

Финишные покрытия

контактных площадок печатных плат

С разрешения Исследовательского института телевидения и радио
(Tele and Radio Research Institute) (Польша)

Для сохранения паяемости печатных плат после длительного хранения необходимо защищать медную поверхность контактных площадок паяемым поверхностным покрытием. Наиболее распространенным покрытием до сих пор является эвтектический сплав олово-свинец (Sn-Pb), выравниваемый воздушным ножом (HASL — Hot Air Solder Leveling), поскольку такое покрытие наилучшим образом соответствует «идеальной» поверхности печатной платы. К сожалению, такое покрытие не удовлетворяет условиям плоскостности контактных площадок для монтажа микросхем с очень высокой степенью интеграции и содержит свинец — один из наиболее токсичных металлов.

Антон Ефимов,
к. т. н.

support@npf-abris.ru

Zofia Morawska

zofmor@itr.org.pl

Grazyna Koziol

gkoziol@itr.org.pl

Альтернативой для HASL-покрытий олово-свинец могут быть копланарные экологически чистые покрытия: химический никель/иммерсионное золото (Ni/Au), химически чистое олово (Sn), органические защитные покрытия (OSP — organic solderability preservatives). Все эти бессвинцовые покрытия были испытаны в институте, а результаты тестирования печатных плат с покрытиями Ni/Au, Sn Omercon CSN и OSP Enthone™ Entek Plus, проведенного в сравнении с покрытием олово-свинец (HASL), мы публикуем в этой статье. Паяемость, поверхностное сопротивление изоляции (SIR) и прочность на сдвиг припаянных чип-резисторов 1206 были протестированы в состоянии «как получено» и после ускоренного «старения» печатных плат.

Получение правильных и надежных паяных соединений в электронном оборудовании зависит от многих конструктивных и технологических факторов, включая должный уровень паяемости соединяемых элементов, таких как компоненты и печатные проводники.

- Наиболее распространенным методом сохранения паяемости печатных плат является покрытие медных контактных площадок слоем сплава олово-свинец. Большинство изготавливаемых печатных плат защищено методом HASL. Это покрытие доминирует в течение нескольких последних лет, несмотря на его серьезные технические ограничения. Платы, выпущенные таким способом, хотя и хорошо сохраняют паяемость в течение всего периода хранения, непригодны для некоторых применений. Высокоинтегрированные элементы, используемые в SMT, требуют идеальной планарности контактных площадок печатных плат. Традиционные покрытия HASL не соответствуют требованиям планарности.

Технологии нанесения покрытий, использующие альтернативные методы, гарантируют превосходную планарность контактных площадок без повреждения печатных плат. Ni/Au покрытие с тонким зо-

лотым слоем (0,1... 0,15 мкм) обеспечивает достаточную прочность паяных соединений, выполненных припоями на основе олова. Их главный недостаток — высокая себестоимость производства. Химическое олово Sn Omercon CSN — экономичная, экологически чистая и недорогая технология. Органические покрытия теперь все больше и больше используются в производстве печатных плат. Процесс OSP — самый дешевый из технологий нанесения защитного слоя.

Кроме упомянутых достоинств, органические покрытия обеспечивают одинаково хорошую паяемость как непосредственно после изготовления, так и после хранения. Кроме того, эти покрытия должны быть совместимы с припоями и флюсами, применяемыми в электронной промышленности.

Целью исследования было получение ответов на вопросы:

- Гарантируют ли покрытия Ni/иммерсионное Au, Sn OmerconCSN и OSP Enthone™ Entek Plus уровень паяемости, удовлетворяющий требованиям электронной промышленности?
- Так же хороша их паяемость, как паяемость при обычном Sn-Pb-покрытии?
- Являются ли упомянутые покрытия хорошей альтернативой покрытию Sn-Pb?

Тестирование паяемости

Метод тестирования и спецификация

Тестирование паяемости проводилось методом весового смачивания в соответствии с ANSI/J-J-STD-003. Этот метод, как один из самых динамичных, позволяет наблюдать процесс смачивания поверхности расплавленным припоем в присутствии флюса. Образец, покрытый флюсом, взвешивается на чувствительных весах и опускается боком на установленные глубину и время в ванну с расплавленным припоем с контролируемой температурой.

Результирующая сил выталкивания и поверхностного натяжения, действующих на образец, определяется с помощью датчика и преобразуется в сигнал, который непрерывно записывается как функция времени. Типичный вид процесса смачивания представлен на рис. 1.

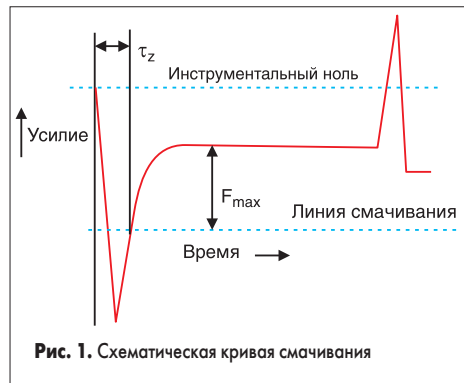


Рис. 1. Схематическая кривая смачивания

Тестирование паяемости было проведено на тестовых образцах, как это показано на рис. 2.

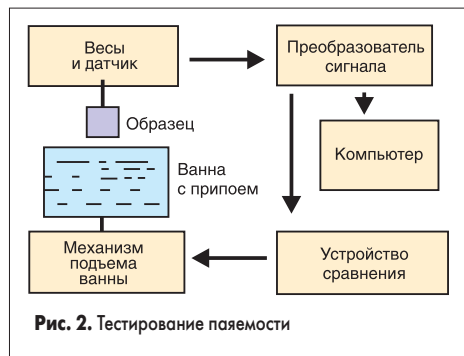


Рис. 2. Тестирование паяемости

Образцы были изготовлены из стеклотекстолита FR-4 толщиной 1,5 мм с двухсторонним нанесением медной (18 мкм) фольги. Затем они были покрыты защитным покрытием:

- выравнивание припоя (63% Sn, 37% Pb) горячим воздухом (Sn-Pb HASL), 10–15 мкм;
- химический никель/иммерсионное золото (Ni/Au), Ni 3–5 мкм, Au ~ 0,1 мкм;
- органическое покрытие OSP Enthone Entek Plus, 0,2–0,5 мкм;
- химически чистое олово Sn Ormecon 0,5–0,8 мкм с органической подложкой 0,08 мкм.

Для тестирования применялась ванна с эвтектическим сплавом 63% олова и 37% свинца при температуре 250 °С и неочищенным, слабоактивированным флюсом с низким содержанием сухого остатка. Были выбраны следующие флюсы: для покрытий Ni/Au — TZ-3/ITR (на основе сложных органических эфиров дикарбоксилида, активированный дикарбоксилидом и органической солью), а для покрытий Sn-Pb HASL, Sn Ormecon и OSP Enthone Entek Plus — TN/4A/ITR (на основе сложных органических эфиров дикарбоксилида, активированный смесью дикарбоксилидов).

Для тестирования паяемости использовался соединенный с компьютером менискографический тестер паяемости типа МК6А. Тестер паяемости строил диаграмму, показанную на рис. 3.

Образец погружался на глубину 5 мм и оставался в таком положении 10 с. Тестируемая печатная плата проверялась в следующих условиях:

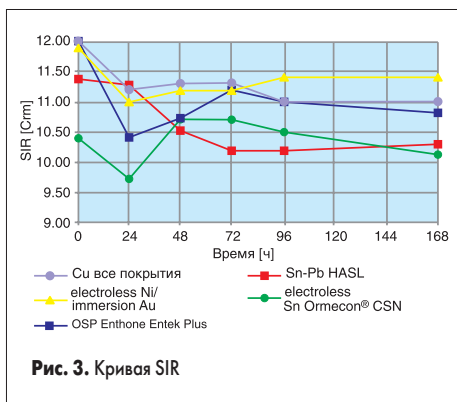


Рис. 3. Кривая SIR

- «Как получена».
- После обработки:
 - однократным пропуском через систему ИК-нагрева;
 - сухим прогревом в течение 4 часов при температуре 155 °С ± 2 °С, тест Б;
 - влажным равномерным прогревом — 10 дней при температуре 40 °С ± 2 °С, тест Са, естественным «старением» в лабораторных условиях.

С целью сравнения была также протестирована «чистая» медная печатная плата непосредственно после пемзовой очистки.

Критерии и требования к паяемости

Критерии и требования к паяемости печатных плат представлены в таблице 1.

Таблица 1

Критерий	Требование
Время смачивания	≤ 2 с
Максимальная сила смачивания	≥ 120 мН/м
Качество паяемой поверхности	неравномерность покрытия менее 5% относительно образцовой металлической поверхности, погруженной в ванну с припоем

Время смачивания t_z (с) — время, от момента первого контакта образца и ванны с припоем до момента, когда угол контакта эквивалентен 90°. Максимальная сила смачивания P_{max} (мН/м) — измеряемая сила смачивания F_{max} на печатном проводнике (только металлическая часть) между образцом и припоем. Качество защитного покрытия погруженной поверхности определяется визуально после извлечения образца из ванны с припоем (рис. 1).

Результаты тестирования паяемости

Результаты тестирования: время смачивания и максимальная сила смачивания представлены в таблице 2.

Примеры кривых смачивания образцов в состоянии «как получено» показаны на рис. 4. Диаграммы на рис. 5 (максимальная сила смачивания P_{max}) и рис. 6 (время смачивания t_z) иллюстрируют изменение паяемости при различных условиях.

Качество паяемой поверхности тех частей образца, которые были погружены в ванну с припоем, были проверены визуально. Было выявлено, что все тестируемые платы, независимо от типа покрытия и состояния печатной платы, были покрыты широким, гладким, непрерывным и ярким слоем припоя Sn63/Pb37 без осушки. Чуть хуже повело себя покрытие OSP Enthone Entek Plus. После четырехчасовой просушки при 155 °С несмоленная и осушенная поверхность составляла более 90%.

Таблица 2. Тестирование смачиваемости

Тип покрытия	Образец после обработки	t_z [с]	P_{max} [мН/м]
Cu любое покрытие	Сразу после очистки	0.69	184
	«как получено»	0.45	244
Sn-Pb HASL	1 проход через ИК систему	0.52	288
	4 ч. при 150 °С	0.61	165
	10 дней Са	0.79	121
	3 месяца в лабораторных условиях	0.60	152
electroless Ni/immersion Au	«как получено»	0.84	184
	1 проход через ИК систему	0.86	155
	4 ч. при 150 °С	1.86	126
	10 дней Са	0.94	148
electroless Sn (Ormecon®)	3 месяца в лабораторных условиях	1.04	168
	«как получено»	0.51	251
	1 проход через ИК систему	0.54	218
	4 ч. при 150 °С	0.69	131
OSP (Enthone™ Entek Plus)	10 дней Са	0.94	134
	3 месяца в лабораторных условиях	0.77	148
	«как получено»	0.55	266
	1 проход через ИК систему	0.84	246
OSP (Enthone™ Entek Plus)	4 ч. при 150 °С	∞	-438
	10 дней Са	0.81	195
	3 месяца в лабораторных условиях	0.55	265

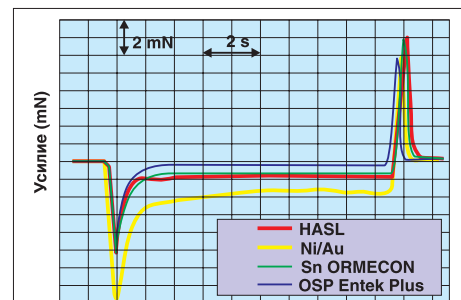


Рис. 4. Кривая смачивания печатных плат для различных покрытий в состоянии «как получено»

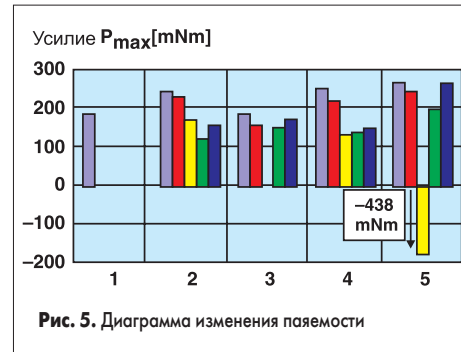


Рис. 5. Диаграмма изменения паяемости

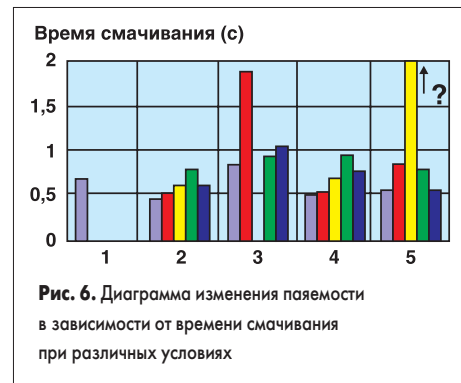


Рис. 6. Диаграмма изменения паяемости в зависимости от времени смачивания при различных условиях

1	Cu	«как получено»
2	HASL	1 проход через инфра-красную систему
3	Ni/Au	4 ч., 155 °С
4	Sn Ormecon®	10 дней Са
5	OSP Entek Plus	естественное старение, 3 мес.

Результаты тестирования паяемости показали, что:

- все покрытия обеспечили высокий уровень паяемости, поскольку $P_{max} > 120$ мН/м, $t_z < 2$ с и поверхности покрыты широким, гладким, непрерывным и ярким слоем припоя без осушки как в состоянии «как получено», так и после натурального и ускоренного «старения»;
- исключение составляет покрытие OSP Enthone Entek Plus; оно неустойчиво при длительном высокотемпературном воздействии (155 °С, 4 часа), поскольку после этих испытаний платы, защищенные данным покрытием, полностью потеряли паяемость ($P_{max} = -438$ мН/м);
- в состоянии «как получено» Sn-Pb HASL, Sn Ormescop и OSP Enthone Entek Plus продемонстрировали сопоставимый высокий уровень паяемости — выше чем у покрытия Ni/Au и «чистой» (непокрытой) меди;
- естественное и ускоренное «старение» снижает паяемость всех тестируемых покрытий, однако в разной степени;
- для покрытий HASL, Sn Ormescop и OSP существует эффект снижения паяемости в зависимости от типа условий: 10-дневный Ca > 4-часового 155 °С > 3-месячного естественного старения > 1 прохода через инфракрасную систему;
- другое соотношение между паяемостью и типом условий для покрытий Ni/Au: 3-месячное естественное старение > 10-дневного Ca > 1 прохода через инфракрасную систему.

Измерение поверхностного сопротивления

Метод измерения поверхностного сопротивления (SIR) — количественный метод измерения электрических свойств изоляционных материалов, включая поверхностное сопротивление между проводящими площадками печатных плат. SIR печатных плат зависит также от технологии покрытия.

Опытные образцы (рис. 7) были сделаны из стеклотекстолита FR-4 1,5 мм с нанесением с одной стороны медной фольги. Затем были нанесены испытываемые покрытия. Для целей сравнения также было проведено тестирование «чистых» медных плат.

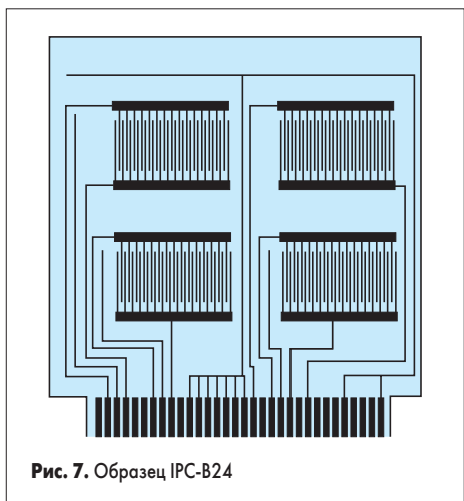


Рис. 7. Образец IPC-B24

В начале измерения SIR были проведены при нормальных условиях окружающей среды. Затем образцы были обработаны в камере влажности. На первом этапе обработка производилась в камере влажности с температурой 85 °С и относительной влажностью (RH) 20%. Через 3 часа после стабилизации влажность постепенно была доведена до 85% и образцам было позволено достичь равновесия в течение одного часа. Затем напряжение +50 В подавалось в течение 168 часов. Измерения были проведены через 24-часовые интервалы. Для измерений SIR было использовано напряжение 100 В.

Образцы для тестирования контактных площадок отвечали требованиям к поверхностному сопротивлению ANSI/J-J-STD-004. После 96 и 168 часовой выдержки в камере влажности значение SIR было как минимум 100 МВт. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3

Тип покрытия	SIR, Ig Ом					
	Время выдержки во влажной камере [ч]					
	0	24	48	72	96	168
Cu все покрытия	12.0	11.2	11.3	11.3	11.0	11.0
Sn-Pb HASL	11.4	11.3	10.5	10.2	10.2	10.3
electroless Ni/immersion Au	11.9	11.0	11.2	11.2	11.4	11.4
electroless Sn Ormescop®CSN	10.4	9.7	10.7	10.7	10.5	10.1
OSP Enthone™ Entek Plus	12.0	10.4	10.7	11.2	11.0	10.8

Результаты показывают, что все образцы соответствуют требованиям SIR. Это означает, что ни одна из исследуемых защитных технологий не ухудшает поверхностного сопротивления печатных плат.

Прочность сдвига паяных соединений

Паяные соединения электронного оборудования во время их эксплуатации подвергаются воздействию преимущественно сил «сдвига». В нашем исследовании тестовое усилие сдвига было направлено на испытываемые платы (рис. 8) в соответствии с IEC 68-2-21 и IEC 115-1. Контактные площадки были защищены исследуемыми покрытиями.

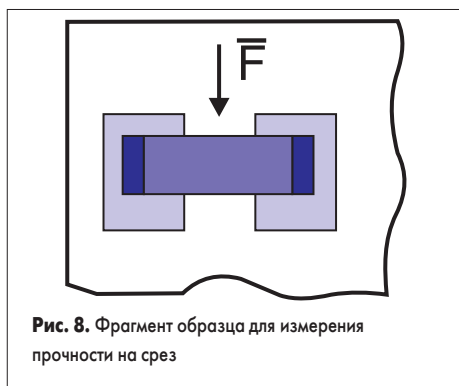


Рис. 8. Фрагмент образца для измерения прочности на срез

Чип-резисторы 1206 были припаяны к контактным площадкам печатных плат ИК-оплавлением в соответствии с температурной диаграммой, показанной на рис. 9, с применением SnPbAg паяльной пасты типа «fine-pitch».

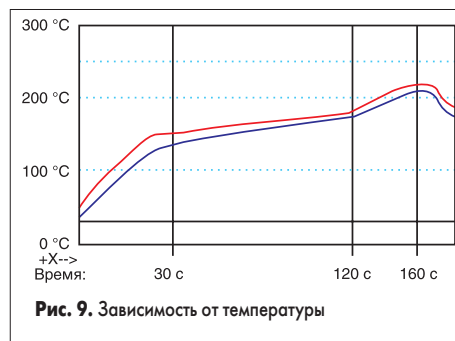


Рис. 9. Зависимость от температуры

Прочность на сдвиг паяных соединений была измерена после пайки и выдерживания при температуре 145 °С, в течение 220 часов. Сдвиговое усилие было направлено на резистор в середине его длинной стороны параллельно поверхности печатной платы до разрушения соединения. Шаг увеличения усилия был постоянным и примерно эквивалентен 20 Н/с. Результаты теста приведены в таблице 4.

Таблица 4

Тип покрытия	Усилие сдвига (Н)	
	После ИК системы	После 145 °С, 220 ч
Sn-Pb, HASL	96.5	88.5
Химический никель (Ni)/Химическое золото (Au)	100.6	94.3
Химически чистое олово (Sn), Ormescop CSN	83.9	76.7
Органическое покрытие Entek	95.7	89.2

Из таблицы 4 следует:

- Наибольшее усилие сдвига было получено для соединения, припаянного на площадки, защищенные покрытием Au/Ni. Это значение было чуть выше, чем для покрытий HASL и Sn Ormescop.
- После 220 часовой выдержки при 145 °С усилие сдвига уменьшилось на 6–8% независимо от типа покрытия.

Выводы

Все исследованные покрытия печатных плат продемонстрировали уровень паяемости, требуемый в электронной промышленности в состоянии «как получено», так и после естественного и ускоренного «старения».

Только покрытие OSP Enthone Entek Plus неустойчиво к долговременному высокотемпературному воздействию.

В состоянии «как получено» покрытия SN-Pb HASL, Sn Ormescop CSN и OSP Enthone Entek Plus имеют сравнимую паяемость, а Ni/Au характеризуется чуть меньшей паяемостью.

Естественное и ускоренное «старение» снижает паяемость печатных плат, защищенных исследуемыми покрытиями, но не ниже требуемого уровня.

Все исследованные технологии покрытия не снижают поверхностного сопротивления печатных плат.

Прочность на срез паяных соединений более-менее одинакова для всех покрытий.

Печатные платы со всеми представленными бессвинцовыми покрытиями — хорошая альтернатива печатным платам с обычными покрытиями Sn-Pb для применения SMT.