

Исследование надежности паяного соединения светодиодов XLamp

компании Cree

Коммерческие системы на основе светодиодов большой мощности резко возобладали над обычными технологиями освещения благодаря высокой надежности, большому сроку службы и универсальности светодиодов. Источники света на основе светодиодов имеют широкие перспективы в коммерческих системах, в системах уличного, внутреннего и бытового освещения. От источников света на основе светодиодов требуется все более точное соответствие стандартам надежности и требованиям международного стандарта энергоэффективности ENERGY STAR для стабильного светового потока ($L70 > 35\,000$ ч) [1].

Надежность паяного соединения светодиода и печатной платы (ПП) очень важна для обеспечения общей надежности светодиодного осветительного устройства. Настоящая статья описывает исследование надежности паяных соединений высокоомощных светодиодов XLamp от компании Cree с помощью испытания термоударами. Термоудар — это намного более строгая методика испытаний на длительность работы, чем испытания на термоциклирование, и приводит к существенному ускорению развития механизмов отказа, провоцируя потенциальные неисправности раньше, чем это делают испытания на термоциклирование. Хотя термоудар и полезен для определения наиболее вероятного места, в котором может произойти отказ системы под воздействием термического напряжения, какой-либо корреляции между испытаниями термоударом и рабочей средой в условиях реальной эксплуатации не было выявлено, и эти результаты не следует использовать в качестве индикатора, позволяющего

спрогнозировать срок службы системы или интенсивность отказов. То есть после 35 000 ч работы источник света все еще будет давать 70% исходного светового потока.

Введение

Уникальные преимущества, предлагаемые высокоомощными светодиодами, привели к широкому внедрению этой технологии на рынках, где ранее господствовали традиционные технологии освещения. Одним из основных конкурентных преимуществ систем освещения на основе светодиодов является их надежность в долгосрочной перспективе. Поэтому для таких систем крайне важно добиться долгой и надежной работы с соответствующими параметрами. Кроме светодиодного чипа, в состав светодиода входят подложки из различных материалов, компоненты и герметики, различные у разных производителей.

Три соединения, чья целостность важна для обеспечения переноса тепла с контакта светодиода к теплоотводу, показаны на рис. 1. Производитель светодиодов проверяет целостность присоединения светодиодного чипа к подложке. Фирма, производящая ПП и источники света в сборе, отвечает за проверку целостности и двух других соединений.

Целостность паяного соединения подложки светодиода с ПП является одним из определяющих факторов долгого срока службы источника света и надежности светодиодных изделий. Надежность паяного соединения зависит не только от состава припоев, но и от металлизации корпуса светодиода и ПП. Кроме

того, профиль оплавления также оказывает существенное воздействие на характеристики соединения, выполненного с помощью бессвинцового припоя, так как он влияет на процесс смачивания и микроструктуру паяного соединения. Поврежденное или бракованное паяное соединение может вызвать разрыв цепи, который, в свою очередь, может вызвать отказ электросистемы лампы или источника света.

Испытание термоударом дает более быстрое линейное изменение, чем термоциклирование, нанося гораздо большее повреждение паяным соединениям. Испытание термоударом может дать важные результаты для понимания надежности паяных соединений [4]. В этом исследовании для оценки надежности паяных соединений избранных высокоомощных светодиодов XLamp применялся термоудар.

Надежность паяного соединения определялась как вероятность того, что оно сможет выполнять требуемые функции при конкретных условиях эксплуатации в течение данного промежутка времени. По медицинским и экологическим соображениям эвтектический припой Sn63Pb37 (63% олова, 37% свинца), который традиционно применялся для пайки систем, был заменен на бессвинцовые припойные сплавы.

Неисправности паяных соединений часто происходят в электронных сборках [2]. Формирование надежного паяного соединения зависит от нескольких факторов, таких как способность расплавленного припоя быстро и равномерно смачивать рельеф поверхности и взаимодействовать с ним для образования прочного интерметаллического слоя на ней [3]. Характер процесса смачивания, межповерхностное химическое взаимодействие и металлургическая микроструктура спая определяются преимущественно температурой оплавления. Кроме того, общая надежность спая определяется сочетанием эксплуатационной среды и конструкции системы. Эксплуатационная среда определяет крайние пределы температуры, которую должно выдерживать изделие, частоту циклов включения/выключения питания и вероятность механических ударов или вибрационных нагрузок.

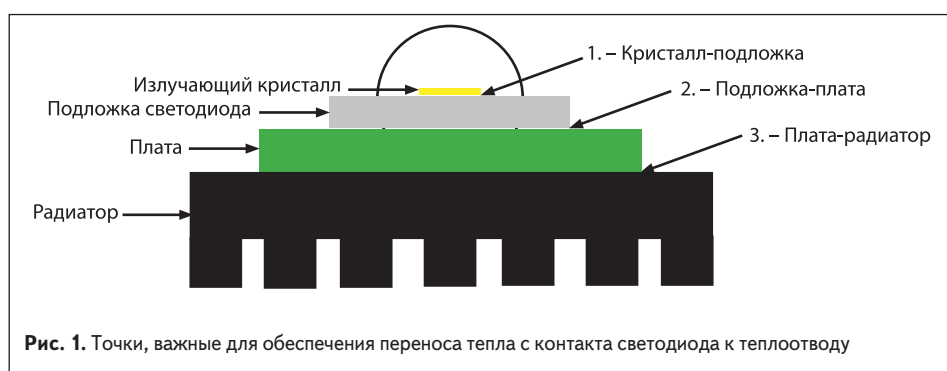


Рис. 1. Точки, важные для обеспечения переноса тепла с контакта светодиода к теплоотводу



Факторы, которые следует учитывать при проектировании светодиодного узла, сводятся к следующим (рис. 2):

- физические свойства светодиодного чипа и подложки светодиода;
- выбор материалов;
- геометрия спаев (размер и форма контактной площадки, расположение площадки по отношению к паяльной маске);
- объемные механические свойства припойного сплава;
- природа образующихся интерметаллических соединений и их структура на поверхностях раздела между спаем и контактной площадкой.

Для надежности соединения между корпусом светодиода и ППП ключевой характеристикой является различие коэффициентов температурного расширения корпуса светодиода и материала ППП. Изменение эксплуатационных условий приводит к образованию разнонаправленных сил из-за несовпадения коэффициентов расширения. Эти силы могут усилиться за счет таких механизмов, как изгиб подложки светодиода. Для светодиодных узлов большого размера на жесткой ППП меха-

ническое напряжение, вызванное несовпадением расширений, выше всего в спаях, расположенных дальше от центра такого узла.

Данная статья описывает исследование надежности спаев, выполненных с помощью бесвинцовых припоев, для четырех высоковольтных корпусов светодиодов XLamp от компании Cree: XB-D, XP-G, XM-L и XM-L высоковольтный белый (HVW). Образцы каждого из светодиодных корпусов были смонтированы на однослойной печатной плате с металлической основой (MCPCB) и подвергнуты испытанию термоударами в температурном диапазоне $-40...+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ с временем выдержки 15 мин. и временем передачи менее 20 с. Количество пустот в припое между корпусом светодиода и MCPCB менялось для того, чтобы исследовать его воздействие на надежность спаев.

Сборка материалов и компонентов

На рис. 3 показан процесс оплавления в технологии поверхностного монтажа (SMT),

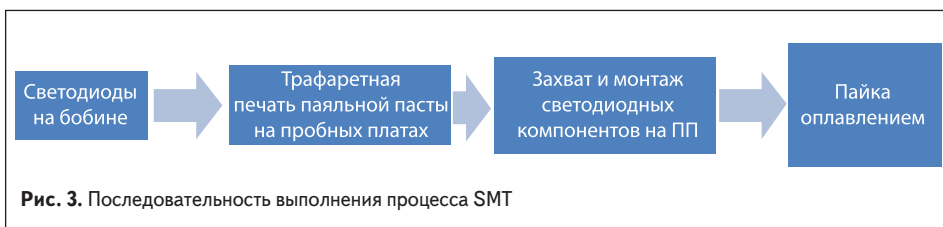


Таблица 1. Размеры корпусов высоковольтных светодиодов XLamp

Тип корпуса	Размер, мм
XB-D	2,45×2,45
XP-G	3,45×3,45
XM-L	5×5
XM-L HVW	5×5

применявшийся с каждым светодиодным корпусом в этом исследовании.

Размеры четырех корпусов высоковольтных светодиодов XLamp приведены в таблице 1.

Испытательная плата

Как показано на рис. 4, плата MCPCB, отобранная для исследования, может вместить десять светодиодов. В данном исследовании использовались тридцать светодиодов каждого типа, т. е. по три

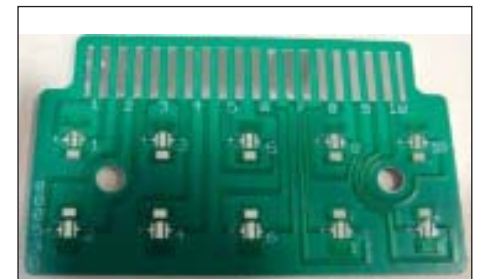


Рис. 4. Плата MCPCB с корпусом XB-D светодиода XLamp

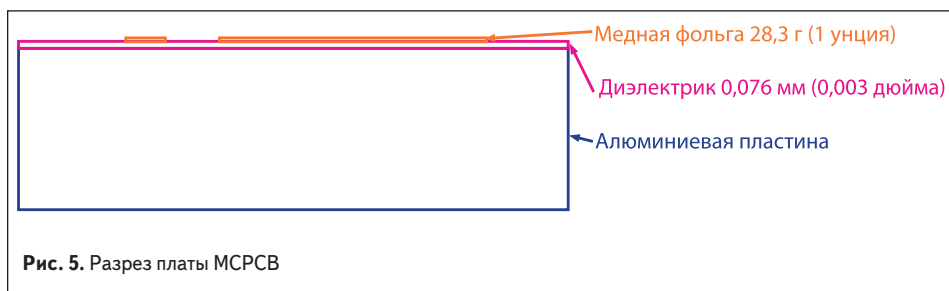


Рис. 5. Разрез платы MCPCB

Таблица 2. Технологическое оборудование

Оборудование для SMT	Марка оборудования для SMT
Устройство для трафаретной печати	MPM Momentum
Монтажная и захватывающая установка	JUKI FX-3
Печь оплавления	Heller 1809 MK III

платы для каждого светодиода. Платы MCPCB были сконструированы компанией The Bergquist Company, которая выполнила чертеж.

Плата MCPCB, использованная в данном исследовании, включала паяльную маску, слой медных проводников, тонкий теплопроводящий диэлектрический слой и слой металлической основы. Слои ламинированы и связаны вместе,

что обеспечивает путь для рассеивания тепла. На рис. 5 показан разрез платы MCPCB.

Поверхность платы MCPCB обработана бессвинцовым припоем, выровненным горячим воздухом (HASL), что обеспечивает великолепную паяемость и большую долговечность при хранении по сравнению с иными вариантами, наподобие органического защитного

Таблица 3. Режим оплавления припоя, использованный в исследовании

Параметр режима		Значение
Средняя скорость нагрева ($T_{s_{max}} - T_p$), °C/c		1,25
Предварительный нагрев	Минимальная температура ($T_{s_{min}}$), °C	+150
	Максимальная температура ($T_{s_{max}}$), °C	+200
	Время ($t_{s_{min}} - t_{s_{max}}$), с	102,23
Выдержка	Температура (T_d), °C	+217
	Время (t_d), с	52,48
Пиковая/классификационная температура (T_p), °C		+240,98
Время отклонения в пределах 5 °C от фактической пиковой температуры (t_p), с		3,28
Скорость охлаждения, °C/c		1,78

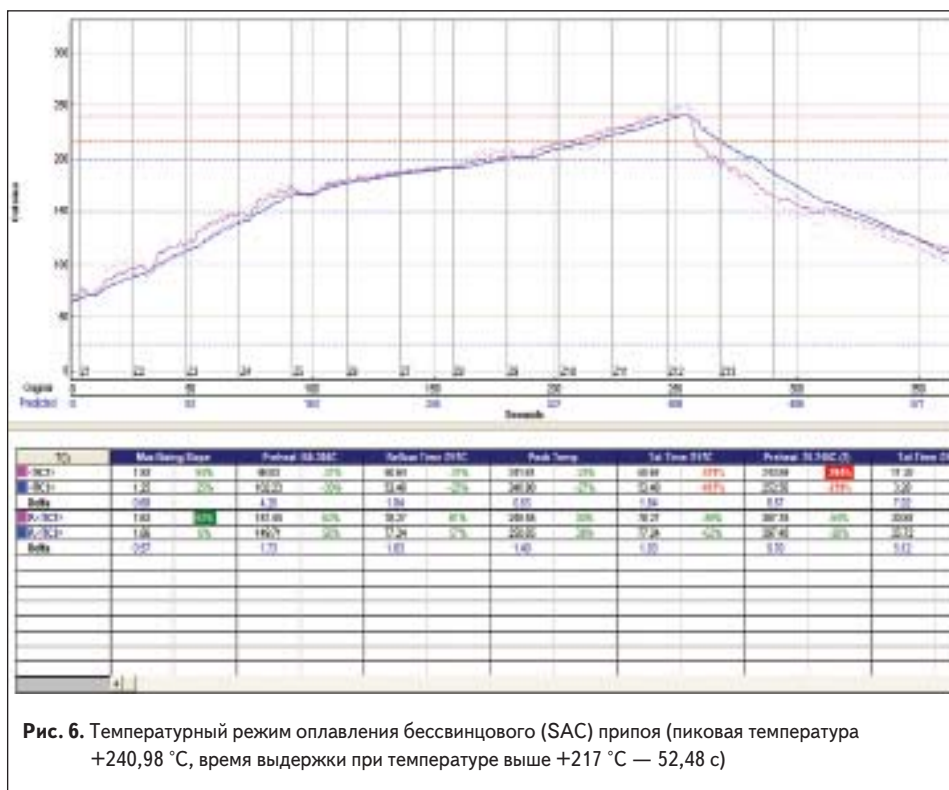


Рис. 6. Температурный режим оплавления бессвинцового (SAC) припоя (пиковая температура +240,98 °C, время выдержки при температуре выше +217 °C — 52,48 с)

покрытия (OSP) и иммерсионных покрытий (оловом, серебром).

Послойный состав плат MCPCB, использованных в данном исследовании, был следующим:

- XB-D — алюминиевая пластина основания 1,58 мм (0,062 дюйма), высокотемпературный (BT) диэлектрик 3 мил (0,076 мм), медная фольга 113,4 г (4 унции);
- XP-G — алюминиевая пластина основания 1,58 мм (0,062 дюйма), BT-диэлектрик 3 мил (0,076 мм), медная фольга 170,1 г (6 унций).

В данном исследовании применялась паяльная паста Indium 8.9 для оплавления на воздухе, не требующая отмывки, специально составленная для компенсации высокой температуры бессвинцовых систем сплавов олово–серебро–медь (SAC). Припой включает 96,5% олова (Sn), 3,0% серебра (Ag) и 0,5% меди (Cu) и относится к третьему типу по содержанию металла (88,75% по весу).

Мы производили нанесение паяльной пасты с помощью устройства для трафаретной печати MPM Momentum при толщине трафарета 6 мм и размере трафаретной рамы 73,7×73,7 см (29×29 дюймов). Контактная площадка в соотношении между размером апертуры и ее собственным размером была уменьшена на 10% для получения в целях настоящего исследования управляемого процесса образования пустот.

Технологическое оборудование, применявшееся в данном исследовании, приведено в таблице 2. Для сборки светодиода применялась монтажно-захватывающая установка JUKI FX-3.

Для процесса оплавления использовалась конвекционная печь оплавления Heller 1809 MK III с восемью зонами нагрева и одной зоной охлаждения. Пайка всех плат осуществлялась с помощью оплавления в условиях конвекционной продувки воздухом.

Бессвинцовые припои отличаются от свинец-содержащих своими физическими и металлургическими свойствами, а также технологическими параметрами, например точкой плавления, поверхностным натяжением, температурой предварительного нагрева, пиковой температурой, временем выдержки и удержания, а также поведением припоя при смачивании.

Температура плавления припоя Sn96.5 Ag3 Cu0.5 находится между +217 °C и +219 °C, что существенно выше по сравнению с эвтектическим припоем Sn63 Pb37 с его точкой плавления +183 °C. Более низкая пиковая температура может также потребовать более длительного времени выдержки после оплавления (TAL). Если компонент или плата обладают плохой паяемостью, эта более низкая температура обернется плохим затеканием припоя и уменьшенным растеканием [5]. Таким образом, формирование надежного паяного соединения зависит от времени и температурного режима процесса оплавления припоя, способности расплавленного припоя быстро и равномерно смачивать рельеф поверхности и взаимодействовать с ним для образования прочного интерметаллического слоя на этой поверхности [3]. Все эти факторы могут непосредственно влиять на формирование и надежность паяного соеди-

нения. Компания Cree рекомендует толщину спая после оплавления 3 мил (75 мкм), которую можно проверить с помощью оптического микроскопа с калиброванной шкалой. В данном исследовании эта рекомендация выполнялась.

График на рис. 6 показывает температурный режим оплавления припоя, использованный в данном исследовании.

В таблице 3 приведены параметры процесса оплавления припоя, использованные в данном исследовании. Обратите внимание на то, что все температуры относятся к верхней части корпуса светодиода и измерены на его поверхности. Светодиоды XLamp, использованные в исследовании, совместимы со стандартом JEDEC J-STD-020C.

После оплавления припоя паяные соединения визуально проверялись на предмет наличия их дефектов: холодная пайки, столбиков припоя, перемычек или «надгробных камней». Мы не наблюдали ни одного из этих дефектов.

Корпуса светодиодов были также проверены с помощью рентгеновского излучения для дальнейшей оценки качества паяного соединения и обнаружения пустот в припое между корпусом светодиода и платой. Дополнительные подробности операций монтажа и захвата, пайки и обработки, а также терморегулирования светодиодов XLamp компании Cree можно узнать в рекомендациях по применению на сайте Cree.

Рентгеновское исследование

Мы использовали систему Cougar Yxlon, формирующую рентгеновское изображение в реальном времени, для оценки сцепления припоя, чтобы найти разомкнутые контакты, короткие замыкания между контактами анода/катода и контактной площадкой, избыток припоя между контактными площадками и пустоты в припое. Образование пустот в припое обычно происходит по следующим причинам:

- Состав флюса паяльной пасты и припоя. По сравнению с оловянно-свинцовыми припоями бессвинцовые припойные сплавы демонстрируют более высокое поверхностное натяжение, которое увеличивает предрасположенность к образованию пустот в припое. Наличие агрессивного химического состава флюса в бессвинцовых припоях приводит к повышенному выделению газов и, соответственно, к увеличению количества пустот.
- Покрытие поверхности ППП, например OSP, иммерсионным серебром, золотом/никелем, HASL. Из-за плохого смачивания бессвинцовыми пастами по сравнению со свинец-содержащими припоями покрытие поверхности ППП играет очень важную роль в образовании пустот. Опыты с различными покрытиями поверхности ППП позволяют предположить, что покрытия из иммерсионного олова, иммерсионного серебра и бессвинцового HASL предпочтительнее для применения при бессвинцовой сборке [1, 3]. Компания Cree считает наилучшим вариантом наличие менее 30% пустот в припое, т. е. если припой отсутствует на менее чем 30% площади пайки.

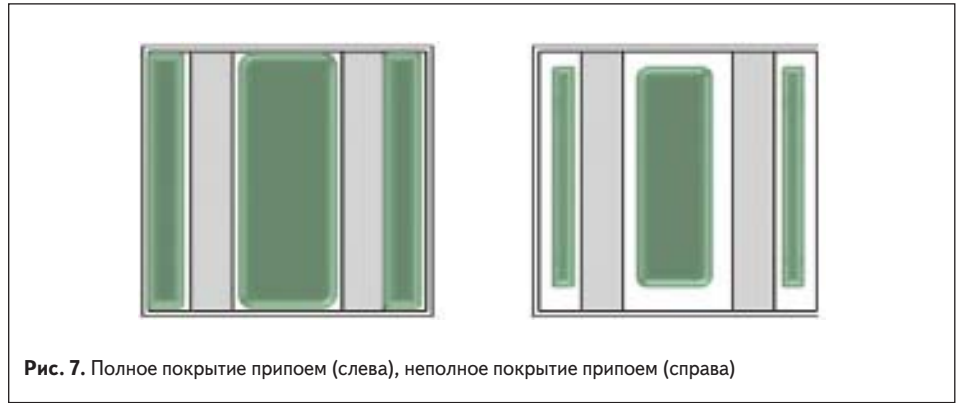


Рис. 7. Полное покрытие припоем (слева), неполное покрытие припоем (справа)

Cree также считает, что наличие более чем 50% пустот в припое приводит к отказам паяного соединения. Для данного исследования компания выбрала изучение надежности спая при наличии меньше 30% и больше 50% пустот в припое.

На рис. 7 показано различие внешнего вида при полном и неполном покрытии припоем. Припой на этих рисунках окрашен в зеленый цвет. Количество пустот при светодиодных корпусах XB-D, XP-G и XM-L HVW было в пределах 5–30%; их количество, превышающее 50%, наблюдалось в случае корпусов XM-L. Во всех этих приборах не наблюдалось каких-либо признаков избытка припоя между контактами катода/анода и контактными пло-

щадками. Наличие избыточного количества пустот в припое между корпусом светодиода и МСРСВ представляет особый интерес с точки зрения надежности, так как пустоты могут поставить под угрозу температурные характеристики и электрическую непрерывность цепи, вызывая увеличение термосопротивления между компонентом и ППП. На рис. 8 приведены рентгеновские изображения спая с менее чем 30% пустот в припое для корпусов светодиодов XP-G и XM-L HVW.

Мы умышленно уменьшили конструкцию паяльного шаблона XM-L, чтобы снизить площадь покрытия припоем под корпусом светодиода. Это уменьшение вызвало значительное образование пустот под светодиодом

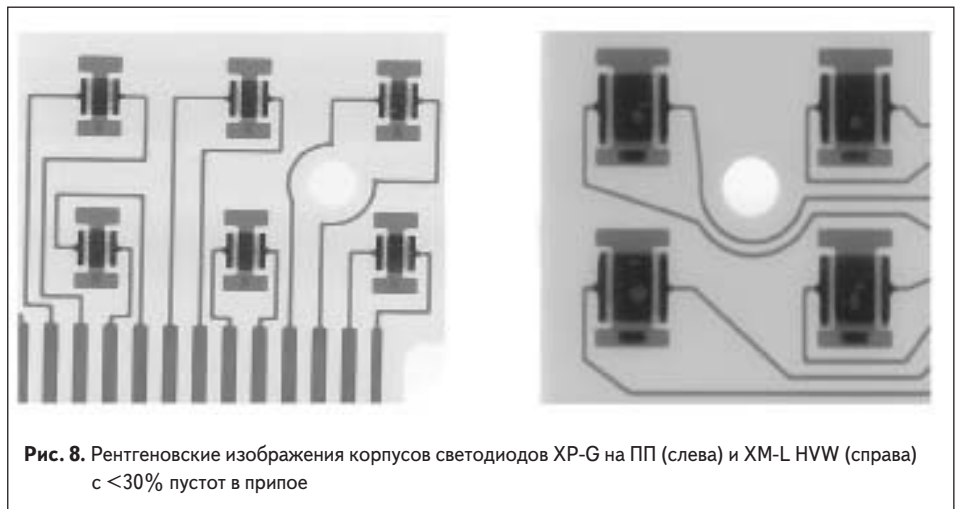


Рис. 8. Рентгеновские изображения корпусов светодиодов XP-G на ПП (слева) и XM-L HVW (справа) с <30% пустот в припое

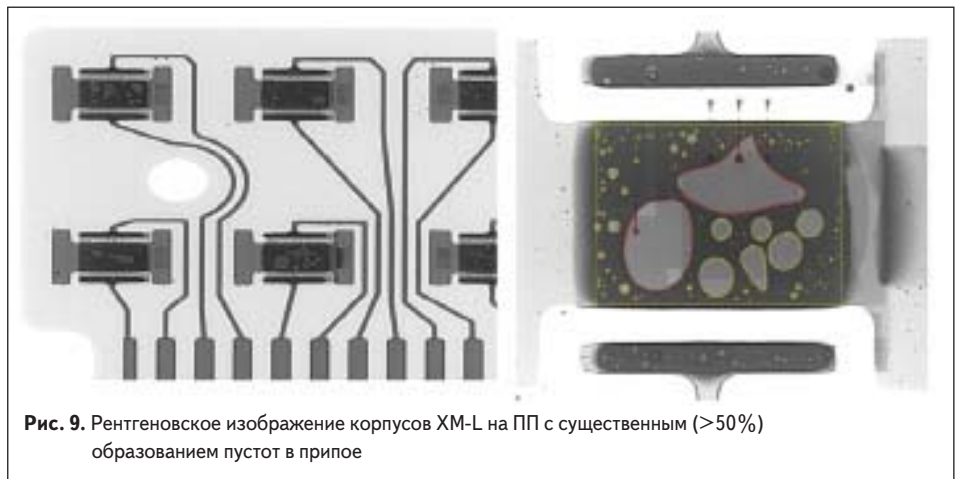


Рис. 9. Рентгеновское изображение корпусов XM-L на ПП с существенным (>50%) образованием пустот в припое

из-за недостатка припоя, что можно видеть на рис. 9. Такое уменьшение приводит к значительному образованию пустот в припое под корпусом светодиода из-за недостатка мачивающего припоя.

Испытания на термоудар

Наиболее ускоренным испытанием на усталостную прочность является термоудар, являющийся разновидностью термоциклирования с высокой скоростью изменения температуры [10]. Это осуществлялось путем поочередного перемещения испытуемого изделия между двумя «камерами»: одна из них с высокой температурой, например +125 °С, а другая — с низкой, например –40 °С, в течение определенного промежутка времени. При испытаниях на термоудар паяное соединение испытывает воздействие разницы температур в 165 °С между крайними их значениями. Во время быстрых изменений температуры между разными частями собранной платы проходят процессы расширения с большой разницей коэффициентов. Это напряжение вызвано не только различными величинами коэффициентов расширения, но и, что более важно, отличающимися друг от друга величинами температуры разных частей. Большие величины относительного расширения вызывают крупные пластические деформации в спаих, которые намного превышают те, что происходят при реальной эксплуатации, когда температуры меняются достаточно медленно. Поэтому ударное испытание приводит к значительному ускорению развития механизмов отказа, тем самым провоцируя потенциальные отказы за короткий период [10].

Режим испытания на термоудар

Испытания на термоудар 120 корпусов светодиодов XLamp (по 30 экземпляров четырех разновидностей светодиодов) основаны на методе 107G по стандарту MIL-STD-202G. При таком испытании каждое паяное соединение подвергается 2000 циклам термоударов от –40 до +125 °С вместо 200 циклов. Скорость изменения температуры при испытаниях на термоудар составляла 1,1 °С/с. В таблице 4 приводится режим испытания на термоудар.

После каждых 100 циклов испытания на термоудар производилось измерение нескольких параметров отдельных светодиодов на каждой плате — оптических (световой поток, координаты цветности, изменение цвета) и электрических (прямое напряжение, ток, ток утечки). Поскольку в качестве критерия отказа после испытаний на термоудар было указано «отсутствие светового излучения», фиксировалось время цикла, на котором прибор переставал светить. В таблице 5 показаны результаты.

Обычно прохождение 200 циклов испытания на термоудар считается приемлемой мерой долгосрочной надежности паяного соединения для светодиодов. Однако не существует особого метода прямой корреляции между прохождением 200 циклов испытаний на термоудар и прогнозированием срока службы паяного соединения при нормальных условиях

Таблица 4. Режим испытания на термоудар

Испытание	Используемые стандарты	Условия испытания и критерии отказа
Термоудар	MIL-STD-202G метод 107G	–40...+125 °С
		Время выдержки 15 мин
		<20 с
		2000 циклов
		Критерии отказа: после испытания светодиод не загорается

Таблица 5. Сводная таблица отказов после испытаний на термоудар (до 2000 циклов)

Светодиод	Размер светодиода, мм	Пустоты	Отказы при испытаниях на термоудар	Всего отказов
XB-D	2,45 2,45	<30%	0 после 2000 циклов	0
XP-G	3,45 3,45	<30%	1 после 1800 циклов	2
			1 после 2000 циклов	
XM-L HVW	5,00 5,00	<30%	1 после 1200 циклов	4
			1 после 1350 циклов	
			1 после 1850 циклов	
			1 после 2000 циклов	
XM-L	5,00 5,00	>50%	1 после 600 циклов	10
			1 после 700 циклов	
			1 после 800 циклов	
			1 после 1000 циклов	
			1 после 1100 циклов	
			1 после 1200 циклов	
			1 после 1350 циклов	
			1 после 1675 циклов	
			1 после 1850 циклов	
			1 после 2000 циклов	

эксплуатации. Соответственно, смысл испытания на термоудар состоит в возможности непосредственного сравнения количества циклов до отказа для различных размеров корпусов и материалов. Для этих испытаний все светодиоды были подвергнуты 2000 циклов (в 10 раз больше нормы) типичных испытаний на термоудар.

Мы наблюдали отсутствие отказов светодиодов XB-D в течение до 2000 циклов, два отказа для XP-G, четыре отказа для XM-L HVW и десять отказов для XM-L. Результаты испытаний на термоудар показывают, что

большой по размеру корпус светодиода с более чем 50% пустот между ним и ППП отказывал гораздо раньше, чем светодиодные корпуса с менее чем 30% пустот в припое.

Анализ данных по отказам при испытаниях на термоудар с применением распределения Вейбулла

Есть несколько моделей прогнозирования усталостной прочности паяных соединений. Эти модели основаны на одном или на несколь-

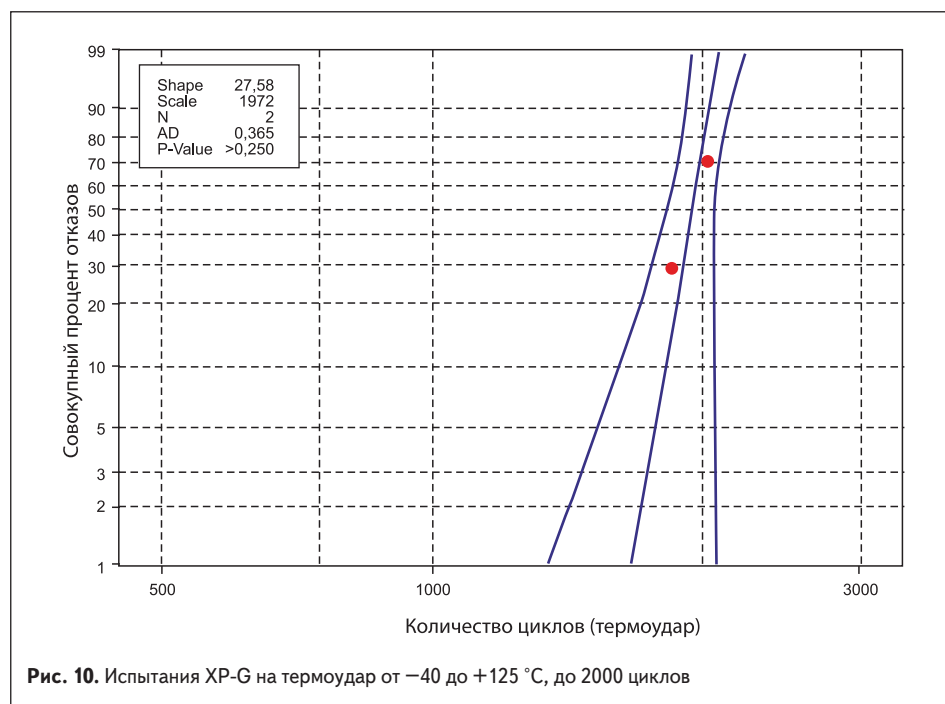


Рис. 10. Испытания XP-G на термоудар от –40 до +125 °С, до 2000 циклов

ких фундаментальных механизмах, которые могут вызвать повреждение спаи. Среди этих фундаментальных механизмов есть основанные на пластической деформации (усталостные модели Коффина-Мэнсона, Соломона, Энгельмайера и Майнера), на деформации ползучести (модель Сайеда), на энергии (усталостная модель Дарво) и на накоплении повреждений [11].

Данные испытаний на термоудар были проанализированы с помощью распределения Вейбулла. Для моделирования данных по отказам для корпусов светодиодов XLamp в этом исследовании использовались графики распределения вероятностей по Вейбуллу. Распределение двух параметров по Вейбуллу определяется параметрами формы и масштаба. Вейбулловское распределение времени до отказа применялось для согласования циклов с данными об отказах.

Использовалось следующее уравнение:

$$F(N) = 1 - \exp(-N/N_0)^m$$

где $F(N)$ — функция распределения времени до отказа, N — количество термоциклов, N_0 — параметр масштаба, называемый характерным сроком службы, который измеряется количеством циклов, при котором происходит 63,2% отказов. Параметр формы m представляет форму кривой Вейбулла. При увеличении m уменьшается разброс по количеству циклов до отказа. Параметр формы с величиной от двух до четырех считается вполне нормальным. Величина параметра формы меньше двух описывает асимметричную кривую, сдвинутую вправо, а величина параметра формы больше четырех описывает асимметричную кривую, сдвинутую влево.

Анализ данных о наработке на отказ с применением распределения по Вейбуллу выполнялся с помощью статистической программы Minitab.13. На рис. 10–12 приведены графики распределения вероятностей по Вейбуллу для трех светодиодов, отказавших до окончания испытаний на термоудар из 2000 циклов.

Графики распределения вероятности по Вейбуллу демонстрируют, что спаи под меньшими корпусами светодиодов с менее чем 30% пустот показывают лучшие результаты, чем спаи под более крупными светодиодными корпусами с менее чем 30% пустот. И наоборот, увеличение процента пустот до более чем 50% приводит к худшим показателям надежности паяного соединения. Характерный срок службы паяных соединений также проявляет сильную зависимость от процента пустот, притом что более низкий процент пустот коррелирует с более высоким характерным сроком службы.

Виды отказов, вызванных термоударом

Хорошо известно, что терморегулирование является одним из самых важных факторов, определяющих долгосрочную надежность высокоомощных светодиодов. Большинство электронных отказов носят термомеханиче-

ский характер, то есть происходят в результате температурных напряжений и деформаций или явлений переноса, ускоренных при высоких температурах. Эти термомеханические отказы относятся к категории внешних отказов, потому что они часто затрагивают электронный монтаж.

Во внеэксплуатационных испытаниях, например на термоудар, резкие смены температуры вызывают сопутствующую деградацию спаи, приводящую к росту интерметаллических соединений (ИМС) и повреждению вследствие термической усталости. Отказы из-за термической усталости — один из самых частых видов отказа, связанных с пайкой бессвинцовым припоем и приписываемых различиям между

коэффициентами температурного расширения (КТР) материалов. Различия КТР ответственны за развитие напряжений и механических деформаций на границе между материалами, которое приводит к возникновению усталостных трещин и проникновению их в паяные соединения. КТР является ключевым свойством материалов, которое количественно определяет степень возможного расширения или сжатия материала в результате изменения температуры [8].

В данном исследовании мы изучали поверхность раздела паяного соединения с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), рентгеновской топографии и оптической спектроскопии для оценки целостности

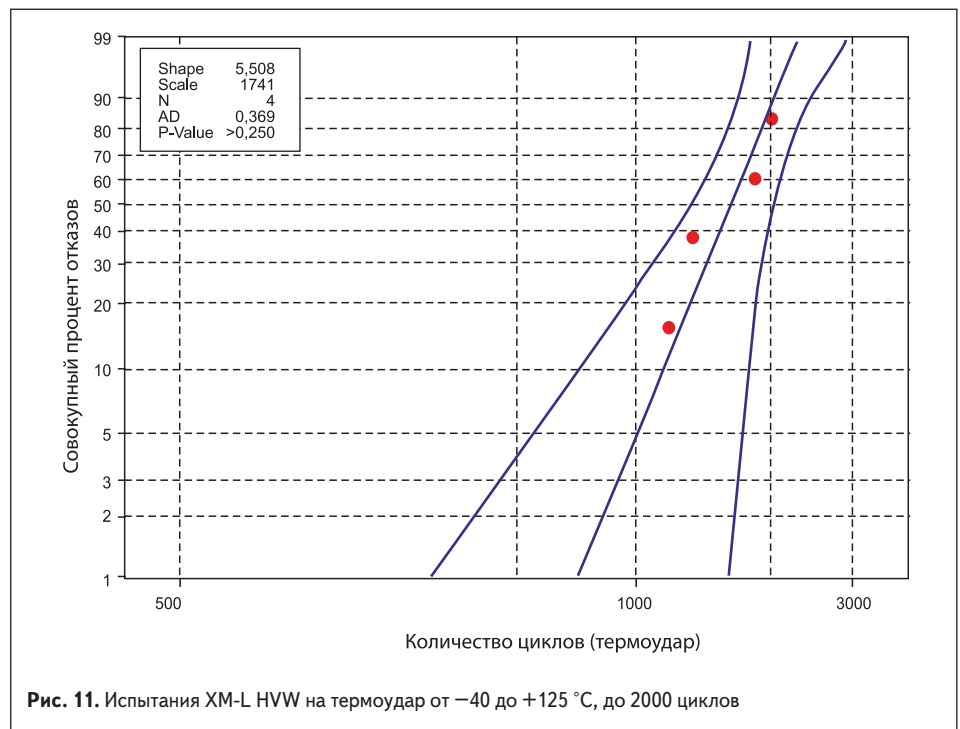


Рис. 11. Испытания XM-L HVW на термоудар от –40 до +125 °С, до 2000 циклов

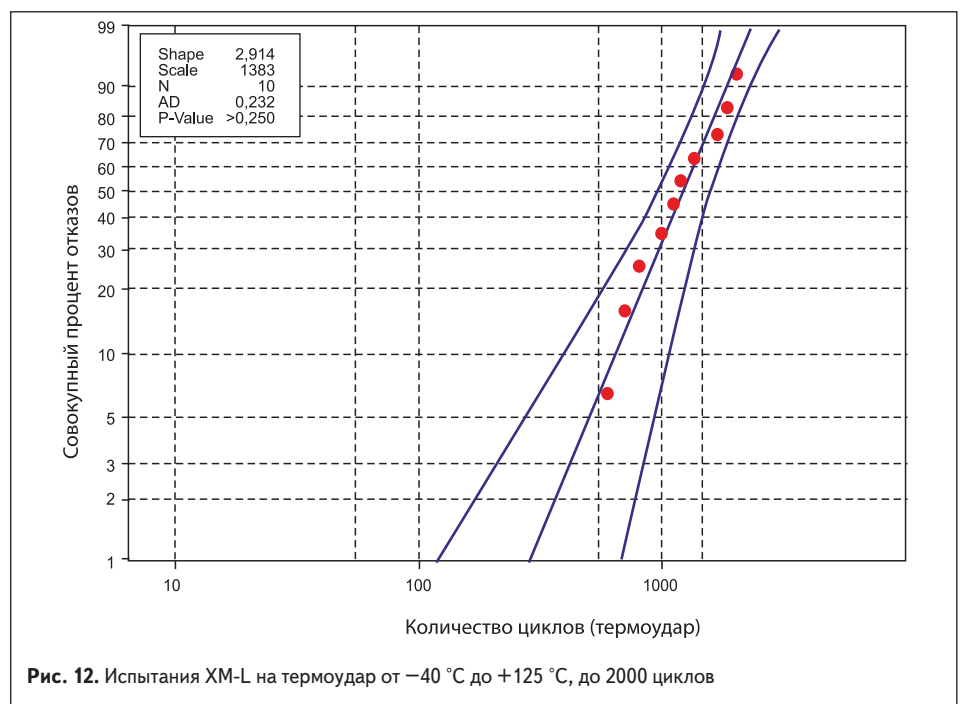


Рис. 12. Испытания XM-L на термоудар от –40 °С до +125 °С, до 2000 циклов

соединений и прогнозирования возможных видов усталостных отказов.

Поперечные срезы отказавших спаев выявили трещины в толще припоя на стороне ком-

понента. Эти образцы продемонстрировали микроструктуру, типичную для отказов из-за термомеханической усталости в бессвинцовых припойных сплавах.

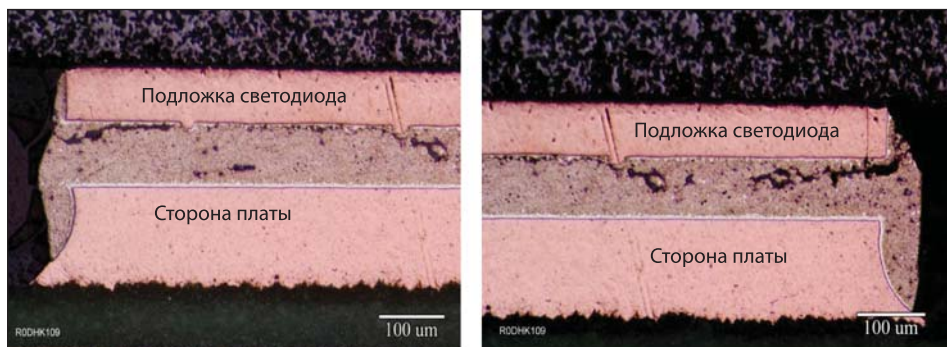


Рис. 13. Паяное соединение ПП со светодиодом XLamp в корпусе XB-D после испытаний на термоудар

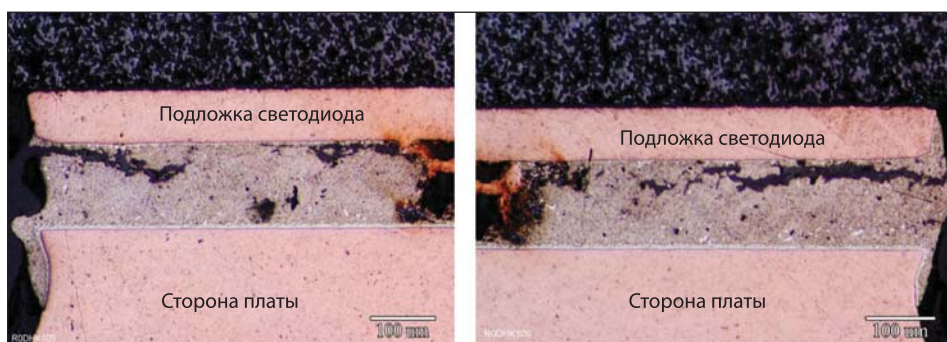


Рис. 14. Паяное соединение ПП со светодиодом XLamp в корпусе XP-G после испытаний на термоудар

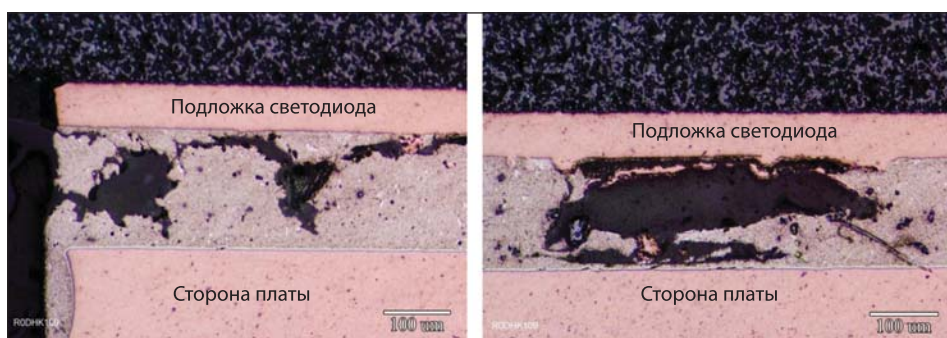


Рис. 15. Паяное соединение ПП со светодиодом XLamp в корпусе XM-L после испытаний на термоудар. После процесса пайки оплавлением более 50% пустот находились под корпусом светодиода XM-L

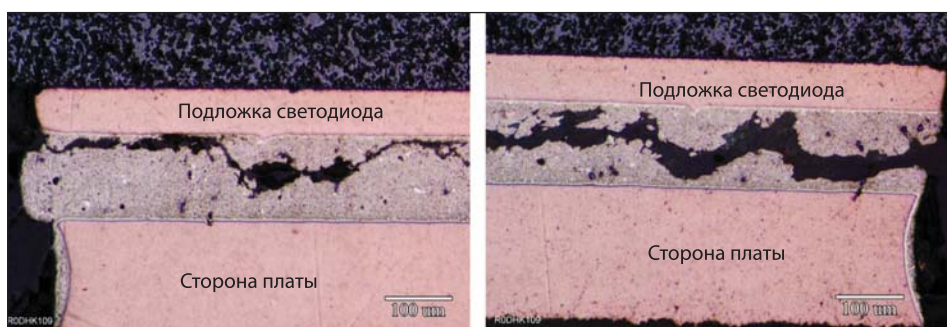


Рис. 16. Паяное соединение ПП со светодиодом XLamp в корпусе XM-L HVW после испытаний на термоудар

Оценка паяного соединения

Микроструктура паяного соединения

Для рассмотрения поведения паяных соединений после испытаний на термоудар был проведен анализ шлифов поперечного сечения, результаты которого показаны на рис. 13–16. Шлифы отказавших спаев показывают, что во всех четырех корпусах светодиодов усталостная трещина начинается на краю припоя. Большинство таких трещин присутствует между зернами олова и серебра внутри припоя там, где его мало, и продолжается по всей длине припоя в направлении самой большой деформации [9].

Изучение шлифов показало наличие трещин припоя, доходящих до краев паяного соединения, где сосредоточены самые большие механические напряжения. Эти трещины, возникшие в толще припоя, проходят от одного края паяного соединения до другого, ухудшая электрические характеристики и становясь потенциальными причинами механического разрушения спаев. Хотя оба светодиода имели менее 30% пустот, трещины паяного соединения под корпусом XB-D, самым маленьким в данном исследовании, были не столь интенсивны, как под XM-L HVW, подложка которого более чем в четыре раза превышает площадь поверхности XB-D.

На основе этих наблюдений мы сделали вывод, что размер корпуса светодиода имеет существенное влияние на развитие трещин в спае. Хотя оба светодиода имели менее 30% пустот, в спаев под корпусом XM-L HVW, самым большим в данном исследовании, обнаружилось наибольшее количество повреждений паяного соединения по сравнению с XB-D, самым маленьким светодиодным корпусом в данном исследовании.

Трещины паяного соединения под более крупными корпусами оказались сплошными, идущими от одного края припоя до противоположного, нигде не прерываясь. Фотографии шлифов показывают появление трещин на обеих сторонах — компонента и ПП. Однако интенсивность трещин на стороне компонента была более высокой.

На рис. 17 приведена СЭМ-микрофотография шлифа корпуса XB-D, на которой видны трещины паяного соединения после испытаний на термоудар, направленные к стороне компонента.

Анализ спаев XM-L HVW методом рентгеновской топографии показал присутствие интерметаллических фаз с серебром и оловом (Ag_3Sn), а также медью и оловом (Cu_6Sn_5) [7]. Эти интерметаллические соединения хрупки по своей природе, и трещины спаев возникнут именно в данных областях.

Заключение

В данном исследовании изучалась надежность бессвинцовых паяных соединений между корпусами светодиодов XLamp разных размеров посредством испытаний на термоудар в интервале температур $-40...+125$ °C. Анализ срезами рентгеновской топографии продемонстрировал

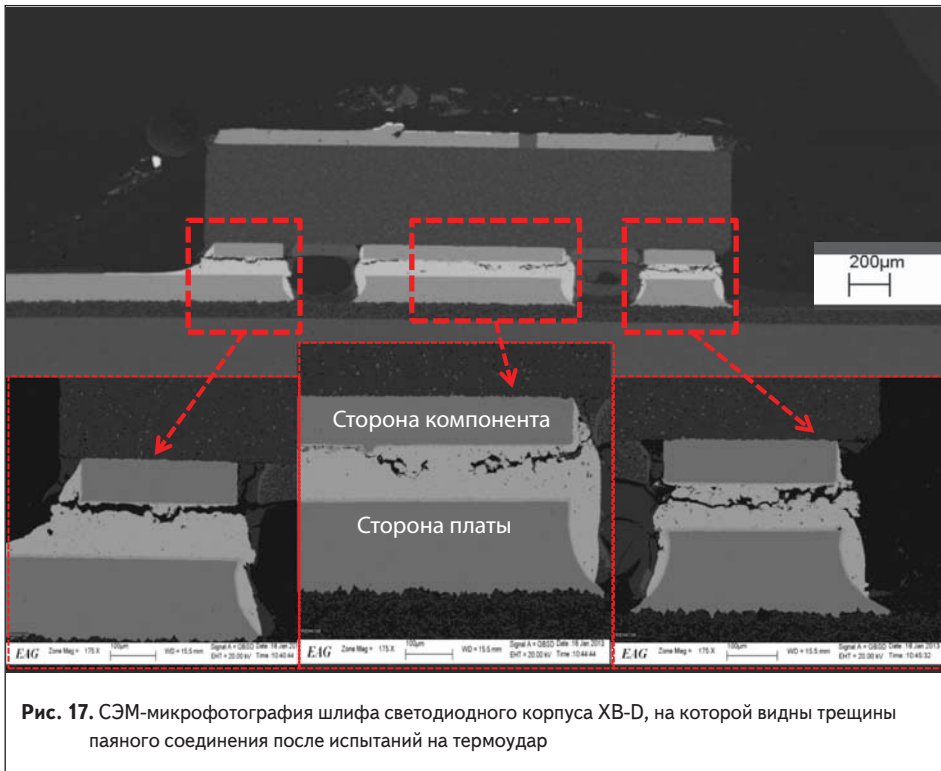


Рис. 17. СЭМ-микрофотография шлифа светодиодного корпуса XB-D, на которой видны трещины паяного соединения после испытаний на термоудар

образование различных интерметаллических фаз серебро–олово и медь–олово. Эти хрупкие интерметаллические фазы при определенных эксплуатационных условиях могут ослабить спай. Отказы вследствие температурной усталости связываются с бесвинцовыми паяными соединениями и возникают из-за разницы КТР материалов. Различия КТР ответственны за развитие напряжений и механических деформаций на границе между материалами, которые приводят к возникновению усталостных трещин и проникновению их в паяные соединения.

Использованная методика исследований была основана на спецификации JEDEC JESD22-A104D, условия испытаний G (–40...+125 °C), режим выдержки 4 (15 мин.). Результаты испытаний показали сильную зависимость надежности паяного соединения от размера корпуса светодиода и процента пустот в припое. Больше количество пустот в припое хуже меньшего их количества, и большие размеры подложки заметно хуже, чем малые. Необходимо отме-

тить, что, хотя данное исследование дает возможность непосредственно сравнивать разные типы изделий, процессы или материалы, эта методика JEDEC не позволяет экстраполировать его результаты на то, что часто называют условиями «реального мира», где температурные пределы и скорости охлаждения и нагрева намного менее действенны.

В заключение компания Cree рекомендует ради избежания преждевременных отказов паяных соединений всегда использовать схему нанесения припоя на контактную площадку, паяльную пасту и график оплавления припоя для светодиодов XLamp в соответствии с рекомендациями документации компании Cree по пайке и обработке.

Литература

1. E. Tormey, R. Raut, W. Bent, R. Pandher, B. Singh, R. Bhatkal. Low Voiding Reliable Solder Interconnects for LED Packages on Metal Core PCBs. alphacpmd.com/~media/Files/

CooksonElectronics/ETormey%20et%20al%20SMTAI%202011%20Final%2008082011.pdf

- Robert W. Herrick. FA Handbook. Chapter 5. Special Devices, Failure Analysis and Reliability of Opto Electronic Devices.
- Solder Joint Reliability. www.rohmhaas.com/electronicmaterials/interconnect_technical_site/attachments/Tech%20comm_%20Jul%2008%20English.pdf
- J. J. Pan, J. Wang, D. M. Shaddock. Lead-free Solder Joint Reliability // State of the Art and Perspectives, International Microelectronics and Packaging Society-JMEP. V. 2. № 1. 2005.
- P. Biocca. Lead-free Defects in Reflow Soldering. www.smta.org/chapters/files/smta-gdl_Lead_free_Reflow_Defects_How_to_Prevent_Them.pdf
- L. P. Lehman, R. K. Kinyanjui, L. Zavalij, A. Zribi, E. J. Cotts. Growth and Selection of Intermetallic Species in Sn-Ag-Cu No-Pb Solder Systems Based on Pad Metallurgies and Thermal Histories // IEEE Electronic Components and Technology Conference. 2003.
- J. Ihringer. Reliability of LEDs and LED Based Luminaires for Outdoor Applications. LED Symposium Expo.
- A. MacDiarmid. Thermal Cycling Failures — Part One of Two, Quanterion Solutions, Inc // The Journal of the Reliability Information Analysis Center-January. 2011.
- P. Ratchev, B. Vanderveelde, I. de Wolf. Reliability and Failure Analysis of Sn-Ag-Cu Solder Interconnections of PSGA packages on Ni/Au Surface Finish.
- R. J. Klein Wassink. Soldering in Electronics, Second Edition, A Comprehensive Treatise on Soldering Technology for Surface Mounting and Through-Hole Techniques // Electrochemical Publications Limited. 1989.
- W. W. D. van Driel, X. J. Fan (Ed). Solid State Lighting Reliability // Components to Systems. Solid State Lighting Technology and Application Series.
- M. Yonus, K. Srihari, J. M. Pitarresi, A. Primavera. Effect of Voids on the Reliability of BGA/CSP Solder Joints. // Microelectronics Reliability № 43. 2003.
- D. Bernard, K. Bryant. Does PCB Pad Finish Affect Voiding Levels in Lead-free assemblies? www.nordson.com/en-us/divisions/dage/support/Literature/Documents/Pad_finish.pdf