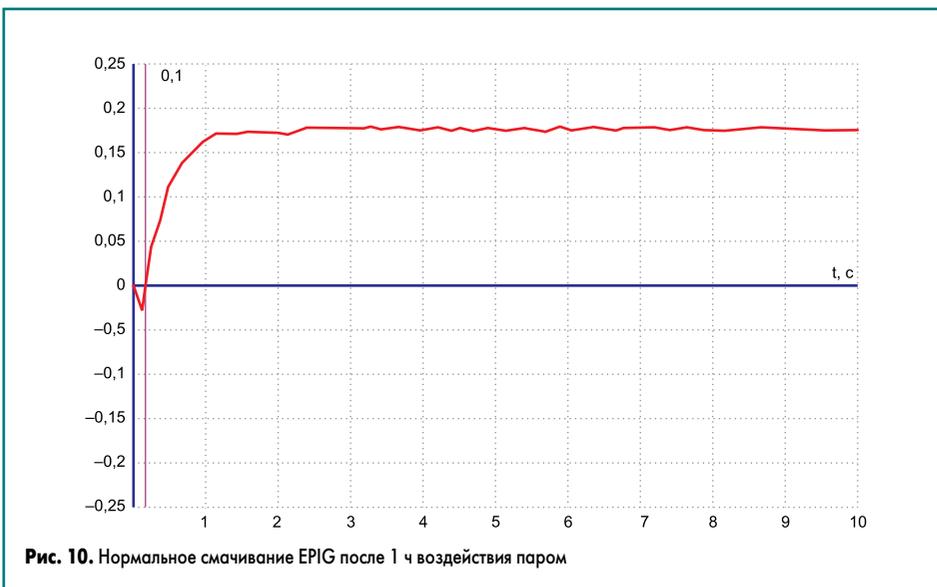


Рис. 10. Нормальное смачивание EPIG после 1 ч воздействия паром

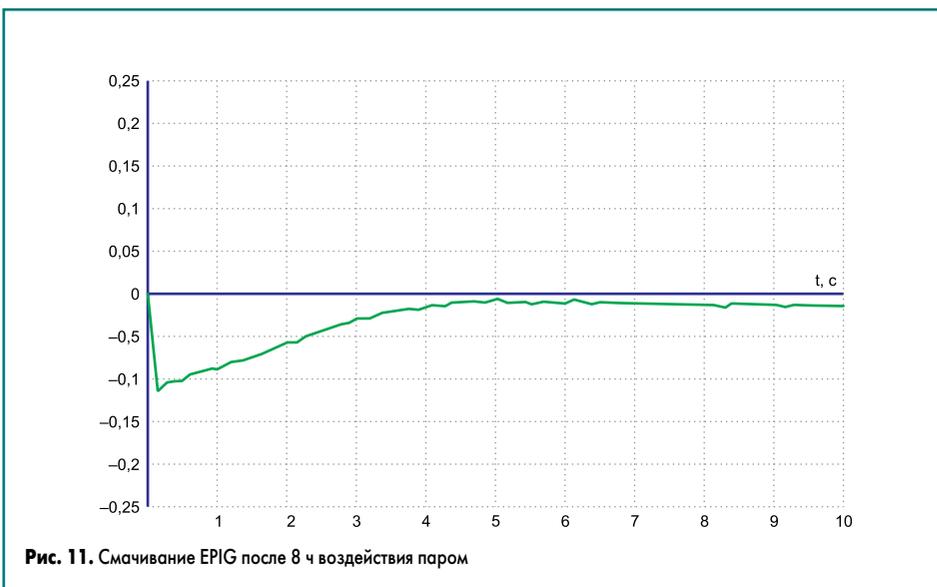


Рис. 11. Смачивание EPIG после 8 ч воздействия паром

жения ENIG при +80 °С по сравнению с измерениями при комнатной температуре [4].

Свойственная палладию устойчивость к окислению обеспечивает надежный неокисляющийся защитный слой для пайки. К тому же палладий растворяется в жидком припое, что приводит к образованию интер-

металлида медь-олово прямо на поверхности меди.

Другой важной причиной разницы между способностью к пайке ENIG и EPIG является образование интерметаллидов олова. ENIG формирует интерметаллид никель-олово, а EPIG, в свою очередь, формирует интер-

**Таблица 2.** Результаты тестов, показанных на рис. 7–12 — компиляция условий испытаний — время положительного смачивания и максимальная сила смачивания

Условия испытания	Время положительного смачивания, с	Сила смачивания, мН/мм
ENIG после покрытия	0,51	0,21
EPIG после покрытия	0,18	0,17
ENIG после 1 ч воздействия паром	0	0,02
EPIG после 1 ч воздействия паром	0,12	0,19
EPIG после 8 ч воздействия паром	0,2	0,16
ENIG/орг. покрытие после 8 ч воздействия	2	0,25

металлид медь-олово. Слои золота и палладия легко растворяются в припое, то есть напрямую создают соединительный интерфейс между медью и оловом. Следовательно, любое тонкое окисление или иное загрязнение от окружающей среды на слое палладия тоже растворяется и поэтому не влияет на формирование соединения медь-олово.

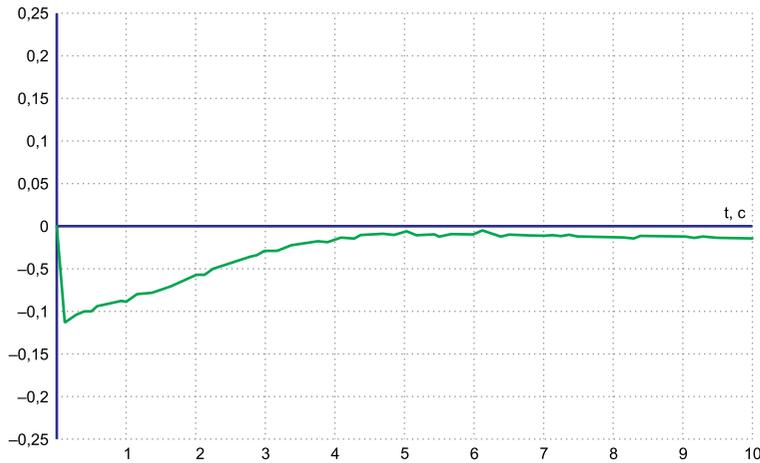
Последующее контрольное испытание заключалось в нанесении на образцы ENIG паяемого органического поверхностного покрытия против потускнения, которое также служит барьером для проникновения кислорода. Покрытие наносится на поверхность иммерсионного золочения, герметизируя тонкие поры золота.

Тесты на смачивание с использованием органического поверхностного покрытия на ENIG практически устраняют нежелательное воздействие пара. Начиная с 1 ч воздействия паром и затем доводя до 8 ч, на протяжении всего процесса испытания деградация паяемости ENIG ограничивалась. Это указывает на то, что слой никеля оставался не окисленным, и нормальное смачивание происходило даже после 8 ч парового воздействия (рис. 12).

### Выводы и заключение

Успех пайки печатных плат снижается под воздействием времени и условий окружающей среды. Тепло и влага делают платы непригодными для последующего производства монтажа из-за плохой паяемости, что в итоге приводит к вынужденной их утилизации до, а еще хуже, после установки дорогостоящих компонентов. Улучшение надежности заключается в стремлении к тому, чтобы тепло и влажность не снижали паяемость плат.

Паровое старение в соответствии с IPC J-STD-002 и J-STD-003 — это удобный, недорогой и незатратный по времени метод оценки продолжительности жизни покрытий, нанесенных на печатные платы. Было протестировано два покрытия — ENIG и EPIG — на способность к смачиванию до и после воздействия паром. Данные этих испытаний показывают, что воздействие паром незначительно влияет на паяемость плат с покрытием EPIG, тогда как платы с покрытием ENIG очень быстро становятся не пригодными к пайке. Считается, что причина этого — быстрое окисление слоя



**Рис. 12.** Органическое покрытие против потускнения защищает баланс смачивания ENIG после 8 ч воздействия паром

никеля от пара. Доказательства, подтверждающие это предположение, были получены, когда перед воздействием пара на образцы ENIG было нанесено защитное органическое покрытие против потускнения. В этом случае окисления никеля не произошло. Органическая пленка снизила окисление никеля после воздействия пара и этим улучшила способность к смачиванию.

### Литература

1. Morris G. K., Luukaszewski R. A., Genthe C. Environmental Contamination and Corrosion in Electronics: The Need for an Industrial Standard and Related Accelerated Test Method That Makes Sense. IEEE, 2017.
2. O'Brian G. Chairman of 5-23A, Responsible for IPC J-STD-003. Verbal communication.

**Сергей ШИХОВ,**  
технический директор  
«А-КОНТРАКТ»:



По результатам тестов, которые приведены в данной статье, покрытие EPIG является достойной альтернативой традиционному ENIG. Покрытие EPIG обладает такой же плоскостностью, как и ENIG, но при этом имеет осязаемые преимущества:

- отсутствие подслоя никеля (что важно для ВЧ/СВЧ-применений);
- более надежное паяное соединение (т.к. образуются интерметаллиды медь/олово, а не никель/олово);
- более длительное сохранение паяемости в неблагоприятных условиях хранения печатных плат.

3. Milad G., Bengston J., Gudczauskas D. The Mechanism of Nickel Corrosion in ENEPIG Deposits and How to Mitigate It. SMTA International, 2017.
4. Yokomin K., Shimiizu N., Miyamoto Y., Iwata Y., Love D., Newmam K. Development of Electroless Ni/Au Plated Build-Up Flip Chip Package with Highly Reliable Solder Joints. IEEE, Electronic Components and Technology Conference, 2001.