

О технологии сборки и монтажа, а также о надежности низкотемпературных припоев на основе SnBi

При переходе со свинецсодержащих на бессвинцовые припои основной акцент был сделан на припой на базе SnAgCu, вследствие чего были выдвинуты более высокие требования к материалу субстрата, поверхностям контактных площадок и, конечно, электронным компонентам из-за возрастающей температуры пайки. В общем и целом результатом стало увеличение расходов прежде всего на материалы (например, сплав, содержащий серебро, качественные электронные компоненты, печатные платы) и в значительной степени, при необходимости, увеличение расхода энергии. Для сокращения этих расходов в последние годы проводятся исследования по поиску альтернативных систем сплавов, которые в свою очередь должны привести к снижению температуры пайки. Один из первых подобных сплавов был основан на SnBi с эвтектическим составом с температурой плавления 138 °С, который однако нельзя было применять при смешанном монтаже с использованием свинецсодержащих компонентов, так как в данном случае мог образоваться сплав SnBiPb с температурой плавления 96 °С (эвтектическая смесь 55,5Bi44,5Pb с температурой плавления 124 °С и эвтектическая смесь 46,0Bi34,0Sn20,0Pb с температурой плавления 96 °С). Большинство компонентов теперь уже имеются в бессвинцовых вариантах, таким образом, этот сплав может быть вновь рассмотрен в качестве альтернативы свинецсодержащим припоям.

Йорг Тродлер (Joerg Trodler)

joerg.trodler@heraeus.com

Франк Бреер (Frank Breer)
К. Хофманн (C. Hofmann)
Клаус Биркнер (Klaus Birkner)

Перевод: Андрей Новиков

andrej.novikov@uni-rostock.de

Введение

После того как произошел переход со свинецсодержащих на бессвинцовые припои, во многих областях производства электроники сейчас изучаются возможности и потенциал оптимизации в двух основных направлениях:

- Повышение надежности в области высокотемпературных применений, например для применений в автомобильной индустрии.
- Снижение стоимости процессов, например в области мобильной электроники и в области развлечений.

Во втором случае при использовании стандартных бессвинцовых сплавов расходы возникают в том числе и за счет стоимости сплава, например содержащего серебро [1, 2], а также в результате высоких температур процессов пайки и необходимыми в связи с этим дорогостоящими материалами печатных плат и электронных компонентов, например разъемов, которые должны выдерживать более высокую температурную нагрузку. В связи с этим возникает вопрос об использовании альтернативных бессвинцовых сплавов, которые, с одной стороны, дешевле, а с другой стороны, могут значительно снизить температуру пайки.

Возможно использование сплавов, содержащих индий (In), которые, однако, не способствуют достижению цели сокращения расходов из-за доли индия в припое [3]. Еще одним вариантом является использование припоя олово-висмут (SnBi) с дополнительными элементами, например серебром (Ag). Этот сплав долгое время не рассматривался в качестве альтернативы, так как в случае смешанного монтажа со свинец-

содержащими компонентами возникает своего рода эвтектическое соединение между свинцом и висмутом с температурой плавления 96 °С [4], и в этом случае происходит выход из строя паяного соединения.

Механическая стабильность паяных соединений из припоя SnBi может быть металлургически улучшена за счет добавления дополнительного компонента, например серебра. Температура ликвидуса повышается при этом лишь на 2 К — до 140 °С. На основании этого были проведены исследования со сплавом, состоящим из трех компонентов, — SnBiAg. Исходя из технологических свойств этого сплава — особенно его характеристик пайки — была проверена его совместимость с бессвинцовыми поверхностями, особенно с компонентами BGA с шариковыми выводами из сплавов SAC и различными поверхностями печатных плат. Технология монтажа была протестирована с паяльными пастами вплоть до класса 7. На отдельных электронных модулях были проведены испытания на надежность, которые частично опираются на требования из области автомобильной электроники.

Такие компании, как LG Electronics (продукт — LCD-телевизоры), Loewe и Samsung, уже работают в этой области и частично применяют подобные сплавы в производстве.

Основы металлургии

Чистая эвтектическая смесь из олова и висмута возникает при температуре плавления 138 °С при следующем соотношении: 58 w% (процент по весу) висмута и 42 w% олова (рис. 1) [6]. Растворимость висмута при эвтектической температуре 138 °С составляет около

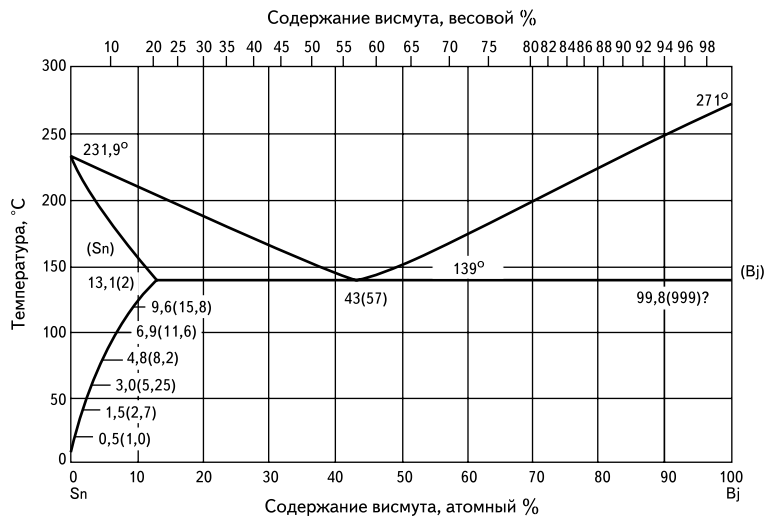


Рис. 1. Фазовая диаграмма сплава SnBi

21 w% [5], однако при комнатной температуре возникают фазы олова с примерным содержанием висмута в 2 w%. Следует отметить, что

олово имеет тетрагональную кристаллическую структуру, в то время как висмут обладает ромбоэдрической структурой.

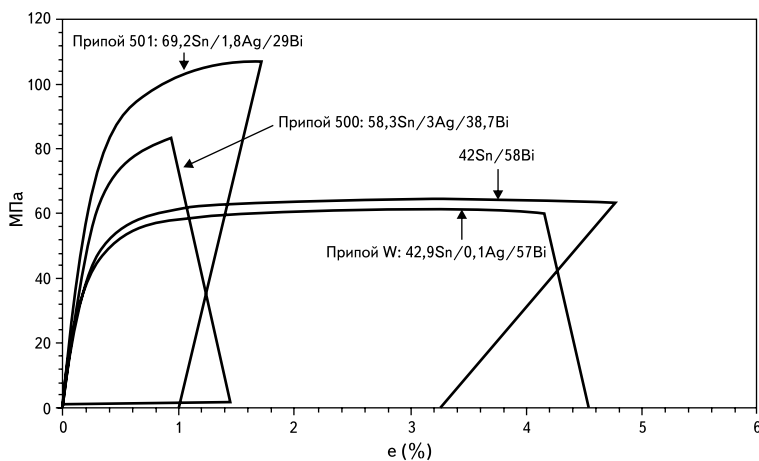


Рис. 4. Напряжение при растяжении (σ) в отношении к продольной деформации [ε] при 300 К

Проблема надежности возникает при взаимодействии сплава SnBi со свинцом (Pb), так как в данном случае, при наличии определенной доли свинца, уменьшается температура ликвидуса (рис. 2 и 3) [4].

В принципе добавление дополнительных элементов к основному сплаву SnBi может оказать положительное влияние на его физические свойства [7]. Так, при добавлении 1 w% серебра к эвтектическому сплаву SnBi могут быть улучшены его пластические свойства (рис. 4) [8], что в свою очередь положительно сказывается на надежности паяного соединения.

Исследования на практическом образце

Для возможного практического применения были выбраны два безгалогенных флюса. Порошок припоя сплава SnBi57Ag1 соответствовал классу 3. В целом исследование проводилось по схеме испытаний, описанных в [9, 10].

Шаблонная печать

Сначала было проанализировано разрешение линий печати пасты. Четкость линий определяется на металлизации большой площади. Начиная со 120 мкм линии паяльной пасты и расстояния увеличивались с шагом 20 мкм вплоть до 300 мкм (рис. 5).

Значение и качество разрешения линий определяется таким образом, что учитывается их наименьшее разрешение без ошибок. К ошибкам относятся прерывающиеся линии или перемычки (рис. 6).

Для тестируемых систем паяльных паст при пятой печати были получены результаты, которые представлены в таблице. Испытания проводились при постоянных условиях печати с шаблоном толщиной 150 мкм.

На основании полученных результатов можно сказать, что паста 6D-823, особенно при

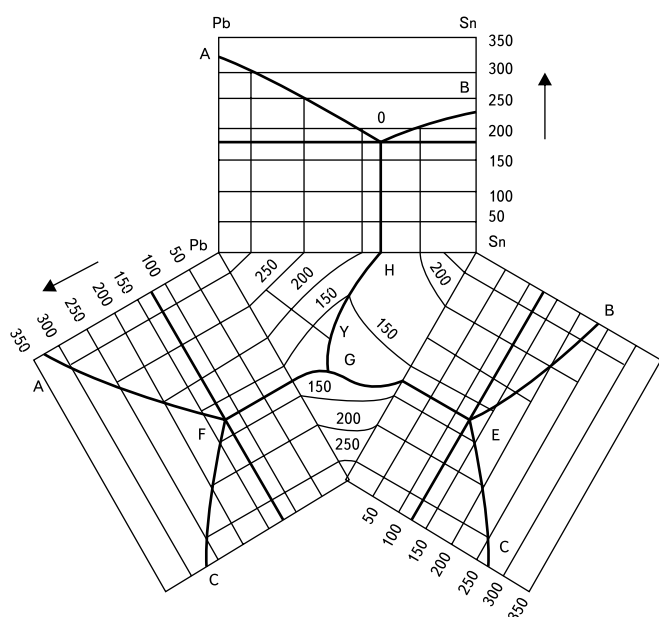


Рис. 2. Фазовая диаграмма системы свинец-висмут-олово

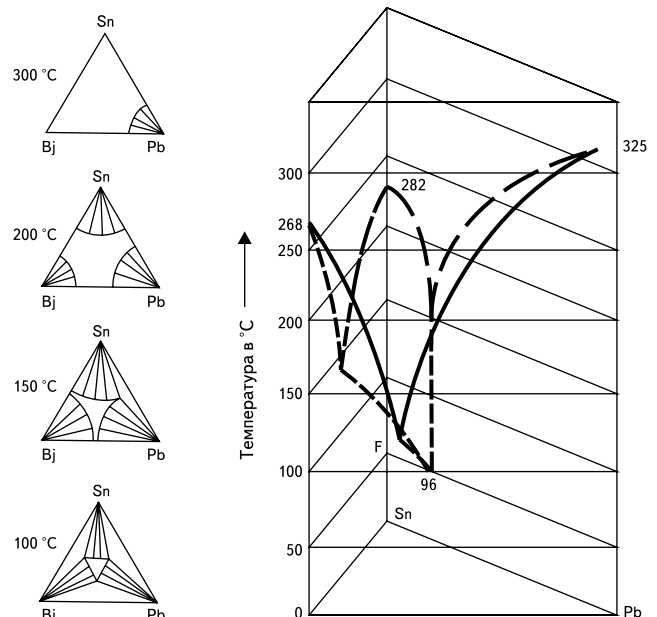


Рис. 3. Фазовая диаграмма системы свинец-висмут-олово

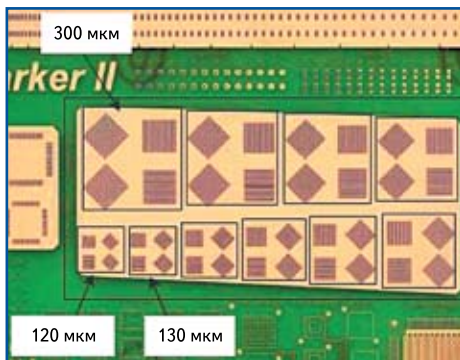


Рис. 5. Разрешение линий

Таблица. Разрешение линий

	6D-823	1D-362
45°	180 мкм	220 мкм
Вертикально	200 мкм	220 мкм
Горизонтально	220 мкм	260 мкм

горизонтальном разрешении, показала лучшие результаты, и, таким образом, она подходит для шага 0,5. Эта паста демонстрирует результаты, похожие на стандартные пасты на основе SnAgCu.

Пайка оплавлением

Для пайки оплавлением был выбран уже испытанный для эвтектики SnBi температурный профиль (рис. 7).

Наиболее важным моментом является совместимость этого сплава с различными финишными покрытиями печатных плат. По этой причине были изготовлены соответствующие печатные платы с компонентами BGA (бессвинцовыми SAC-шариками), и они были спаяны при помощи граничного профиля. По сравнению с профилем, изображенным на рис. 7, разница заключается в пиковой температуре, которая была понижена

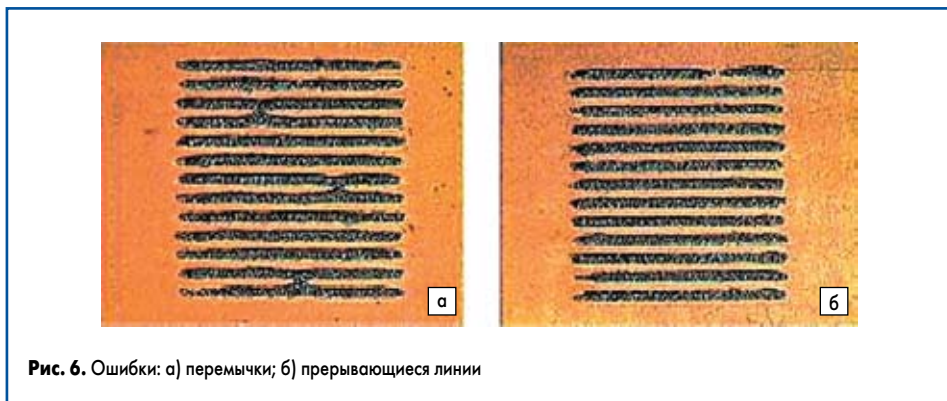


Рис. 6. Ошибки: а) перемычки; б) прерывающиеся линии

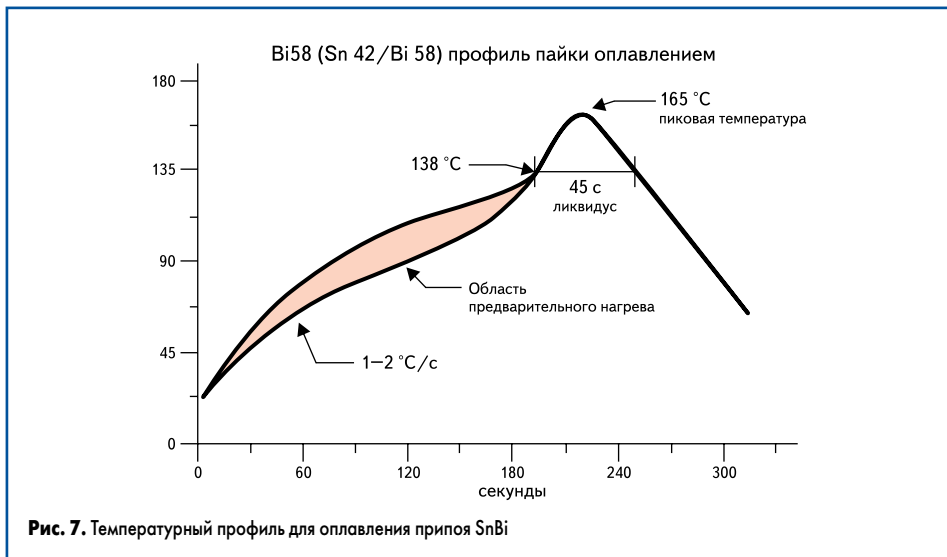


Рис. 7. Температурный профиль для оплавления припоя SnBi

на 15 К, поэтому нижний граничный профиль был использован при пиковой температуре 150 °С. Первый анализ паяных соединений был проведен с помощью рентгеновского излучения (рис. 8).

При анализе рентгеновских снимков во всех комбинациях присутствует либо малое количество пор, либо они вообще отсутствуют,

но поры с большой вероятностью могут возникать в комбинациях с SAC-припоем [11, 12]. В случае, когда паста расплавляется раньше, чем шарик, вероятность возникновения пор уменьшается, что и наблюдается при различных температурах ликвидуса припоев SnBiAg и SnAgCu [13]. О качестве паяного соединения можно судить лишь при помощи металлургической диа-

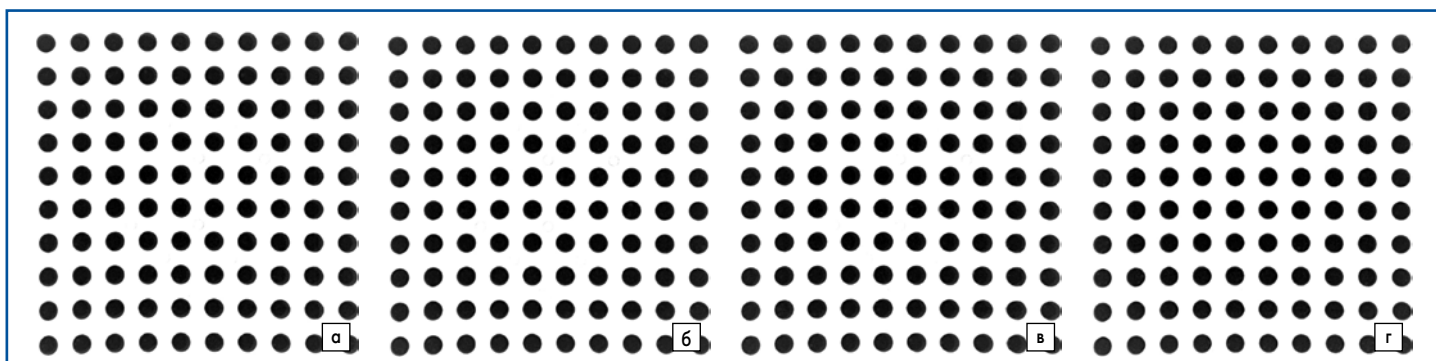


Рис. 8. Компоненты BGA: а) на химическом Sn; б) на NiAu; в) на OSP; г) на HAL

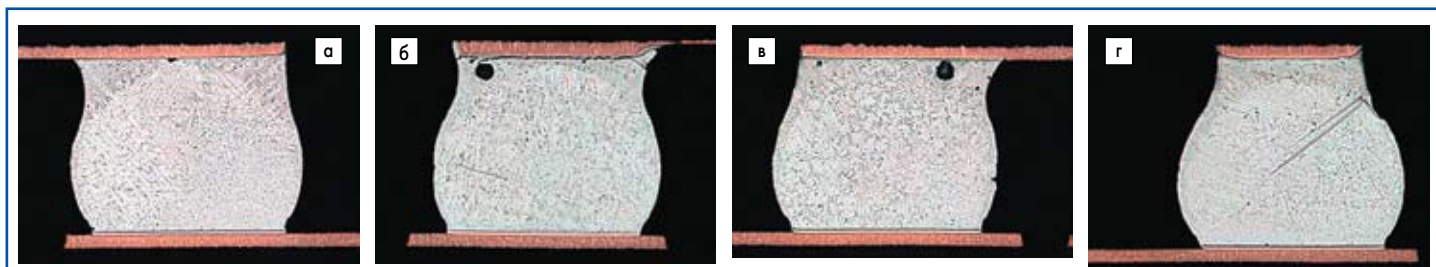


Рис. 9. Паяное соединение: а) с химическим Sn; б) с NiAu; в) с OSP; г) с HAL

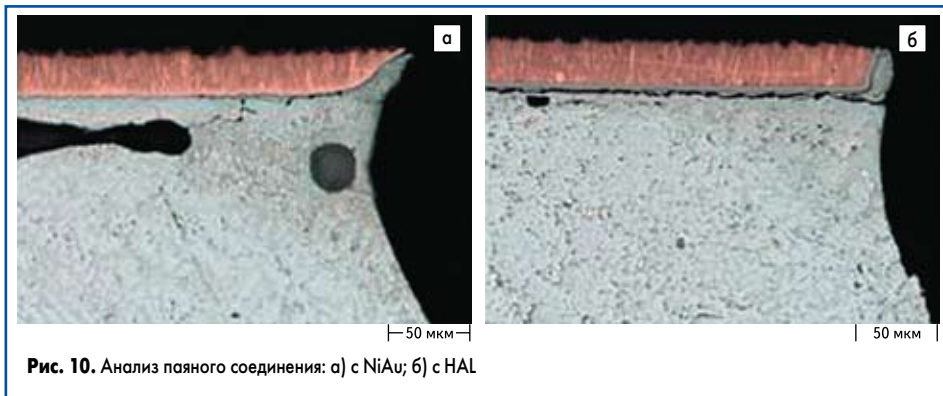


Рис. 10. Анализ паяного соединения: а) с NiAu; б) с HAL

гностики (рис. 9). На этих рисунках снизу изображена плата-переходник компонента BGA, а сверху соединение с печатной платой.

Граничный профиль, который не может быть использован для серийного производства, позволяет хорошо проанализировать комбинации. В ходе этого анализа могут быть явно показаны возможные слабые места и меры, которые необходимо предпринять для их устранения. Химическое олово и органическое защитное покрытие (Organic Solderability Preservatives, OSP) в качестве поверхности печатной платы можно без проблем обработать при помощи этого припоя, при этом, несомненно, OSP имеет потенциал оптимизации, так как сплавы SnBiAg и SnAgCu не полностью смешиваются. В случае с NiAu хорошо заметна высокая посадка компонента, это может быть следствием временной блокировки диффузионных процессов между сплавами. Возможную причину следует искать в диффузионном барьере из никеля. При детальном рассмотрении рис. 10а можно увидеть, что уже в исходном состоянии имеется трещина или не происходит достаточного образования интерметаллического соединения.

На рис. 10б изображено соединение с поверхностью HAL. Здесь четко видно, что область диффузии не образовалась (рис. 10б). В данном случае также виден диффузионный барьер, который мешает образованию необходимого соединения с припоем, и, таким образом, уже в исходном состоянии возникает трещина.

В итоге можно сделать вывод, что поверхности химического олова и OSP можно использовать, в случае с NiAu есть необходимость оптимизации, а HAL применять не следует. При этом допустим перенос на различные финишные покрытия электронных компонентов. Все компоненты с никелем в качестве диффузионного барьера требуют более детального анализа.

Изготовление конечного продукта

Даже если возможно заранее определить критерии обработки и аспекты надежности в различных лабораторных исследованиях, абсолютно необходимо перенести полученные результаты на уровень конечного продукта и в итоге провести заключительный анализ на самом продукте. Один из первых таких анализов был проведен на печатных платах, используемых для телевизоров производства компании Loewe (рис. 11).

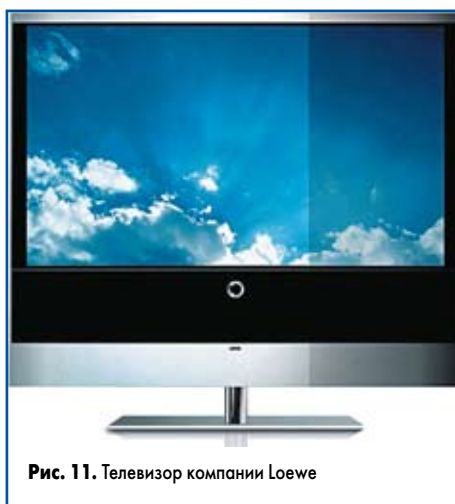


Рис. 11. Телевизор компании Loewe

Причины проведения такого анализа:

- более низкая температурная нагрузка на электронные компоненты и печатную плату;
- более низкие затраты на энергию за счет сокращения температуры пайки оплавлением, особенно пиковой температуры;
- меньшие затраты энергии для охлаждения помещения и печатных плат;
- невысокие требования к спецификации паяльных печей и отсутствие необходимости нагрева с нижней стороны;
- переход от волновой пайки к пайке оплавлением и, таким образом, получение электронных модулей более высокого качества;
- возможность использования более дешевого материала для печатных плат и электронных компонентов;
- возможность использования SMT-компонентов с более жесткой спецификацией температуры (оптоэлектроника);
- более длительный расчетный срок службы оборудования (печи для пайки оплавлением);

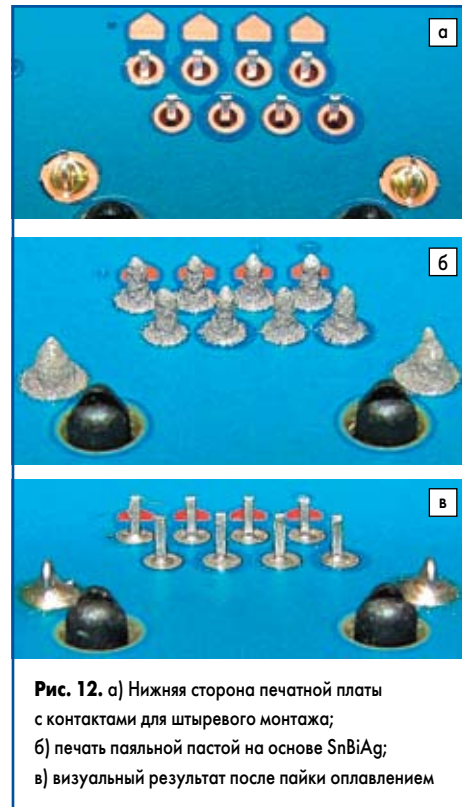


Рис. 12. а) Нижняя сторона печатной платы с контактами для штыревого монтажа; б) печать паяльной пастой на основе SnBiAg; в) визуальный результат после пайки оплавлением

- лучшие возможности ремонта разъемов для штыревого монтажа и светодиодов;
- возможность осуществления сложных циклов процессов.

Надежность конечного продукта

Важными этапами проверки надежности является функционирование более 2000 часов при включении и выключении приборов (режим On/Off), а также испытание термодублированием при $-40...+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ продолжительностью 1000 циклов или комбинация этих испытаний, то есть сначала испытания на включение/выключение, а затем термодублирование.

Для применения на уровне продукта в первом испытании был использован разъем для штыревого монтажа. На первом этапе электронный модуль подвергается пайке оплавлением со стандартным припоем SAC. При этом происходит фиксация разъема (рис. 12а), затем печать соответствующих мест соединения паяльной пастой на основе SnBiAg (рис. 12б) и последующая их пайка (рис. 12в).

Таким образом, продукты имеют комбинированные паяные соединения на основе SAC

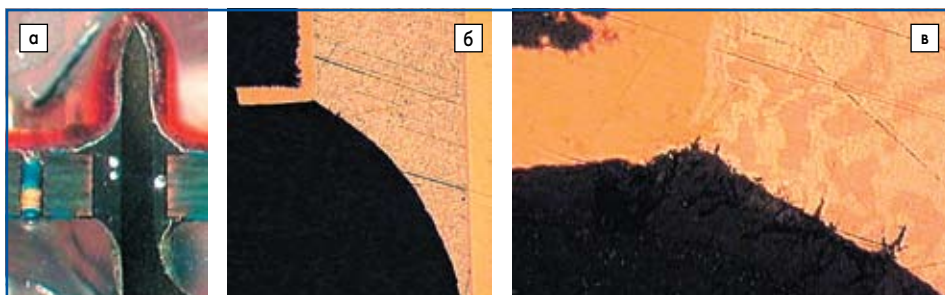


Рис. 13. Изображения шлифов: а) разъем для штыревого монтажа; б) его увеличенное изображение; в) детальное изображение (толщина слоя меди 20 мкм)

и SnBiAg, которые и были использованы для квалификации.

По причине низкой температуры плавления сплава SnBiAg основной акцент испытания делается на термоциклирование. Был проведен анализ паяных соединений после 1000 циклов (рис. 13). Возникшая после 1000 циклов трещина в 7 мкм считается незначительной.

Для дальнейшей квалификации были проведены похожие исследования в исходном состоянии и в состоянии после температурных циклов двухполюсных электронных компонентов (рис. 14–16).

Металлургический анализ показывает, что после испытания термоциклированием при температуре $-40...+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ после 1000 циклов значительные повреждения или усталость соединений не возникают.

Заключение и дальнейшие перспективы

Сплав SnBiAg был подвержен основным испытаниям и испытаниям на надежность для бессвинцовой технологии сборки и монтажа. Были выявлены следующие преимущества:

- меньшая нагрузка на печатные платы и электронные компоненты;
- более низкие затраты на энергию;
- сокращение расходов;
- меньшая дегазация;
- более длительный расчетный срок службы для пайки оплавлением при меньших затратах на техническое обслуживание (например, промывки между чистками);
- расширение области применения электронных компонентов и печатных плат с меньшей температурной устойчивостью, например оптоэлектронных компонентов;
- пайка безгалогенными системами в воздушной среде;
- возможность выполнения сложной технологии сборки и монтажа;
- двусторонняя пайка оплавлением тяжелых компонентов для первого процесса пайки оплавлением;
- более простая ремонтная пайка.

Сплав нельзя использовать со свинцово-держателями электронными компонентами. Существует необходимость принятия мер при использовании компонентов и финишных покрытий печатных плат, которые имеют диффузионные барьеры, например, из никеля.

Примечание. Оригинал статьи опубликован в журнале PLUS (Produktion von Leiterplatten und Systemen. 2010. № 7. Германия).

Литература

1. Trodler J., Nowotnick M. Silberreduzierte Weichlote auf Basis SnAgCu; 1. DVS-Tagung Weichlötten 2009, Forschung Praxis für die Elektronikfertigung. 9.1.2009. Hanau.
2. Nowotnick M., Novikov A., Trodler J. Processing and Reliability of Low-Silver Alloys. SMTA. 5–8.10.2000. San Diego, USA.
3. Hwang J. S. Environment-Friendly Electronics: Lead-Free Technology. Electrochemical Publication Ltd, 2001.

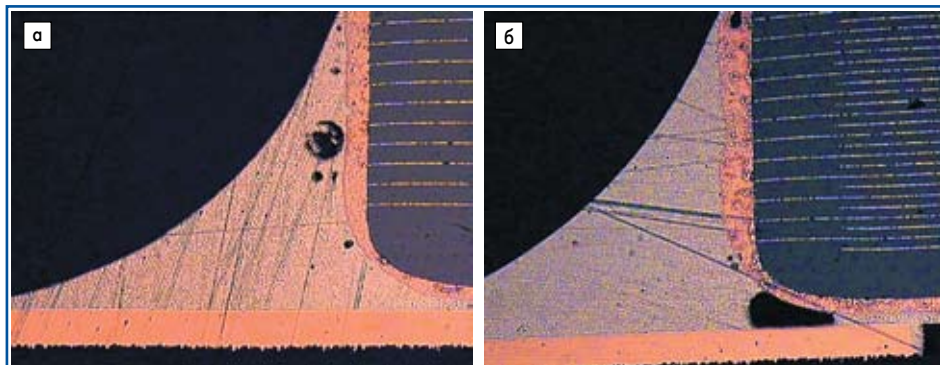


Рис. 14. Обзор: а) исходное состояние; б) после испытания термоциклированием

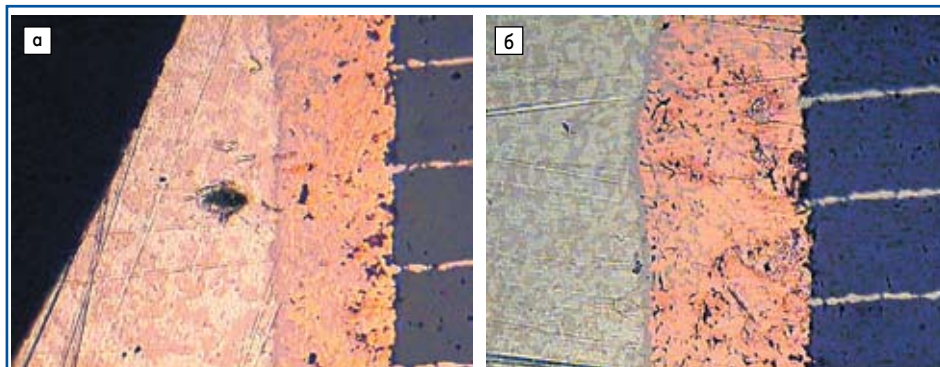


Рис. 15. Детальное изображение электронного компонента: а) исходное состояние; б) после испытания термоциклированием

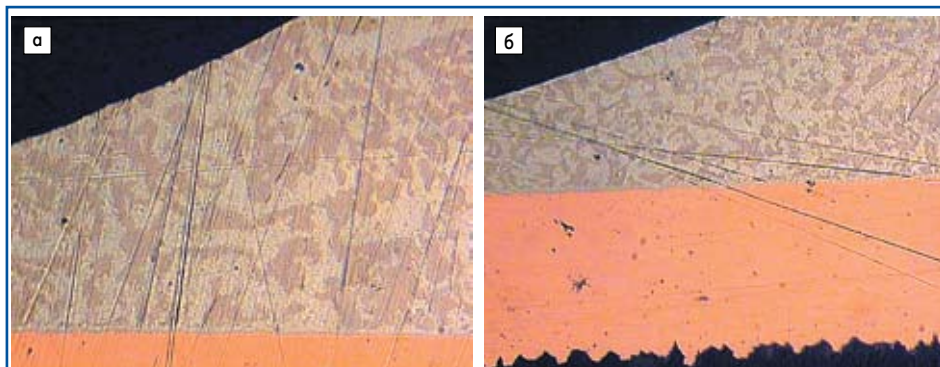


Рис. 16. Детальное изображение печатной платы: а) исходное состояние; б) после испытания термоциклированием

4. German Standard, DIN 1310, Zusammensetzung von Mischphasen. Beuth Verlag, Berlin, 1984.
5. Reynolds H. L. Creep of Two-Phase-Microstructures for Microelectronic Applications. Ph.D. Dissertation. Department of Materials Science and Mineral Engineering. University of California, Berkeley Dec. 1998, Contract No. DE-AC03-76SF00098
6. Hansen M., Anderko K. Constitution of Binary Alloys. NY: McGraw-Hill, 1958.
7. Abschlussbericht Innolot, BMBF — Verbundprojekt; Förderträger: Forschungszentrum Jülich, NMT; Förderprogramm: MaTech; Förderkennzeichen: 03N3083A; Laufzeit: 01.03.2000–28.02.2004.
8. Hwang J. S. Environment-Friendly Electronics: Lead-Free Technology. Electrochemical Publication Ltd, 2001.
9. Trodler J., Schmitt W. Haupteinflüsse und Wechselwirkungen auf die Lötqualität beim

- Verarbeiten von SAC-Lotpasten; Seiten 140 bis 150, Forschung & Technologie. PLUS Ausgabe 1 Januar 2007. Eugen G. Leuze Verlag 2007.
10. Lathrop R., Trodler J. International Technical Service Test Procedure. Hanau und Conshohocken, USA. 20.03.2002.
11. Wohlrabe H., Bell H., Trodler J. Analyse von Material- und Prozesseinflüssen auf die Reflowqualität — Teil 1; Seiten 1031 bis 1038, Forschung & Technologie. PLUS Ausgabe 5 Mai 2008. Eugen G. Leuze Verlag, 2008.
12. Wohlrabe H., Bell H., Trodler J. Analyse von Material- und Prozesseinflüssen auf die Reflowqualität — Teil 2; Seiten 1264 bis 1271, Forschung & Technologie. PLUS Ausgabe 6 Juni 2008. Eugen G. Leuze Verlag, 2008.
13. Lee R. S. W., Ning-Cheng Lee, Wong C. P., Lau J. H. Electronics Manufacturing: with Lead-Free, Halogen-Free, and Conductive-Adhesive Materials. 2003.