

# БЕССВИНЦОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ – ТРЕБОВАНИЕ ВРЕМЕНИ ИЛИ ПРИХОТЬ ЗАКОНОДАТЕЛЕЙ ОТ ЭКОЛОГИИ?

Валерий Григорьев, К.Т.Н.

*Призыв к запрету использования свинца в электронной аппаратуре приобретает все больше сторонников. Японские фирмы отказываются от использования свинца из соображений конкуренции, европейские – под давлением законодателей, американские до сих пор не определились с этой проблемой. В статье рассмотрены различные аспекты перехода на бессвинцовую технологию – юридические, экономические, технические, экологические, организационные.*

Движение за полный запрет свинца в электронной аппаратуре набирает все большую силу во всех промышленно развитых странах. Особую активность проявляют правительственные и экологические организации Европейского Союза и США. Японская администрация несколько дистанцировалась от проблемы, не желая вмешиваться во внутренние дела промышленности. Переход на бессвинцовую технологию происходит в ответ на экологические и торговые барьеры, устанавливаемые в Японии и ряде европейских стран, которые полны решимости запретить импорт электронных устройств, содержащих токсичные металлы.

Отказ от свинцовых припоев и покрытий может привести к изменению технологии пайки и инфраструктуры сборочных производств. Потребуется корректировка режимов пайки и, как следствие, доработка технологического оборудования. Потребуется проведение комплексных испытаний «бессвинцовых» паяных соединений на прочность, надежность, коррозионную стойкость, совместимость с материалами и покрытиями компонентов и печатных плат. Потребуется новые флюсы и моющие жидкости и проведение всех необходимых испытаний для подтверждения их эффективности.

И, наконец, на реализацию проекта понадобятся средства, и немалые. Так стоит ли овчинка выделки? Не проще ли вместо запрета на свинец усилить контроль за утилизацией аппаратуры? Или ограничить использование свинца? Попытаемся ответить на все эти вопросы.

## ЮРИДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОБЛЕМЫ

Начало проблеме положил сенатор Al Gore в 1992 году, представив в конгресс США законопроект «Lead Exposure Reduction Act», известный также как «The Reid Bill». К документу прилагался обширный список подлежащих запрету «свинцовых» материалов и изделий, в который попала и продукция электронной промышленности, включая свинцовые припой и покрытия. Ранее действовавшее в США «антисвинцовое» законодательство запрещало использование свинцовых красок и сантехнической арматуры при строительстве и ремонте, некоторых покрытий, этилированного бензина (содержащего тетраэтилсвинец) и ряда боеприпасов.

Однако вследствие интенсивного лоббирования представителями электронной промышленности из списка запрещенных материалов были исключены свинцовые припой и покрытия. Тем не менее, Агентству по охране окружающей среды EPA (Environmental Protection Agency) было поручено провести инвентаризацию всех изделий, содержащих свинец, и составить список материалов, которые могут нанести существенный вред здоровью человека. Кроме того, в апреле 1993 года был принят «Lead Tax Act», в соответствии с которым подлежит обложению налогом каждый фунт свинца как в изделиях собственного производства, так и импортируемых из других стран.

Реального воздействия на американскую электронную промышленность все эти меры не имели. До сих

пор в США не существуют какие-либо нормативные акты или законодательные предложения, ограничивающие использование свинца в электронной промышленности. Единственное ограничение связано с утилизацией отработавшей электронной аппаратуры. Существуют также рекомендации экологов по снижению содержания свинца в аппаратуре.

## Бессвинцовая технология в Европе

Так сегодня обстоят дела в США. Все успокоилось и отложили решение проблемы до лучших времен. Однако дурные примеры заразительны. Поднятая законодателями США волна докатилась до Европы. В дело включился Европейский Союз. Европейская комиссия (ЕС), отвечающая за состояние окружающей среды, радиационную безопасность и защиту населения, приняла в 1998 году в Брюсселе к рассмотрению проект директивы WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment directive) [5351].

В соответствии с этой директивой, с 1 января 2004 года в Европе полностью запрещается использование свинца при производстве радиоэлектронной аппаратуры. Однако авторы этого документа, как и в США, встретили жесткое сопротивление крупнейших европейских промышленных и торговых структур, включая Федерацию производителей печатных плат PCIF (Printed Circuit Industry Federation), Федерацию электронной промышленности FEI (Federation of Electronics Industries) и Европейскую федерацию производителей электронной аппаратуры EFIP (European Federation of Interconnection and Packaging). В поддержку своих европейских коллег выступила также и Американская ассоциация электронной промышленности (American Electronics Association), которая выразила свои сомнения в адекватно-

сти и юридической корректности принимаемых мер. Изучением проблемы бессвинцовой технологии в электронной промышленности срочно занялось правительство Англии.

EFIP возражает против запрета на использование свинца по двум причинам. Во-первых, переход на бессвинцовые припои – достаточно сложная научная и техническая задача. Следует напомнить, что в мире до сих пор не предложено полноценной замены оловянно-свинцовым припоям. Во-вторых, поскольку запрет на свинцовые припои касается также материалов, импортируемых Европейским Союзом из других стран, то такой запрет может быть расценен ими как введение торгового эмбарго. EFIP призвала Европейскую комиссию отказаться от масштабных действий, отложить решение проблемы по крайней мере до 2009 года и ограничиться запретом захоронения электронных приборов в открытом грунте. EFIP пообещала также продолжить поиски заменителей для свинцовых припоев.

Похоже, что лоббирование EFIP, PCIF и FEI возымело свое действие. В январе 1999 года Совет министров и парламенты Европейской комиссии отказались ратифицировать вторую редакцию директивы WEEE. По слухам, из третьей редакции WEEE запрет на использование свинца в электронной промышленности исключен.

Однако в ряде европейских стран, в частности, в Дании и Швеции, кампания по запрету свинца все-таки достигла своей цели. Дания разработала несколько нормативных актов, в соответствии с которыми ограничивается импорт, маркетинг и производство свинца и сплавов на его основе, однако до сих пор ни один из них не принят. Швеция из экологических соображений намерена к 2020 году полностью отказаться от производства и использования свинецсодержащих продуктов. Германия пошла по другому пути. Законодатели ввели нормы, регулирующие процедуру утилизации и захоронения выведенной из эксплуатации аппаратуры.

#### **Бессвинцовая технология в Японии**

Правительство Японии с осторожностью отнеслось к запрету свинца, не желая вмешиваться во внутренние дела промышленности. Тог-

да инициативу взяла в свои руки Японская ассоциация электронной промышленности JEIDA (Japanese Electronic Industry Development Association). 30 января 1998 года JEIDA совместно с Комитетом по пайке Ассоциации производителей электронной аппаратуры JIEPA (Japanese Institute of Electronic Packaging Association) приняла основные положения программы по исключению свинца из электронной техники.

Многие национальные компании ведут инициативные работы по этой тематике. Большинство крупных OEM в Японии многократно заявляли о своих целях в части полного исключения или значительного снижения доли свинца в своих изделиях, о создании и выводе на рынок так называемых «green»-устройств.

Так, Matsushita (Panasonic) планирует полностью исключить свинец из четырех своих изделий к концу 2001 года. Sony намерена отказаться от использования свинца в устройствах с высокой плотностью компоновки. NEC планирует к 2002 году на 50% сократить количество свинца в своих изделиях (по сравнению с 1997 годом). Toshiba предполагает в ближайшее время полностью исключить свинец из своих сотовых телефонов. Hitachi планирует в течение 2001 года частично отказаться от паяных соединений на основе свинца. Fujitsu быстро сокращает содержание свинца в своих изделиях и намерена полностью отказаться от свинцовой пайки к декабрю 2002 года.

#### **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОБЛЕМЫ**

Современные экологические требования – полностью запретить использование свинца в припоях и покрытиях при производстве электронной аппаратуры. Как отмечалось ранее, инициатива исходит от США и европейской законодательной организации WEEE. Аналогичную позицию занимает и Японская ассоциация электронной промышленности JEIDA [1].

И все-таки остается вопрос, а действительно ли используемый в электронной аппаратуре свинец так сильно вредит окружающей среде? Или за всем этим шумом скрываются какие-то другие мотивы? Для ответа следует обратиться к некоторым фактам.

Приведет ли отказ от использования свинцовых припоев к улучшению экологической обстановки? Вряд ли. Здесь следует напомнить, что в электронной промышленности используется менее 1% всего добываемого в мире свинца. Более 80,8% свинца применяется в аккумуляторах, причем эта цифра продолжает расти. В припоях используют и другие металлы, например, Ag, Bi и Sb, мировые запасы которых значительно уступают свинцу. Уже по причине сохранения этих ресурсов следует увеличивать добычу и продолжать использовать свинец.

Второе замечание касается изменения режимов пайки при использовании бессвинцовых припоев. Большинство предлагаемых для замены сплавов имеют более высокую температуру плавления (210...227°C). Использование новых припоев потребует пересмотра всей сложившейся инфраструктуры: режимов пайки, оборудования, проведения исследований надежности паяных соединений, совместимости с покрытиями выводов компонентов и проводников печатных плат, подбора новых флюсов и моющих жидкостей, а также режимов очистки. И еще одно замечание. С повышением температуры пайки растет потребление энергии, что может привести к дополнительному загрязнению воздуха и будет способствовать глобальному потеплению атмосферы.

Странники запрета свинца особый упор делают на бесконтрольность утилизации выведенной из эксплуатации аппаратуры. Сегодня происходит быстрая смена поколений аппаратуры. Аппаратура не успевает вырабатывать свой ресурс. Замена часто происходит по соображениям престижности. Это касается в первую очередь персональных компьютеров, сотовых телефонов, телевизоров, пейджеров. Стоит напомнить о тех миллионных тиражах, которыми выпускается вся эта техника. Муниципальные службы обеспокоены проблемами захоронения электронной аппаратуры. Считается, что под действием атмосферных осадков свинец может растворяться, проникать в грунтовые воды, а оттуда в источники снабжения населения питьевой водой и привести к массовым отравлениям.

Вопрос: а насколько велик риск отравления по этой причине? Еще

раз следует напомнить, что на городских свалках 48,1% свинца (по весу) приходится на аккумуляторные батареи и всего лишь 4,4% – на долю свинца, содержащегося в электронной аппаратуре. Судя по этим цифрам, в первую очередь следует решать проблему утилизации аккумуляторов, а не электронной аппаратуры. Проведенные в 1998 году обследования показали, что из 139 проб, взятых в грунтовых водах вблизи 45 городских полигонов (свалок), не было зарегистрировано ни одного случая превышения норм содержания свинца. Таким образом, тезис о проникновении свинца в грунтовые воды не подтверждается на практике.

### **РЫНОЧНЫЕ АСПЕКТЫ ПРОБЛЕМЫ**

Целый ряд компаний, главным образом в Японии, начал переходить на бессвинцовую технологию раньше, чем вступили в силу законодательные ограничения. Это означает, что бессвинцовая аппаратура быстро становится рыночной концепцией. Если учесть, что ряд стран намерен закрыть свои границы для электронных устройств, содержащих свинец, то производители бессвинцовой аппаратуры получают значительные рыночные преимущества.

Сегодня происходит быстрая смена промышленных приоритетов. Проведенные TechSearch International исследования на тему «Бессвинцовая технология – экологически чистое электронное производство» (Lead-free Movement: Environmentally Friendly Electronics Manufacturing) подтверждают, что страх перед законом не является основной движущей силой перехода промышленности на бессвинцовую технологию.

Производители начинают учитывать естественное стремление потребителей к улучшению окружающей среды. Отказ от использования свинца в припоях и покрытиях способствует этому. Когда-то публике внушили, что свинец – вредный металл. Обывателя не интересует, сколько свинца используется в электронной аппаратуре и как он используется. Обыватель твердо уверен в том, что наличие свинца в приборе – это плохо. И вряд ли найдется такой, кто попытается изменить это мнение, скажем, путем масштабной рекламной кампании. Таким образом, ответ на гамлетовский воп-

рос «быть или не быть» бессвинцовой технологии, в конечном итоге находится в руках потребителей.

Компании стремятся извлечь выгоду из беспокойства потребителей по поводу окружающей среды и переходят на бессвинцовую технологию, чтобы увеличить долю своего участия на рынке. Дружественная к окружающей среде бытовая электроника может стать серьезным доводом в конкурентной борьбе. Примером такого подхода может служить «бессвинцовый» портативный плеер MiniDisc MJ30, выпущенный Panasonic в 1998 году, рыночные продажи которого возросли за последние шесть месяцев с 4,7 до 15%. Следует отметить, что стоимость «бессвинцового» плеера не превышает стоимости стандартных устройств этого типа.

Будет интересно понаблюдать, как будут восприняты «зеленые», или «бессвинцовые», электронные устройства на таких крупных рынках, как американский и европейский. Определяющей в этом вопросе будет реакция потребителей. В США, так же как и в Японии, имеется потенциал для коммерческого успеха, но при одном условии – равной стоимости «бессвинцовых» и обычных устройств. Так, например, из двух предлагаемых на рынке телефонов одинаковой стоимости и с одинаковыми характеристиками потребитель почти наверняка выберет «бессвинцовый» по экологическим соображениям, но при разной стоимости выбор, скорее всего, будет сделан в пользу более дешевого аппарата.

### **ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ ПРОБЛЕМЫ**

В США работы по бессвинцовой технологии координирует Институт печатных плат IPC (Interconnecting and Packaging Electronic Circuits Institute), и это после активного противодействия бессвинцовому законодательству в начале 1990-х годов!

Свою позицию IPC изменила не под влиянием законодателей, а под воздействием рыночных механизмов. Большинство фирм – членов этой организации – начало заметно нервничать, усматривая угрозу со стороны японских производителей электроники, активно осваивающих рынок «зеленых» (экологически чистых) электронных приборов. Основная цель программы IPC по перехо-

ду на бессвинцовую технологию – оказать содействие предприятиям в создании необходимой инфраструктуры, проведении исследований бессвинцовых материалов и технологий. По заявлению представителя IPC, институт в течение многих лет ведет работы по бессвинцовой технологии, в частности, исследует совместимость бессвинцовых припоев с различными покрытиями.

В 1994 году в Европе была принята программа IDEALS (Improved Design Life and Environmentally Aware Manufacturing of Electronics Assemblies by Lead-free Soldering – Увеличение срока службы и экологичности производства электронной аппаратуры при переходе на бессвинцовую пайку). В программе приняли участие крупные OEM, различные консорциумы и исследовательские группы. Основная цель программы – рассмотрение возможности исключения свинца из электронной аппаратуры.

В Лондоне организован Центр по исследованию бессвинцовой технологии (Lead-free Soldering Technology Centre) для оказания содействия фирмам при переходе на новую технологию [2]. Центр создан по инициативе Международного института олова ITRI (International Tin Research Institute), изучавшего проблему в течение последних нескольких лет. В Центре проводятся исследования по металлургии и надежности паяных соединений, бессвинцовой технологии производства печатных плат и компонентов, утилизации приборов. Центр организует семинары и лекции по бессвинцовой тематике, например «Технология пайки нового тысячелетия» (Soldering Technology for the New Millennium).

Работы по бессвинцовым припоям проводятся также в Национальном технологическом центре NCMS (National Center for Manufacturing Sciences) в рамках проекта Lead-free Solder Project. О своем намерении совместно исследовать бессвинцовые припои и покрытия сообщили National Electronics Manufacturing Initiative (NEMI) и Interconnection Technology Research Institute (ITRI). Вопросами бессвинцовой технологии занимаются также SEMI и JEDEC, которые объявили о проведении работ по тестированию материалов и компонентов при температуре процесса до 260°C.

Японская ассоциация производителей электронной аппаратуры JIEPA разработала и приняла программу перехода на бессвинцовую технологию, что оказало положительное влияние на большинство мировых производителей электроники.

**ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОБЛЕМЫ**

Отвлечемся на время от экологических, рыночных и юридических аспектов проблемы и рассмотрим чисто технические вопросы. Задача перехода на бессвинцовую технологию поставлена, и ее необходимо решать. Так чем же заменить свинец? И возможна ли такая замена в принципе? Существуют ли бессвинцовые припои, близкие по своим свойствам к знаменитой эвтектике Sn63/Pb37.

**Бессвинцовые припои**

Сегодня выдано более ста патентов на сплавы различных составов для замены свинцовых припоев. Не все сплавы коммерческие, но выбор достаточно широкий. В настоящее время сложно ответить на вопрос, какой сплав самый лучший, поскольку абсолютно равноценной замены до сих пор не предложено. Сплавы отличаются как по температуре плавления, так и по смачиваемости, прочности, стоимости. Каждый припой обладает уникальным сочетанием свойств, что затрудняет окончательный выбор.

При переводе изделий на бессвинцовую пайку приходится учитывать целый ряд факторов. Припои подбирают, исходя из особенностей конструкции устройства, топологии печатной платы, механических и электрических характеристик блока, условий его эксплуатации. При выборе учитывают также температуру плавления припоя, надежность паяных соединений, устойчивость монтируемых компонентов к температуре пайки, различия режимов при пайке оплавлением и волной припоя.

Основной критерий при выборе припоя – это температура плавления. Все припои по этому признаку можно разделить на четыре группы: низкотемпературные (температура плавления ниже 180°C), с температурой плавления, равной эвтектике Sn63/Pb37 (180...200°C), со средней температурой плавления

(200...230°C) и высокотемпературные (230...350°C). Основные типы бессвинцовых припоев приведены в таблице 1.

Низкотемпературные припои имеют ограниченное применение. В их состав входят, кроме олова, висмут и индий. Самые распространенные эвтектические сплавы – олово-висмут и олово-индий. Трудно ожидать, что сплавы с низкой температурой плавления обеспечат надежные паяные соединения при высоких температурах эксплуатации. Существуют также ограничения по поставкам индия и висмута, высокая стоимость припоев на их основе.

Большинство среднетемпературных припоев для замены свинца – это сложные по составу сплавы на основе олова с добавлением меди, серебра, висмута и сурьмы. К сожалению, ни один из них не может полностью заменить Sn63/Pb37, у всех сплавов выше температура плавления. Наиболее близкий по своим свойствам припой Sn95,5/Ag3,8/Cu0,7 сегодня используется для пайки оплавлением при поверхностном монтаже.

Сплавы с большим содержанием свинца имеют температуру плавления около 230°C. В этом температурном диапазоне практически отсутствуют бессвинцовые припои для замены. Самый дешевый заменитель – это припой Sn99,3/Cu0,7,

который рекомендован для пайки волной припоя. Недостаток Sn/Cu-припоев – высокая температура плавления (227°C для эвтектики) и низкая прочность. Предпочтительны эвтектические сплавы, поскольку их кристаллизация происходит в узком температурном диапазоне, при этом отсутствует смещение компонентов, в результате чего достигается более высокая надежность соединений (меньше вероятность получения «холодных» паек).

Лучшими свойствами обладают сплавы Sn/Ag, у них более высокая смачиваемость и прочность по сравнению с Sn/Cu. Эвтектический сплав Sn96,5/Ag3,5 с температурой плавления 221°C при испытаниях на термоциклирование показал более высокую надежность по сравнению с Sn/Pb. Припой Sn96,5/Ag3,5 многие годы успешно применяется в специальной аппаратуре.

Эвтектический припой Sn95,5/Ag3,8/Cu0,7 был получен в результате доработки базового сплава Sn/Ag. Четыре года назад этот сплав был неизвестен, поскольку припой Sn/Ag/Cu имел более низкую точку плавления (217°C) по сравнению с Sn/Ag. Точный состав этого припоя по-прежнему остается предметом для обсуждения. Sn/Ag/Cu может быть использован для получения как универсальных, так и высокотемпературных припоев.

Таблица 1. Основные типы бессвинцовых припоев

Тип	Состав (мас. части), %	Температура плавления, °C
<i>Низкотемпературные бессвинцовые припои</i>		
Sn/Bi (олово/висмут)	Sn42/Bi58	135...140 (эвтектика)
Sn/In (олово/индий)	Sn48/In52	115...120 (эвтектика)
Bi/In (висмут/индий)	Bi67/In33	107...112
<i>Низкотемпературные бессвинцовые припои для замены эвтектики Sn/Pb</i>		
Sn/Zn (олово/цинк)	Sn91/Zn9	195...200
Sn/Bi/Zn (олово/висмут/цинк)	Sn89/Zn8/Bi3	189...199
Sn/Bi/In (олово/висмут/индий)	Sn70/Bi20/In10	143...193
<i>Среднетемпературные бессвинцовые припои</i>		
Sn/Ag (олово/серебро)	Sn96,5/Ag3,5	221 (эвтектика)
Sn/Ag (олово/серебро)	Sn98/Ag2	221...226
Sn/Cu (олово/медь)	Sn99,3/Cu0,7	227 (эвтектика)
Sn/Ag/Bi (олово/серебро/висмут)	Sn93,5/Ag3,5/Bi3	206...213
Sn/Ag/Bi (олово/серебро/висмут)	Sn90,5/Ag2/Bi7,5	207...212
Sn/Ag/Cu	Sn95,5/Ag3,8/Cu0,7	217 (эвтектика)
Sn/Ag/Cu/Sb (олово/серебро/медь/сурьма)	Sn96,7/Ag2/Cu0,8/Sb0,5	216...222
<i>Высокотемпературные бессвинцовые припои</i>		
Sn/Sb (олово/сурьма)	Sn95/Sb5	232...240
Sn/Au (олово/золото)	Au80/Sn20	280

Sn93,5/Ag3,5/Bi3 имеет более низкую температуру плавления и более высокую надежность паяных соединений. Сплав обладает наилучшей паяемостью среди всех бессвинцовых припоев. Добавление меди и/или германия к Sn/Ag/Bi значительно повышает смачиваемость, а также прочность паяного соединения.

Припой Sn89/Zn8/Bi3 имеет температуру плавления, близкую к эвтектике Sn/Pb, однако наличие в его составе цинка приводит к ряду проблем. Припойные пасты на этой основе имеют короткое время жизни, требуется флюс повышенной активности, при оплавлении образуется труднорастворимая окалина, паяные соединения подвержены коррозии, требуется обязательная промывка соединений после пайки.

Сегодня в промышленности сложилось единое мнение, что наилучшей альтернативой для замены эвтектики Sn62/Pb38 в аппаратуре общего назначения является сплав Sn95,5/Ag3,8/Cu0,7 с температурой плавления 217°C (что на 34°C выше Sn62/Pb38). Это незначительное, на первый взгляд, изменение режима пайки может привести к серьезным проблемам при монтаже аппаратуры, кардинальным изменениям в используемых материалах и технологических процессах.

National Electronics Manufacturing Initiative (NEMI) рекомендует для пайки оплавлением сплав Sn3,9/Ag0,6/Cu, для пайки волной – менее дорогие припои Sn0,7/Cu и Sn3,5/Ag, поскольку во втором случае требуются большие объемы припойного материала. Такого же мнения придерживается и европейский консорциум IDEALS. В настоящее время эта организация занята изучением сплава Sn/Ag3,8/Cu0,76, считая его пригодным как для оплавления и пайки волной, так и для ремонтных работ.

JEIPA предлагается три сплава для замены Sn/Pb – олово/серебро/медь (Sn/Ag/Cu) и два сплава на основе олово/серебро/висмут (Sn/Ag/Bi). Panasonic рассматривает возможность использования нескольких бессвинцовых припоев, включая Sn/Ag/Bi, лучший из которых определится в процессе промышленных испытаний.

Результаты проводимых во многих странах исследований говорят о том, что на сегодняшний день лиде-

ром в бессвинцовой гонке являются сплавы системы Sn/Ag/Cu. Возможно, в будущем будут найдены и другие составы, но к тому времени Sn/Ag/Cu займет настолько прочные позиции в промышленности, что сместить его с пьедестала будет практически невозможно.

#### **Бессвинцовые покрытия**

До сих пор не найдена достойная бессвинцовая замена для покрытия выводов компонентов. В свое время производители компонентов не проявляли должной активности в поиске заменителей, считая, по-видимому, затею с бессвинцовой технологией малоперспективной. Сегодня ситуация резко изменилась. Крупные поставщики компонентов один за другим анонсируют свои планы по выводу на рынок бессвинцовых изделий, причем большинство обещает представить такие приборы до 2004 года.

Попытки перейти на бессвинцовые покрытия выводов предпринимались и ранее. Несколько компаний в течение ряда лет поставляли компоненты с покрытием Pd/Ni. Однако все эти проекты коммерческого успеха не имели. Широкому распространению таких покрытий препятствовала их высокая стоимость. Кроме того, проведенные в National Physical Laboratory (NPL) исследования показали, что отсутствуют бессвинцовые припои, совместимые с Pd/Ni-покрытиями при обычной технологии пайки. Такие соединения не могут быть получены при температуре пайки свыше 250°C. Предлагаются и другие материалы для покрытия выводов, в частности, Sn, Sn/Bi, Sn/Ag и Sn/Cu, однако все они имеют определенные недостатки, как при нанесении, так и в эксплуатации.

ST Assembly Test Services Ltd. (STATS) для покрытия выводов ИС предложила использовать чистое олово (Sn). Цель инициативы STATS – предоставить заказчикам экологически чистые корпуса, удовлетворяющие стандартам качества по электрическим, механическим параметрам и надежности [1]. Альтернативными сплавами для шариков припоя могут стать Sn/Ag и Sn/Ag/Cu. Сегодня проводится оценка шариковых выводов и сбор данных о надежности соединений. Поставки бессвинцового припоя планируется начать в середине 2001 года.

#### **Проблема совместимости покрытий**

Использование бессвинцовых покрытий при производстве печатных плат не является какой-то новостью. Промышленность в течение многих лет применяет сплавы типа Ni/Au, Pd/Ni, Sn, Ag, Pd, имидазол (C<sub>3</sub>H<sub>4</sub>N<sub>2</sub>) и OSP. Сегодня проблема состоит в том, что для бессвинцовой технологии нужно выбрать один из них, но до сих пор неясно, на каком материале остановиться. Проведенные в NCMS исследования показали, что смачиваемость четырех из пяти бессвинцовых покрытий (имидазол, горячий Sn, Pd/Ni и Pd) не выдерживает критики по сравнению с эвтектикой Sn/Pb. Наиболее перспективным покрытием для пайки меди бессвинцовыми припоями признан имидазол. Покрытия Sn, Pd и Au обеспечивают хорошую смачиваемость практически для всех припоев, однако плохо работают с Sn58/Bi по меди.

Перспективными для производства бессвинцовых печатных плат считаются также сплавы системы Sn/Cu, близкие к Sn/Pb по своим характеристикам. Однако более высокая температура процесса может вызвать нежелательные эффекты. После нескольких циклов оплавления и/или ремонта покрытия теряют свои защитные свойства.

#### **Флюсы**

Флюсы для пайки аппаратуры делятся на две группы: неактивированные – на основе канифоли и полиэфирных смол, и активированные. Канифоль состоит из смеси нескольких слабых органических кислот, основная из которых – абиетиновая, растворяющая оксиды меди, но не воздействующая на чистую медь. Вместе с тем абиетиналы меди не являются коррозионными продуктами. Канифоль и полиэфирные смолы, попадая в диэлектрик печатной платы, не снижают его сопротивление изоляции. Неактивированные флюсы широко применяются для пайки изделий ответственного назначения и в качестве консервирующих покрытий, сохраняющих паяемость печатных плат в условиях длительного складского хранения.

В активированных флюсах, как это следует из названия, присутствуют активаторы – вещества, повыша-

ющие флюсующую активность. Среди них – амины, слабые органические кислоты и другие. Активаторы, как правило, содержат ионы галогенов или активные остатки, снижающие сопротивление изоляции диэлектриков. Поэтому активированные флюсы и их остатки следует тщательно отмывать. Их рекомендуется применять при высокопроизводительной механизированной пайке, пайке плохо смачиваемых металлов (например, никеля). К этой группе относятся также водорастворимые флюсы, не содержащие канифоли.

Режим пайки волной при переходе от Sn/Pb к бессвинцовым припоям изменился незначительно. В таких системах могут быть использованы прежние флюсы. При бессвинцовой пайке волной более предпочтительны водорастворимые флюсы. Температура бессвинцовой пайки несколько выше (примерно на 30°C), что следует учитывать при выборе флюса. Для высокотемпературных припоев используются флюсы исключительно на основе канифоли.

Вводимый в припойную пасту флюс играет ту же роль, что и при пайке компактным припоем. Обычно в пасту вводят те же флюсы, которые используются и при обычной пайке.

#### **Очистка функциональных узлов после пайки**

Наиболее перспективный сплав для замены – эвтектика Sn95,5/Ag3,8/Cu0,7, однако высокий уровень содержания олова приводит к окислению паяного соединения, продукты которого с трудом удаляются существующими растворителями и моющими жидкостями, разработанными под эвтектический оловянно-свинцовый припой.

Для достижения высокого качества отмывки требуются более агрессивные растворители. Остатки флюса при бессвинцовой пайке отличаются по составу от традиционных. Накопленный опыт свидетельствует, что при более высокой температуре сложнее удалять остатки флюса из паяного соединения. Подробные сведения о результатах испытаний различных моющих жидкостей при бессвинцовой пайке приведены в [3].

#### **ОТЛИЧИЕ БЕССВИНЦОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОТ СТАНДАРТНОГО ПРОЦЕССА**

Если говорить о принципиальных моментах, то бессвинцовая пайка практически ничем, кроме более высокой температуры, не отличается от традиционной Sn/Pb-технологии. Однако могут потребоваться некоторые изменения на определенных операциях техпроцесса. Так, например, новые типы припоев и флюсов могут повлиять на характеристики припойной пасты. Могут измениться такие свойства паст, как срок службы и хранения, текучесть, что требует изменения конструкции ракеля и режимов оплавления.

При воздействии повышенной температуры пайки может произойти вспучивание корпусов ИС, растрескивание кристаллов, нарушение функционирования схем. Схожие эффекты возникают и в печатных платах. Под действием температуры происходит расслоение основания, ухудшается плоскостность, что отрицательно сказывается на точности установки ИС, особенно в корпусах больших размеров. Для оценки влияния повышенной температуры и более длительного времени пайки требуется переаттестация существующей технологии пайки. Такие исследования сегодня проводятся SEMI и JEDEC. Большинство компонентов совместимы с таким температурным режимом бессвинцовой пайки. Исключение составляют некоторые типы интегральных схем, конденсаторов и соединителей, предельная температура пайки для которых не должна превышать 225...230°C.

Что касается оплавления, то влияние бессвинцовой пайки неодинаково на различных стадиях процесса. Все основные изменения связаны, в первую очередь, с более высокой температурой пайки. Требуется более тщательный выбор компонентов и материалов основания платы. Другие проблемы касаются охлаждения устройства и поддержки платы. Особенно чувствительны к скорости охлаждения многокомпонентные сплавы, содержащие более двух металлов. В таких припоях могут образовываться различные интерметаллические соединения в зависимости от скорости охлаждения.

Проводились исследования стандартной технологии монтажа на поверхность и пайки волной припоя [4].

На выбор сплава оказывают влияние как экономические, так и технологические факторы. Так, например, сплавы на основе индия весьма дороги, их нерационально использовать для пайки волной, когда необходимо загружать в ванну большое количество припоя. Однако этот материал может быть с успехом применен для изготовления выводов flip-chip-кристаллов.

Промышленность уже начала выпуск бессвинцовых приборов, однако большинство из них имеет небольшие размеры и минимальный температурный градиент. Такие функциональные узлы позволяют использовать невысокую температуру плавления (230...235°C). При монтаже плат больших размеров с массивными компонентами требуется либо увеличивать время воздействия температуры, либо повышать температуру пайки, что следует учитывать при выборе компонентов и материалов печатных плат. Еще одна проблема связана с наличием на выводах некоторых компонентов покрытия Sn/Pb, которое при смешивании с бессвинцовой пастой образует шарики припоя.

Определенное беспокойство в промышленности вызывает более высокая, по сравнению с Sn/Pb, температура пайки припоями системы Sn/Ag/Cu. Однако имеются обнадеживающие результаты исследований IDEALS, которые показывают, что при пайке в атмосфере азота возможно несколько снизить температуру процесса, уменьшить образование окислов и значительно сократить время смачивания.

В недавно опубликованном отчете Департамента торговли и промышленности (Department of Trade and Industry) Англии максимальная температура при оплавлении не превышает 220...250°C, в зависимости от марки припоя, конструкции функционального узла и типа оборудования. Были получены надежные паяные соединения при пайке в течение 10 минут при температуре 225°C. При более высокой температуре качество соединений улучшалось. Пайка волной припоя наиболее эффективна при 240...260°C.

#### **КОММЕРЧЕСКИЕ БЕССВИНЦОВЫЕ ПРИБОРЫ**

Промышленность выпускает несколько типов бессвинцовых прибо-

ров, модулей памяти и интегральных схем.

Первенцем бессвинцовой технологии можно считать MiniDisc-плеер, который компания Panasonic выпустила в октябре 1998 года. При монтаже этого прибора использовался припой Sn/Ag/Bi. На сегодняшний день выпущено и реализовано свыше 500 000 таких устройств.

Следующим прибором, который компания намерена перевести на бессвинцовую технологию, является видеокарта 861 серии. Карта Panasert 861 – изделие больших размеров – изготавливается по смешанной технологии – оплавлением и волной припоя. При ее производстве планируется использовать припой Sn<sub>3,5</sub>/Ag<sub>3</sub>/Bi для пайки оплавлением и Sn<sub>0,7</sub>/Cu для волны. Кроме того, Panasonic с ноября 2000 года начала использовать технологию бессвинцовой пайки на одном из своих заводов по производству телевизоров в Великобритании.

Hyundai Electronics Industries (HEI) разработала бессвинцовую технологию производства модулей памяти и корпусов ИС. Первым «зеленым» устройством, выпущенным фирмой,

стал модуль 128 Мбит DRAM в «бессвинцовом» корпусе с размерами кристалла CSP (Chip Scale Package). Температура бессвинцовой пайки на 30°C превышает стандартную, однако фирма гарантирует надежность новых ИС на уровне классических приборов. Промышленная эксплуатация новой технологической линии началась в 2001 году [5, 6].

#### **БУДУЩЕЕ БЕССВИНЦОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ**

Есть ли будущее у бессвинцовой технологии? Не тупиковая ли это ветвь развития электроники? На эти вопросы ответит только время.

Несомненно, в ближайшем будущем потребуются дополнительные исследования бессвинцовых припоев, влияния повышенной температуры на надежность компонентов, совместимости покрытий с бессвинцовыми припоями, реакции материалов оснований печатных плат на повышенную температуру, возможности ремонта и восстановления бессвинцовых соединений. И это не самые сложные из вопросов, которые предстоит решить.

#### **Литература**

1. *STATS picks pure-tin solder as best lead-free packaging solution. ST Assembly Test Services Ltd. [www.semibiznews.com/story/OEG20001024S0057](http://www.semibiznews.com/story/OEG20001024S0057) [10269].*

2. *Resource provides information on lead-free solder technology. Lead-Free Soldering Technology Centre [5351].*

3. *Bixenman M. Lead-free solder to impact precision cleaning. Kyzen Corp. EP&P Magazine, June 2000.*

4. *Primavera A. How lead-free processes differ from traditional processes. Universal Instruments. EP&P Magazine, June 2000.*

5. *Hyundai Electronics Industries develops lead-free chips. Hyundai Electronics America Inc. (HEA). [www.koreaherald.co.kr/SITE/data/html\\_dir/2001/01/05/200101050038.asp](http://www.koreaherald.co.kr/SITE/data/html_dir/2001/01/05/200101050038.asp) [11030].*

6. *Hyundai Electronics develops Korea's first Pb-free semiconductor. Hyundai Electronics America Inc. (HEA). [www.hei.co.kr/eng/news/frset/news\\_01jan15\\_set.html](http://www.hei.co.kr/eng/news/frset/news_01jan15_set.html) [11079].*