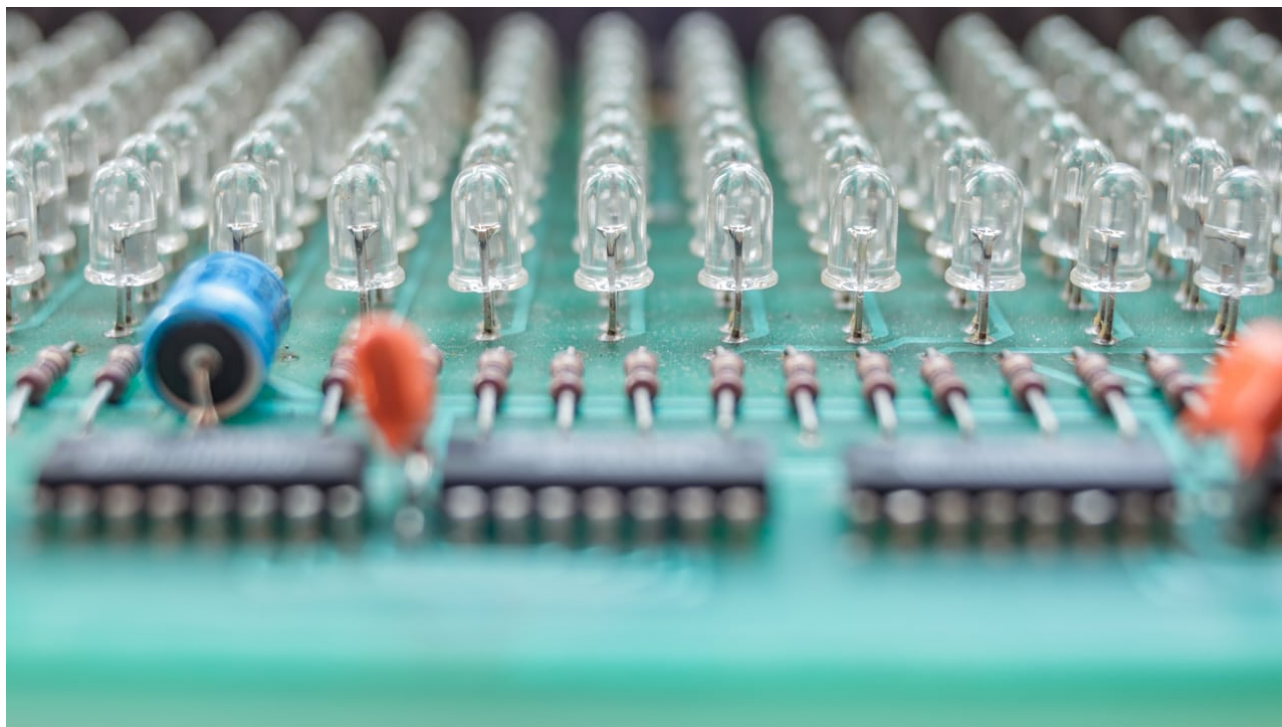


Срок службы паяных соединений светодиодов с быстрым циклом

12 марта 2020 г. GA (Wendy) Luiten

Aerospace, Статьи, Автомобили, Связь, Потребители, Оборона, Промышленность, Светодиод / Освещение



Перепечатано из номера за июнь 2014 года

АКТИВНЫЕ светодиоды в потребительском телевизионном продукте усиливаются и тускнеют с содержанием видеоизображения. Увеличение и уменьшение яркости светодиодов является мощным средством для улучшения визуального восприятия, либо путем применения активных светодиодов в функции освещения окружающей среды, либо путем затемнения и усиления светодиодов на видеодисплее с прямым освещением. Активное управление светодиодами также является важным фактором в управлении температурным режимом видеодисплея [1, 2]. Однако активное управление светодиодами увеличивает количество температурных циклов на несколько порядков, и хорошо известно, что термоциклирование приводит к так называемому разрушению паяного соединения с низким циклом усталости. Как тогда активное управление светодиодами повлияет на срок службы светодиодных паяных соединений в телевизионном продукте?

УСТАЛОСТЬ ПРОДАВЦОВ В ДЛИТЕЛЬНОМ ВЕСЕ

Коренная причина усталостного разрушения паяного соединения с низким циклом заключается в том, что при деформации паяного соединения возникает термическое рассогласование между компонентом и печатной платой. Предположим, что светодиод SMD (устройство поверхностного монтажа) подвергается мгновенному повышению температуры ΔT при $t = 0$ с. Это приводит к тепловой деформации сдвига ϵ_T в паяном соединении, пропорционально изменению температуры, $\epsilon_T \sim \Delta T$. при $T = 0$ s, вся тепловая деформация берется упруго. По закону Гука, напряжение сдвига σ пропорциональна упругой деформации ϵ ; $\sigma = G \cdot \epsilon$ с постоянной пропорциональности G , припой в модуль сдвига $G = E$. Таким образом, при мгновенном повышении температуры $\sigma_0 = G \cdot \epsilon_e = G \cdot \epsilon_T$. В более длительные

периоды припой начинает ползти, то есть течет очень медленно, и часть тепловой деформации принимается за деформацию ползучести ϵ_c . Это снижает упругую деформацию и стресс ослабляет.

$$\sigma = G \cdot \epsilon_e = G \cdot (\epsilon_T - \epsilon_c) \quad (1)$$

Когда деформация ползучести равна термической деформации, $\epsilon_c = \epsilon_T$, упругая деформация равна нулю, и в суставе нет напряжений. Если температура затем опускается на $-\Delta T$, изменение температуры, по отношению к ситуации в свободных от стрессов, снова вызвать термическое несоответствие, которое снова будет вызывать стресс в паяном соединении, $-\sigma_0$, который будет снова отдохнуть от стресса до ползучести припоя. Таким образом, температурные циклы приводят к циклическому нагружению, ползучести и релаксации напряжений в паяном соединении. Диаграмма напряжение против ползучести, деформации показана на *рисунке 1*.

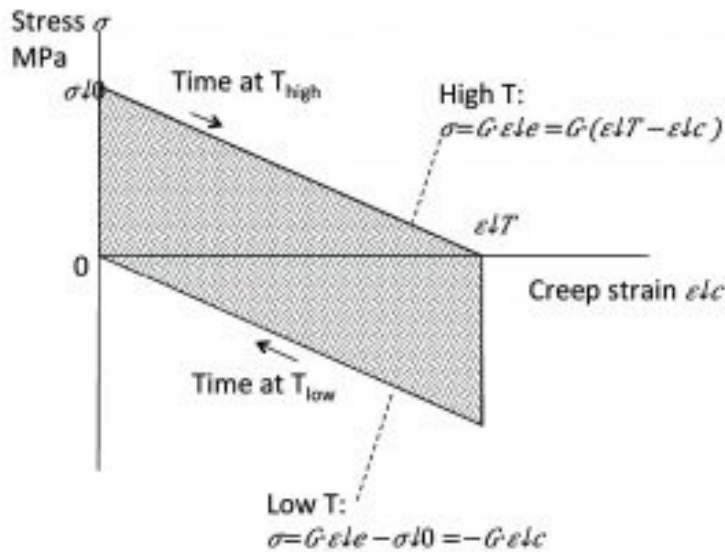


Рисунок 1: Напряженно-ползучая деформационная петля от циклической тепловой нагрузки.

В каждом цикле наносится ущерб, пропорциональный площади внутри петли деформации ползучести. Разрушение паяного соединения происходит, когда общее накопленное повреждение при ползучести превышает определенное значение S , которое обычно определяется с помощью ускоренного испытания. На *рисунке 1* показано, что площадь внутри петли для полного цикла ползучести до ситуации в свободной от стрессов равняется $\sigma_0 \cdot \epsilon_T$. Отсюда следует, что площадь петли пропорциональна ΔT^2 :

$$\text{Площадь} = \sigma_0 \cdot \epsilon_T = G \epsilon \epsilon_T^2 \sim \Delta T^2 \quad (2)$$

Подобная связь также обнаружена в законе усталости низкого цикла Коффина-Мэнсона [4], в работе Энгельмайера [5, 6] и Норриса-Ландзберга [10] в форме показателя усталости, который примерно соответствует значению 2. квадратичная зависимость является также основой для общего правила проектирования, касающееся количество циклов до отказа в операции N_F с числом циклов до отказа $N_{\text{испытаний}}$ в ускоренном тесте с ΔT ; t температуры развертки испытанием:

$$N_f = \frac{N_{\text{test}} (\Delta T_{\text{test}})^2}{\Delta T^2} \quad (3)$$

Цикл усталости показан на *рисунке 1* появится только в том случае, если нагрев и охлаждение происходят мгновенно, и если время выдержки достаточно велико,

чтобы можно было расслабиться вплоть до ситуации без напряжения. Хорошо известно, что длительность времени линейного изменения и времени выдержки оказывает существенное влияние в тестах с ускоренным температурным циклом [7]. И модель Энгельмайера, и модель Норриса-Ландзберга включают в себя влияние времени поля и испытания в фактор времени в своих моделях. Однако не очевидно, что эти модели подходят для коротких временных циклов видео. Типичные тесты температурного цикла имеют не более одного порядка разности величин от теста к полевым условиям. Поскольку температурные эффекты преобладают над факторами ускорения, тогда становится трудно разделить временные эффекты с точностью. Кроме того, время жизни, параметры тестирования времени, и температуры испытаний сложным образом взаимосвязаны [10]; следовательно, разделение временных и температурных эффектов не позволяет экстраполировать с уверенностью. В качестве примера, отношения Энгельмайера были критически рассмотрены в [8] и показали, что они не являются надежными для нескольких случаев. Следовательно, использование существующих простых моделей, включающих эффекты времени цикла, непросто для коротких видеоциклов, и более точное численное исследование с использованием FEM часто невозможно из-за ограниченных ресурсов проекта.

Table 1. SAC Material Properties		
Parameter	Value	Unit
Schubert Model		
A	277984	s ¹
B	0.02447	MPa ⁻¹
C	6.41	
D	6500	K ⁻¹
Elastic Constraints		
E	mm x	MPa, T in Kelvin
ν	0.36	

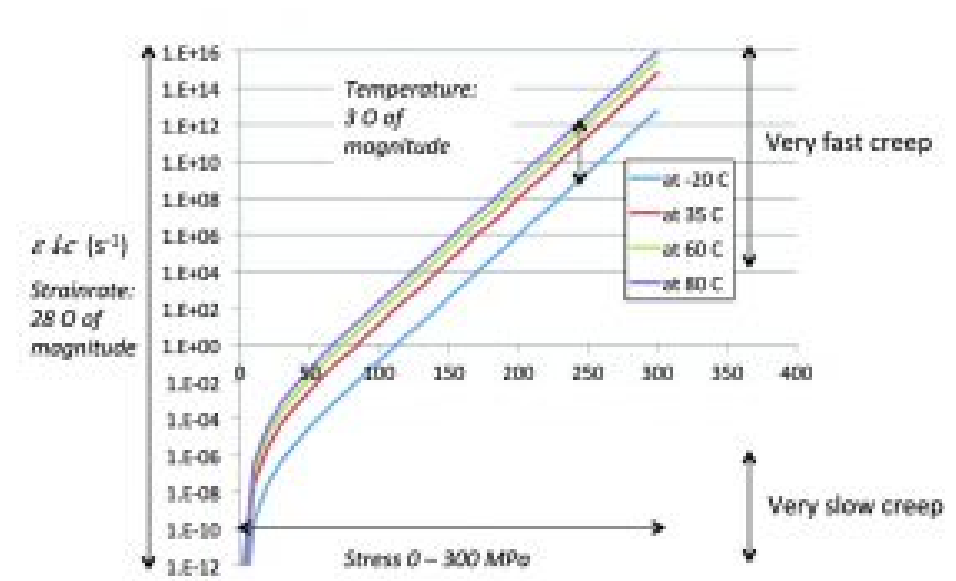


Рисунок 2: Скорость деформации ползучести $\dot{\epsilon}$ с (с-1) как функция напряжения σ (МПа).

УСТАЛОСТЬ ПРОДАВЦА В КРАТКОМ ВРЕМЕНИ

Целью данной работы является выяснение влияния коротких циклов на выход из строя припоя менее ресурсоемким способом, что позволяет улучшить оценку срока службы в безопасной инженерной оболочке. Прямая интеграция скорости деформации ползучести используется для определения того, сколько ползучести действительно произойдет за время цикла. Скорость течения или деформация ползучести припоя чрезвычайно зависят от напряжения и температуры. Согласно формулировке Сайеда модели Шуберта для бессвинцового припоя [9], скорость деформации ползучести является произведением зависящей от напряжения части $g(\sigma)$ и зависящей от температуры части $f(T)$.

$$g(\sigma) = A \{ \sinh(B\sigma) \}^C \quad (4)$$

$$f(T) = \exp\left(\frac{D}{T}\right) \quad (5)$$

$$\dot{\epsilon}_c = g(\sigma)f(T) = A \{ \sinh(B\sigma) \}^C \exp\left(\frac{D}{T}\right) \quad (6)$$

В таблице 1 приведены значения параметров материала от A до D, а также модуль упругости E и коэффициент Пуассона ν .

На рисунке 2 показаны рассчитанные скорости деформации ползучести для диапазона температур от -20°C до 85°C и диапазона напряжений 0-300 Па.

Это показывает, что скорость деформации сдвига изменяется на 28 порядков в диапазоне напряжений. При высоких уровнях напряжения чрезвычайно высокая скорость деформации ползучести немедленно ослабит напряжение до более низкого уровня, поэтому эта часть релаксации напряжения не будет стоить значительного времени. При низких напряжениях очень низкая скорость ползучести приведет к незначительной ползучести в диапазоне времени 1–104 с. Рисунок 2 также показывает, что скорость деформации ползучести изменяется на три порядка в диапазоне температур от -20°C до $+80^\circ\text{C}$. В отличие от таблицы 1, изменение модуля упругости в том же диапазоне температур составляет всего 14%. Следовательно, во всех последующих расчетах модуль сдвига будет приниматься при средней температуре высокой и низкой температуры.

Ползучесть во время цикла тесно связана с величиной релаксации напряжения. Кривые релаксации напряжений при определенной температуре получаются следующим образом: напряжение сдвига пропорционально деформации сдвига. Взяв производную по времени уравнения 1 и подставив уравнение 6:

$$\dot{\sigma} = -G\dot{\epsilon}_c = -G \cdot g(\sigma)f(T) \quad (7)$$

Для достаточно малых приращений $\Delta\sigma$ это можно использовать для определения времени, которое требуется для реализации приращения напряжения.

$$\Delta t = \frac{\Delta\sigma}{\dot{\sigma}} \quad (8)$$

Суммирование приращений времени, связанных с приращениями напряжений, приводит к приближению релаксации напряжений во времени. Вся схема легко реализуется в электронной таблице, как показано на рисунке 3. Соответствующие кривые релаксации напряжений при -20°C и $+85^\circ\text{C}$ показаны на рисунке 4.

$\epsilon \propto (T - T_0)$ from Schubert model

$$\sigma = G \epsilon \propto G(T - T_0)$$

$$\downarrow$$

$$\sigma = -G \epsilon \propto$$

$$dt = d\sigma / \dot{\sigma}$$

$$t = \int dt$$

$$\downarrow$$

$$\sigma(t)$$

T (°C)	-20				85		
T (K)	253				318		
G (Tpa)	15000				15000		
ultimate T (pa)	4.95400E-12				1.30240E-09		
shear stress	shear rate	n	exponent	n	shear stress	n	1-cumulative
MPa	MPa/s	n	n	n	MPa/s	n	n
152	8.171E-06	2.081E-06	2.081E-06	1.520E+10	1.441E-08	1.441E-08	1.441E-08
140	1.571E-05	1.899E-05	1.899E-05	8.821E+08	1.281E-08	1.281E-08	1.281E-08
120	1.321E-04	1.580E-04	1.580E-04	5.942E+07	1.001E-07	1.001E-07	1.001E-07
100	1.100E-04	8.130E-04	1.141E-03	2.052E+07	4.871E-07	4.871E-07	4.871E-07
180	1.241E-04	4.180E-04	1.601E-03	4.301E+06	1.081E-06	1.081E-06	1.081E-06
98	4.331E-02	2.130E-02	1.771E-02	8.480E+05	1.081E-06	1.081E-06	1.081E-06
98	8.971E-02	1.170E-01	1.891E-01	1.681E+05	1.081E-06	1.081E-06	1.081E-06
78	1.731E-01	5.801E-01	7.201E-01	2.121E+04	1.101E-04	1.101E-04	1.101E-04
68	1.131E-02	1.201E-02	1.921E-02	5.831E+03	1.711E-04	1.711E-04	1.711E-04
58	5.171E-01	1.811E-01	2.331E-01	9.681E+02	1.811E-02	1.811E-02	1.811E-02
48	7.151E-01	1.381E-01	1.631E-01	1.361E+02	7.361E-02	7.361E-02	7.361E-02
38	7.481E-01	1.141E-01	1.181E-01	1.401E+01	7.311E-02	7.311E-02	7.311E-02
28	4.071E-04	1.231E-04	1.381E-04	1.381E+04	6.351E+00	6.351E+00	6.351E+00
15	5.771E-05	8.671E-04	1.081E-03	1.081E-01	4.631E+01	4.631E+01	4.631E+01
18	3.981E-06	1.011E-05	6.051E-05	2.421E-08	2.751E+02	2.751E+02	2.751E+02
8	9.341E-07	1.141E-06	2.771E-06	1.781E-05	1.151E+03	1.151E+03	1.151E+03
6	1.441E-07	1.751E-07	1.671E-07	2.051E-04	7.421E+03	7.421E+03	7.421E+03
4	1.041E-08	1.871E-08	2.061E-08	1.981E-05	1.051E+04	1.051E+04	1.051E+04
2	1.211E-10	1.611E-10	1.641E-10	2.331E-07	8.641E+05	8.641E+05	8.641E+05

Рисунок 3: Реализация электронных таблиц.

Аналогичные кривые могут быть сделаны для разных начальных уровней напряжения и разных температур, и они используются для определения степени релаксации напряжения за определенное время ползучести. Впоследствии, цикл деформации ползучести напряжения может быть построен.

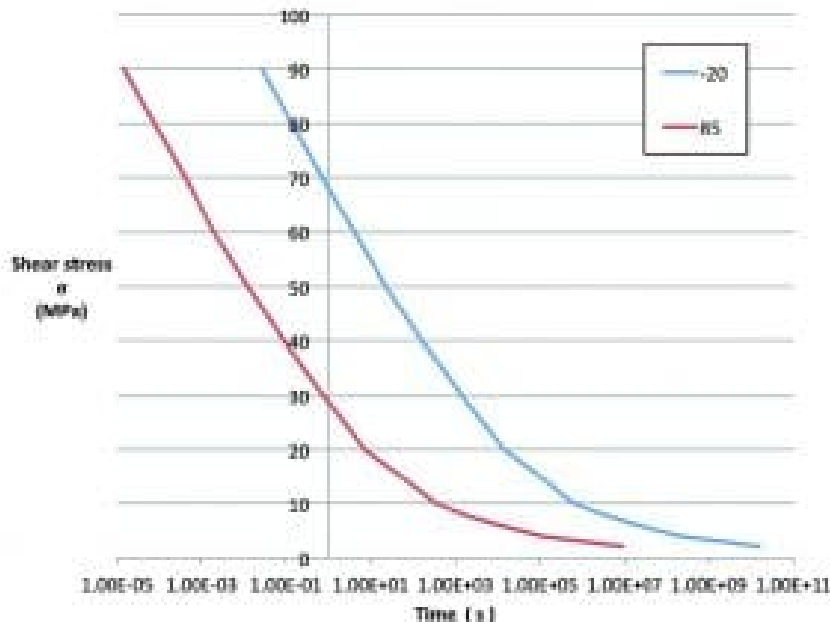


Рисунок 4: Кривые релаксации напряжений при -20 °C и +85 °C.

ВИДЕО LED ПРИМЕНЕНИЕ

Мы рассматриваем идеализированный температурный цикл с мгновенным изменением температуры и равным временем при высокой и низкой температуре. Интерес представляют четыре случая: а) ускоренное тестирование, б) цикл включения / выключения, в) длительный видеоцикл продолжительностью 100 с и г) короткий видеоцикл продолжительностью 5 с.

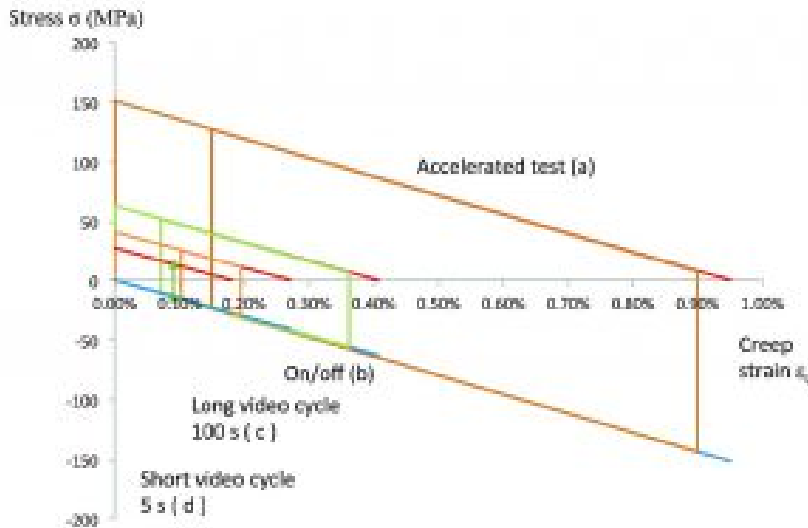


Рисунок 5: Напряженно-ползучие деформации петли.

На рисунке 5 показаны рассчитанные циклы напряжения / деформации ползучести, а в таблице 2 - подробности случая нагрузки и результирующая деформация ползучести. Во всех случаях, даже в ускоренном тесте, времена ползучести оказываются слишком короткими для полного ползучести. На рисунке 5 и в таблице 2 показано, что использование большого шага температуры в ускоренном тестовом случае работает так, как задумано: площадь цикла тестирования намного больше по сравнению с циклами использования. Таким образом, отказ будет ускорен, и значение энергии отказа может быть получено за более короткое время. Ползучесть в случае включения / выключения немного менее завершена по сравнению с ускоренным случаем. Поэтому с помощью ускоренного теста можно предсказать количество циклов до отказа в соответствии с нормальным правилом проектирования в уравнении 3 хорошо работает с ощутимой инженерной маржей $(79/71 - 1) = 11\%$. Это не относится к видео циклам. Если не принимать во внимание эффект короткого времени, это приводит к недооценке в 2 раза за время жизни для длинного видео цикла. В случае короткого видео цикла температурные отклонения все выполняются упруго, никакого ползучего повреждения не происходит, и использование уравнения 3 вообще не подходит. Это показывает, что для коротких циклов временной эффект должен учитываться для правильного прогнозирования срока службы паяных соединений.

Table 2. Load Cases							
		T_{low}	T_{high}	creep time	ΔT	ϵ_c	σ_c
	Case	°C	°C	s	°C		Mpa
a	Accelerated test	-20	85	3000	105	0.95%	152
b	on/off	35	80	3600	45	0.41%	63
c	long boost	60	90	100	30	0.27%	41
d	short boost	60	80	5	20	0.18%	27
							% full creep

РЕЗЮМЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Было исследовано влияние короткого времени ползучести на усталостное разрушение SMD светодиодов с низким циклом. Было показано, что для идеализированного случая с мгновенным изменением температуры, полным ползучестью, то есть релаксацией напряжений до уровня без напряжения, и с независимыми от температуры упругими модулями, повреждение ползучести за цикл пропорционально ΔT^2 . Прямое интегрирование использовалось для построения кривых релаксации напряжений, включающих сильно нелинейное поведение бессвинцового припоя согласно модели Сиеда / Шуберта; они были использованы для построения упрощенного цикла усталость напряжение-деформация, включающего эффект времени ползучести. Применение активных светодиодов в телевизионном продукте продемонстрировало обоснованность ускоренного тестирования и T^2 Правило разработки для циклов включения / выключения продукта. Напротив, это не относится к типичным временам цикла видео.

Короткое время цикла учитывает только частичную ползучесть, нанося меньший ущерб за цикл, и поэтому использование нескорректированного правила проектирования приводит к недооценке срока службы паяного соединения. При очень коротких временах цикла циклическое тепловое рассогласование принимается полностью в упругих отклонениях без ползучести вообще, а низкая усталость цикла не является подходящим режимом отказа. Хотя сложность цикла усталости паяного соединения была значительно упрощена в работе, было показано, что этот подход полезен для выяснения основных эффектов при усталости при низком цикле пайки и для обеспечения правильных инженерных оценок первого порядка с использованием только коммерческой электронной таблицы.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Поддержка Philips Research и сайтов TP Vision Innovation Эйндховен и Брюгге с благодарностью признана.

ССЫЛКИ

[1] Луитен, Г. А., Глава 14, «Проблемы с температурой в технологиях светодиодных дисплеев: современные» в CJM Lasance, А. Поппе (ред.), Управление температурным режимом для светодиодных приложений, 1 Solid State Light Technology and Application Series 2, DOI 10.1007 / 978-1-4614-5091-7_14, июль 2013 г.

[2] Луитен Г.А. и тер Вим, BJW (2011), «Управление тепловым режимом светодиодного ЖК-телевизора», Журнал Общества информационного дисплея, 19: 931–942. doi: 10.1889 / JSID19.12.931.

[3] Ван Дризэль В.Д., Юань К.А., Ко С., Чжан Г.К. (2011) «Надежность светодиодной системы», 12-е место. Int. Conf. Тепловое, механическое и мультифизическое моделирование и эксперименты в микроэлектронике и микросистемах EuroSimE 2011, стр. 1 / 5–5 / 5.

[4] [http://en.wikipedia.org/wiki/Fatigue_\(material\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Fatigue_(material)), последняя информация получена 15 июня 2013 года.

[5] Энгельмайер В. «Достижение надежности соединения припоя в бессвинцовом мире, часть 1», Global SMT & Packaging, Vol. 3, № 6, июнь 2007 г., с. 40-42.

[6] Энгельмайер В. «Достижение надежности соединения припоя в бессвинцовом мире, часть 2», Global SMT & Packaging, Vol. 7, № 8, август 2007 г., стр. 44-46.

[7] Ю.С. Чан и С.В. Рики Ли, «Детальное исследование накопления повреждений при ползучести бессвинцовых паяных соединений при циклическом ускорении температуры». Int. Conf. по тепловому, механическому и мультифизическому

моделированию и экспериментам в микроэлектронике и микросистемах, EuroSimE 2010.

[8] Прити Чаухан, Майкл Остерман, С.В. Рикки Ли и Майкл Пехт, «Критический обзор модели Энгельмайера для устойчивости к усталостному соединению припоя» IEEE Операции с компонентами и упаковочными технологиями, Vol. 32, № 3, сентябрь 2009 г.

[9] Ахмер Сайед, «Модели прогнозирования накопленной деформации ползучести и тепловой плотности, основанные на термической усталости, для соединений припоя SnAgCu», первоначально опубликованные 54-й ECTC 2004, (стр. 737 - 746), исправленная версия восстановлена 06052010 [http://ansys.net/ ANSYS / документы / asyed_ectc2004_corrected.pdf](http://ansys.net/ANSYS/документы/asyed_ectc2004_corrected.pdf)

[10] Майкл Остерман, «Влияние температурных циклических параметров (выдержка и средняя температура) на долговечность бессвинцовых припоев» Зимний симпозиум IMAPS в Чесапикской области 27 января 2010 г.

ОБ АВТОРЕ

Г.А. (Венди) Люитен