

Бессвинцовая директива: что нас ожидает в ближайшем будущем

Илья Лейтес, зам гл. инженера, ФГУП ИТМ и ВТ

Кратко, в виде тезисов, автор обсуждает проблемы, возникающие перед российскими производителями электроники при переходе мировой промышленности на RoHS (бессвинцовые) технологии, такие как ухудшение надежности, «обратная совместимость» и др., и предлагает свое видение возможных решений.

1. Господа, должен сообщить Вам пренеприятнейшее известие: к нам едет... RoHS.

На самом деле, директива RoHS (Restriction of Hazardous Substances — ограничение применения вредных веществ) «едет» в Европу, и Европа уже в течение, по крайней мере, 2005—2006 гг. ведет активное обсуждение и подготовку к введению этой директивы. Ну, да бог с ней, с Европой. У российских всегда была собственная гордость.

В феврале 2006 г. издательский дом «Электроника» организовал в Москве и Санкт-Петербурге очень полезные и содержательные семинары по проблематике директивы RoHS. Хотел бы поделиться своим видением этой проблемы с точки зрения производителя печатных плат (ПП) и электронных модулей.

2. Директива касается шести опасных для здоровья материалов. Но в части финишного покрытия ПП и паяных соединений выводов микросхем и других компонентов электронных модулей речь будет идти о свинце, вернее, об его отсутствии: о так называемой «бессвинцовой» технологии».

2.1. Несмотря на то, что по всем шести веществам (в том числе свинцу) существуют цифры предельно допустимого содержания — не более 0,1% с учетом понятия гомогенности материала (не буду вдаваться в подробности — кто захочет, посмотрит первоисточники), в финишном покрытии ПП, выводах компонентов и материале паяного соединения выводов к ПП в изделиях, сертифицированных на соответствие директивы RoHS, свинца быть **не должно**.

2.2. Надежность паяных соединений, выполненных по бессвинцовой технологии, ниже, чем таких же соединений, выполненных по традицион-

ной технологии с оловянно-свинцовой эвтектикой (ПОС-61).

Приведу лишь основные из множества причин снижения надежности:

- относительно более низкая пластичность бессвинцовых материалов паяных соединений;

- относительно худшая смачиваемость и протеканность расплавленных бессвинцовых припоев;

- образование интерметаллидов, укрупнение зерен, образование дислокаций и трещин как при остывании (затвердении), так и при эксплуатации при повышенных температурах;

- образование оловянных «усов» (для бессвинцовых компонентов, содержащих большое количество олова);

- образование легкоплавких (до 96°C) фракций для бессвинцовых компонентов, содержащих висмут;

- повышенная подверженность коррозии и окислению бессвинцовых компонентов, содержащих цинк;

- термические повреждения печатных плат и компонентов, в том числе связанные с проблемой MSL (Moisture Sensitive Level — уровень чувствительности к влаге);

- масса организационно-технологических и связанных с ними физико-механических проблем приводят к общему повышению числа технологических дефектов (в том числе скрытых), снижающих показатели надежности изделий.

2.3. Это плохие новости. Можно много рассуждать о том, имеет ли все это смысл, поскольку речь идет всего лишь о 0,5% от потребляемого в мире свинца. Решение принято на законодательном уровне, и Европа практически уже перешла или полностью готова перейти на бессвинцовую технологию при изготовлении ПП и электронных модулей. Обсуждать дальше целесообразность этого ре-

шения, значит уподобляться прапорщику, который удивляется, почему «штачки» никогда строем не ходят.

Предприятиям России, которые собираются поставлять продукцию, сертифицированную на соответствие директиве RoHS, необходимо срочно осваивать бессвинцовые и при необходимости остальные RoHS-совместимые технологии и готовиться на равных конкурировать с другими мировыми производителями (в том числе и по показателям качества и надежности).

3. Но есть и «хорошая» (вернее, интересная) новость, касающаяся в России очень большого числа (если не подавляющего большинства) предприятий.

3.1. Очевидно, по причинам, изложенным в п. 2.1, т.е. в целях сохранения высокого уровня надежности в директиве RoHS введены исключения (т.е. разрешено применение свинец-содержащих материалов):

- в продукции военного и аэрокосмического назначения;

- в отдельных видах приборов медицинского назначения;

- в гибких ПП или шлейфах;

- в серверах и системах хранения информации;

- в сетевом оборудовании для коммутирования, сигнализации и передачи данных;

- в крупном стационарном промышленном оборудовании.

3.2. Сюда же, по-видимому, следует добавить, что российские законодатели, похоже, пока даже и не задумываются о введении в России ограничений, аналогичных директиве RoHS. (Да и то верно: других проблем выше крыши!)

Таким образом, большая часть российских предприятий в ближайшее время будет продолжать жить по старым свинец-содержащим техноло-

гиям. (Чуть было не написал: «...благополучно продолжать жить...», но спохватился, что «благополучно» продолжать жить не удастся. Собственно, об этом и статья.)

4. Теперь о том, что будет происходить в процессе формирования паяного соединения при пайке свинцово-оловянной эвтектикой различных вариантов бессвинцовых покрытий.

4.1. Поскольку многие из упомянутых в предыдущем абзаце предприятий интегрированы в мировые структуры в части закупки технологических материалов (микросхем и других комплектующих), то бессвинцовая проблематика их никак не обойдет стороной. В первую очередь, из-за необходимости ответить на вопрос так называемой «обратной совместимости». Можно ли и как использовать компоненты с бессвинцовыми покрытиями в традиционной технологии монтажа?

Вопрос с печатными платами решается очень легко: надо заказывать печатные платы в России. Сейчас в России достаточное количество предприятий, которые могут обеспечить потребность в таких печатных платах как по количеству, так и по качеству и по возможности реализации передовых конструкторских решений, особенно, если плата «правильно» сконструирована (см. «DFM как профессиональное мировоззрение» — «ПЭ», 2006 г., №2). Являясь убежденным сторонником жесткого запрета на изготовление вне России ПП для изделий, изготовление которых финансируется из Госбюджета, хочу обратить внимание заинтересованных читателей, что теперь к этому подталкивают аргументы не только «патерналистского», но и технического характера.

4.2. Из бессвинцовых покрытий печатных плат наиболее обратнo-совместимым является покрытие «никель — иммерсионное золото».

Оно освоено на многих российских предприятиях, обеспечивает хорошую паяемость в технологии поверхностного монтажа со свинец-содержащими эвтектическими припойными пастами, прекрасную планаризацию паяемых поверхностей, длительное сохранение паяемости при хранении ПП на складских помещениях. При ручной пайке это покрытие требует специальных флюсов (ФКСП и ФКТС не годятся) и увеличения времени пайки, так как пайка идет фактически по никелю. Золото толщиной 0,1 мкм практически мгновенно растворяется, но не образует интерметаллидов, поскольку его количества для этого недостаточно. Смачивание же никеля припоем требует больших энергетических затрат, чем и обуславливается указанное выше изменение режимов. Таким образом, покрытие «никель — иммерсионное золото» обладает полной обратной совместимостью.

Конечно, можно использовать ПП, облуженные олово-свинцовой эвтектикой по технологии HALS (горячее лужение с выравниванием).

5. Сложнее дело обстоит с покрытием выводов компонентов, монтируемых на ПП.

5.1. В таблице 1 приведены 7 типов бессвинцовых покрытий выводов компонентов и их маркировка. К сожалению, эту систему маркировки используют не все фирмы. В части маркировки в настоящее время наблюдается полная неразбериха: маркируют кто во что горазд. Разработчики и логистики должны иметь точную информацию по типам покрытий, тогда, по крайней мере, можно представлять, что будет происходить в процессе формирования паяного соединения.

5.2. Наиболее обратнo-совместимым является покрытие e4, представляющее различные иммерсионные

покрытия благородными материалами по подслою никеля. Проблемы и процессы аналогичны описанным в п. 4.2.

5.3. Покрытие e5, содержащее цинк, практически не используется для изделий с мало-мальски серьезными требованиями по эксплуатации из-за низкой коррозионной стойкости.

5.4. Покрытие e6, содержащее висмут, при контакте со свинцом образует внутри паяного соединения участки сверхлегкоплавкой трехкомпонентной эвтектики (температура плавления 96°C или 135°C), которая резко снижает термостойкость паяного соединения. Таким образом, это покрытие не является обратно совместимым.

5.5. Покрытие e7 практически не используется из-за дороговизны индия, которого достаточно много в составе этого покрытия.

5.6. Покрытия e1, e2, e3 наиболее распространены и очень близки с точки зрения металлургии паяного соединения, так как в этих покрытиях содержится от 96 до 100% олова, и они имеют температуры плавления 217...232°C (т.е. на 25...40°C выше, чем у ПОС-61). Конечно, можно повысить температуру пайки и обеспечить необходимую смачиваемость покрытия. Однако при этом изменяется и, к сожалению, не в лучшую сторону металлургия паяного соединения. В составе паяного соединения образуются зоны с повышенным содержанием олова. Олово с медью образует интерметаллические соединения Cu_6Sn_5 и Cu_3Sn , которые при достаточной толщине приводят к нарушению механической прочности паяного соединения. При пайке свинцово-оловянной эвтектикой происходят аналогичные процессы, однако в районе формирования интерметаллидов образуются зоны, обогащенные свинцом, и процесс формирования интерметаллидов прекращается (см. рис. 1). Чем меньше свинца и больше олова, тем больше интерметаллидов.

5.7. Из перечисленного выше только иммерсионное золото для ПП и покрытие e4 для выводов микросхем имеют полную обратную совместимость. Использование всех других материалов в процессе пайки свинцово-оловянной эвтектикой приводит к существенному снижению надежности.

Таблица 1. Категории бессвинцовых материалов и их маркировка

Маркировка	Категория	Тип материала
e1	Олово/серебро/медь	SnAgCu и вариации
e2	Другие бессвинцовые припои (без висмута)	SnCu, SnAg, SnAgCuX
e3	Лужение оловом (все формы)	Чистое олово (Sn)
e4	Предварительно покрытые материалы	Au, NiPd, NiPdAu
e5	Содержащий цинк	Tin/Zinc = SnZn (без Bi) или вариации
e6	Содержащий висмут	Материалы с висмутом
e7	Содержащий индий	Материалы, содержащие индий

Следует добавить, что покрытие e4 не используется в корпусах с шариковыми выводами и в покрытиях чип-компонентов.

По-видимому, большинство разработчиков рано или поздно столкнутся с ситуацией, когда невозможно будет получить комплектующие со стандартными свинец-содержащими покрытиями.

Как же в этих условиях обеспечить должный уровень надежности? Боюсь показаться категоричным, но я не вижу другого варианта, кроме перелуживания. Для микросхем эта процедура достаточно хорошо известна с 60-х гг. прошлого века, когда перелуживали выводы, покрытые гальваническим золотом.

Для шариковых выводов процедура также освоена в рамках техпроцессов ремонта и восстановления шариков. К сожалению, при этом формально происходит потеря гарантийных обязательств (которыми, правда, мало кто пользуется), но такова цена надежности. Как ни странно, больше всего вопросов с чип-компонентами возникает в связи с необходимостью их перетаривания из лент, и решение проблемы, по видимому, заключается в использовании отечественных компонентов.

Честно говоря, совсем непонятно, как решить проблему надежности паяных соединений при комплектации компонентами с разными типами покрытий.

6. Есть еще одна проблема, возникающая при монтаже микросхем, которая усугубляется при переходе на бессвинцовую технологию в связи с повышением температуры пайки. Это проблема уровня чувствительности к влажности (MSL — Moisture Sensitivity Level).

В реальной практике контрольной сборки мне приходится очень часто сталкиваться с ситуацией, когда ни разработчики, ни тем более логистики не знают о наличии такой проблемы вообще.

6.1. О чем же идет речь? Пластмассовые корпуса микросхем и особенно микросхем BGA при хранении в цеховых условиях набирают влагу из воздуха. Если в таком состоянии подвергнуть их процедуре пайки при максимальных температурах 230°C по традиционной и

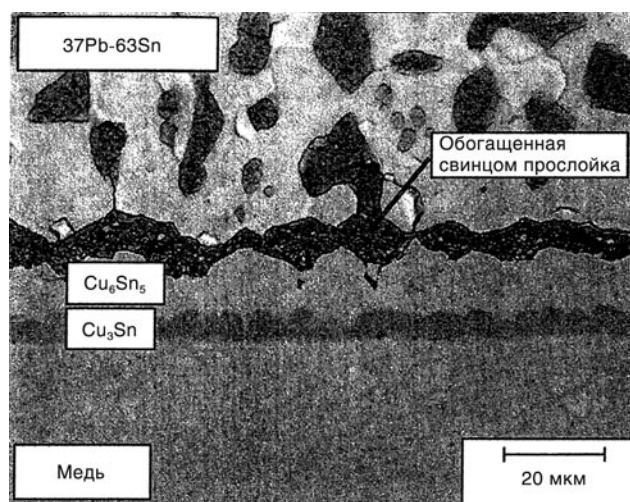


Рис. 1. Слои интерметаллидов Cu_6Sn_5 и Cu_3Sn между припоем 37Pb-63Sn (аналог ПОС61) и медью после старения при температуре 135°C в течение 400 дней

250°C по бессвинцовой технологии, в результате паровых микровзрывов происходят внутренние разрушения. Именно поэтому микросхемы поставляются в герметичной упаковке, на которой написано, что данная микросхема должна быть запаяна не позднее, чем, например, через 168 ч после вскрытия упаковки. (Это наиболее распространенный вариант — 3 уровень MSL по IPC/JEDFC J-STD-020).

Если этого не произошло, микросхема должна храниться в специальных шкафах с поддержанием относительной влажности не более 1%, либо перед пайкой подвергаться процедуре вакуумной сушки при температуре не менее 125°C в течение не менее 1 суток. То есть, необходимо наличие специального технологического оборудования, которое мало у кого имеется.

Таблица 2. Срок годности в зависимости от уровня MSL (IPC/JEDEC J-STD-020C)

MSL	Срок годности	Условия температура/влажность(не более)
1	не ограничен	30°C/85%
2	1 год	30°C/60%
2a	4 недели	
3	168 ч	
4	72 ч	
5	48 ч	
5a	24 ч	
6	Time on Label (TOL, время на упаковке)	

Примечания.

Срок годности компонента после вскрытия упаковки (Floor Life) определяет период времени с момента вскрытия защищенной от влажности вакуумной упаковки (Dry Pack) до момента пайки компонента в процессе пайки оплавлением.

Наивысший уровень (MSL1) означает, что компонент не требует ни специальной вакуумной упаковки, ни температурной обработки компонента перед процессом его монтажа, а также имеет неограниченный срок годности.

Таблица 3. Максимальные температуры пайки оплавлением (Reflow) по стандарту IPC/JEDEC J-STD-20C

Корпус, мм	Объем менее 350 мм³	Объем более 350 мм³
Процесс пайки SnPb (олово - свинец)		
Менее 2,5	240 +0/-5°C	225 +0/-5°C
Более 2,5	225 +0/-5°C	
Процесс бессвинцовой пайки Reflow		
Менее 1,6	260 +0°C	260 +0°C
1,6...2,5		250 +0°C
Более 2,5	250 +0°C	245 +0°C

В таблице 2 приведены 6 уровней MSL по стандарту IPC/JEDFC J-STD-020 и соответствующие им допустимые времена хранения в цеховых условиях вне герметичных упаковок. Монтаж микросхем в условиях бессвинцовой технологии приводит к снижению уровня MSL на две ступени. В таблице 3 приведены максимально допустимые температуры в зависимости от конструкции корпуса. Как было сказано, наиболее распространенный уровень — третий, с допустимым временем хранения 168 ч. Переход на более низкий пятый уровень снижает допустимое время хранения вне упаковки до 48 ч.

6.2. Учитывая изложенное выше, убедительно рекомендую заказчикам

контрактной сборки выполнять следующие простые требования:

- требовать у поставщиков микросхем в обязательном порядке упаковывать их в герметичную тару, даже если речь идет о поставках 1—2 шт;

- **не вскрывать герметичную тару** до момента передачи комплектующих на сборку.

Выполнение этих двух простых требований позволит:

- сохранить Ваши деньги за счет сокращения числа отказавших в процессе пайки, как правило, дорогостоящих микросхем;

- существенно упростить процедуру наладки;

- сократить количество конфликтных ситуаций между сборщиками и

заказчиками в связи с разборками на тему: «Кто виноват в дефекте?».

Конечно, в рамках журнальной статьи невозможно обсудить все «бессвинцовые» проблемы. Да и среди поднятых выше вопросов есть как имеющие очевидные решения, например, проблема MSL, так и такие, для которых предлагаемые решения достаточно спорны — как, например, проблема металлургии и надежности паяных соединений при смешанной комплектации. В любом случае, хотелось бы ознакомить специалистов со своим взглядом на решение поднятых вопросов, возможно, открыть дискуссию по ним и инициировать исследование по «бессвинцовой» и «смешанной» проблематике.