

Собственный монтаж светодиодных модулей

Антон Шаракшанэ,
 iva2000@gmail.com,
Евгений Шулика,
 evlavgen@gmail.com

В условиях гибкого производства светодиодных модулей количество организационных мероприятий и время сопровождения заказа «на монтаж» становятся настолько большими, что во многих случаях целесообразно осуществлять монтаж самостоятельно. Это не только удобно, но и надежно.

НАДЕЖНОСТЬ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЯЕТСЯ КАЧЕСТВОМ ПАЙКИ

Многие контрактные производители имеют отличное оборудование, ответственно относятся к своей работе, производства сертифицированы по ISO-9001. Но если, как это часто бывает, основной критерий выбора контрактного производства – низкая цена за точку пайки, а опыта работы с данным производителем у заказчика нет, то можно ожидать «приключений».

Пример: светящиеся буквы, установленные на крупном и очень важном объекте, начали выходить из строя. Время от времени одна из букв в надписи не загоралась. Главный инженер объекта фотографировал эту букву для протокола и, не без удовольствия, сообщал о ситуации в компанию, которая эту светящуюся надпись установила. В считанные часы ремонтная бригада выезжала на объект и ночью, на высоте, в мороз и под ветром демонтировала и заменяла несветящуюся цепь вместе с источником питания. При этом после демонтажа цепи отследить место разрыва и выяснить причину неисправности было почти невозможно.

Через несколько вечеров не загоралась следующая буква, и снова бригада срочно выезжала на ремонт. Протокол у главного инженера за-

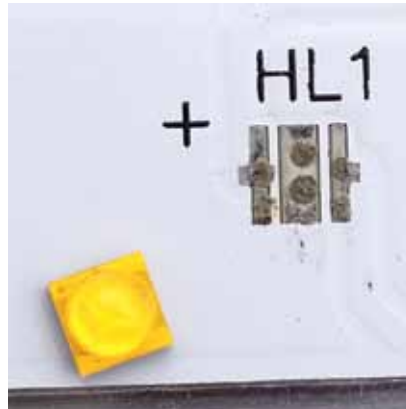


Рис. 1. Холодная пайка привела к потере контакта, выходу из строя осветительной системы.

казчика становился все весомей, и становилось ясно, что латание дыр не поможет, необходима полная замена оборудования. В очередной вечер на объект выехало все руководство компании, и вместе с ремонтной бригадой на месте был проведен анализ причин выхода цепей из строя.

Причина стала ясна, когда заметили упавший с печатной платы при демонтаже светодиодных модулей светодиод. Паяльная паста под светодиодом осталась нерасплавленной

и лишь немного спеклась, механически удерживая светодиод на плате (см. рис. 1). Небольшое напряжение из-за термических деформаций при включении модулей приводило к потере контакта, и цепь разрывалась. Печатная плата с алюминиевым основанием и диоды Cree не дали гарантий надежности светодиодного модуля – некачественная пайка свела на нет всю пользу от применения дорогих комплектующих.

ГЛАВНОЕ В ПАЙКЕ СВЕТОДИОДНЫХ МОДУЛЕЙ – ПРАВИЛЬНЫЙ ТЕМПЕРАТУРНЫЙ ПРОФИЛЬ

Светодиод, как любой электронный компонент, после установки на плату должен быть проведен через температурный профиль в соответствии со стандартом IPC/JEDEC J-STD-020C (см. рис. 2). Одна и та же кривая, одни и те же табличные данные присутствуют в технических описаниях ведущих производителей светодиодов, а компания Cree даже не стала рисовать график заново – просто поставила в свою техническую документацию копию графика и таблицы параметров из IPC/JEDEC J-STD-020C (см. табл. 1), чтобы ни у кого не воз-

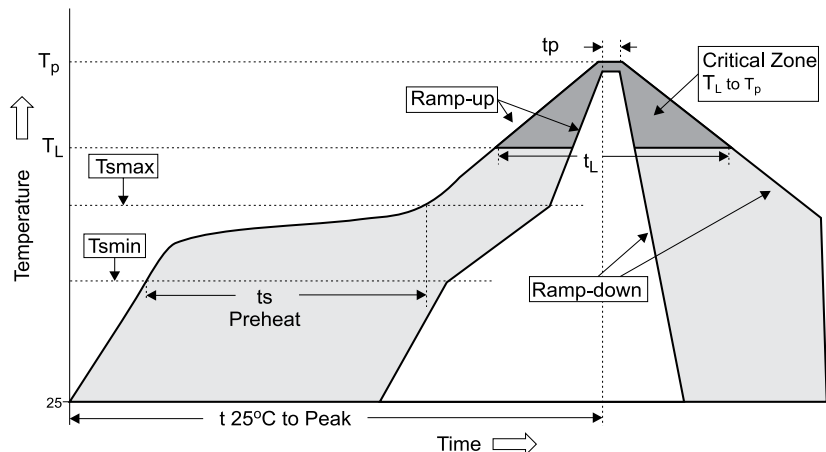


Рис. 2. В технических описаниях процесса пайки компании Cree приводится стандартный температурный профиль IPC/JEDEC J-STD-020C

Таблица 1. Параметры классификационного профиля, рекомендуемые стандартом IPC/JEDEC J-STD-020C

Параметры температурного профиля	Свинцовая пайка	Бессвинцовая пайка
Скорость нарастания температуры от T_{SMAX} до T_p	Не более 3°C в секунду	
Предварительный нагрев, °C	100...150	150...200
Скорость нарастания температуры в фазе предварительного нагрева, c	60...120	
Температура оплавления T_L , °C	183	217
Время при температуре выше T_L , c	60...150	
Максимальная температура T_p , °C	215	260
Время, которое светодиод может находиться в пределах 5° от максимальной температуры T_p , c	10...30	20...40
Скорость снижения температуры	Не более 6°C в секунду	
Общее время нарастания температуры от 25°C до T_p	Не более 6 мин	Не более 8 мин

никало сомнений в необходимости и обязательности соблюдения стандартных требований при монтаже светодиодов.

ФАЗЫ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПРОФИЛЯ

Первая стадия – активация флюса. В холодном виде, а также при нормальных температурах работы прибора современный безотмывочный флюс обязан быть неактивным и более того – должен иметь защитные функции. Первая фаза температурного профиля – это предварительный нагрев флюса для активации химических компонентов, воздействующих на паяемые поверхности. Горячему активированному флюсу необходимо время, чтобы снять окисные пленки с паяемых поверхностей, если же скорость нагрева будет слишком большой, растворитель испарится преждевременно, и окисная пленка снизит качество паяного соединения.

Вторая стадия – стабилизация – необходима для выравнивания температур всех компонентов светодиодного модуля. На третьей стадии температура сначала достигает температуры плавления припоя T_L и затем на 30–40° превышает ее, достигая пикового значения T_p . Если температура лишь незначительно превысит точку плавления, смачивание припоя окажется недостаточным, что особенно критично для компонентов с плохой паяемостью. Паяемость светодиодов обычно хороша, но известен случай, когда один из передовых производителей нажимных клеммников для светотехники некоторое время продавал клеммники с плохой паяемостью контактных площадок, и при их монтаже на плату возникали проблемы.

Если температура в фазе оплавления станет слишком высокой, произойдет повреждение компонентов и потемнение паяльной маски. Скорость повышения темпера-

туры в зоне оплавления ограничена (сверху) требованием выравнивания температур и (снизу) максимальным временем, которое при данной температуре могут без повреждения выдержать устанавливаемые компоненты. Поэтому если нет необходимости следовать директиве RoHS, целесообразно использовать свинцовосодержащие припои, т.к. это позволит паять при меньшей температуре и достичь лучшего качества паяного соединения по сравнению с бессвинцовым.

Форсировать скорость нагрева не рекомендуется во избежание эффекта «надгробного камня», при котором оплавление припоя с одной стороны светодиода произойдет чуть раньше и силы поверхностного натяжения приподнимут светодиод, разорвав электрическое соединение другого полюса с контактной площадкой. Такая проблема чаще всего возникает при пайке миниатюрных светодиодов.

На стадии охлаждения припой кристаллизуется, и для формирования наиболее прочного соединения скорость охлаждения должна быть и не слишком низкой, и не слишком высокой. Большая скорость охлаждения приведет к возникновению внутренних напряжений из-за различного коэффициента теплового расширения материалов и короблению печатной платы. Низкая скорость охлаждения приведет к формированию крупных зерен интерметаллических соединений, что сделает паяное соединение менее прочным.

ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПАЙКИ

Печи, способные паять печатную плату по термопрофилю, делятся на два основных класса: конвейерные и камерные. Конвейерная печь предназначена для крупных серий и является компонентом больших автоматических линий поверхностного монтажа. Камерная печь компактна, недорога и в большей степени соответствует производительности при монтаже ручным, полуавтоматическим способами или при автоматическом монтаже с малой производительностью.

Печь LED-580 (см. рис. 3) предназначена для групповой пайки оплавлением по термопрофилю длинномерных светодиодных линеек на основе алюминиевых и текстолитовых печатных плат в условиях мелкосерийного и опытного производств. Предусмотрена работа печи с открытой крышкой для проведе-



Рис. 3. Камерная печь «Термопро» LED-580

ния ремонта плат и замене светодиодов с предварительным равномерным подогревом светодиодных линеек.

Светодиодные модули, особенно на алюминиевом основании, целесообразно подогревать снизу, без воздействия мощного ИК-излучения на верхнюю сторону модуля. В таком случае алюминиевое основание печатной платы способствует более равномерному прогреву установленных компонентов. А кроме того при нижнем подогреве температура в последнюю очередь воздействует на люминофор и на белую маску печатной платы, которая имеет свойство темнеть от перегрева. И это необходимо учитывать, если идет борьба за каждый процент эффективности светодиодного светильника.

Габариты нагревателя печи должны быть больше габаритов печатной платы – это позволяет равномерно нагревать длинную или широкоформатную печатную плату без деформации. Вся рабочая поверхность должна прогреваться с равной скоростью и по всей площади нагревателя. В печи LED-580 это требование соблюдается, несмотря на то, что нагреватель состоит из двух зон с возможностью отдельного управления. У нагревателей LED-580 при 250°C фактическая разность температур между любыми точками поверхности не превышает 5° (см. рис. 4), а за счет обратной связи точность поддержания температуры в точке печатной платы, на которую установлен термодатчик, не хуже $\pm 2^\circ$.

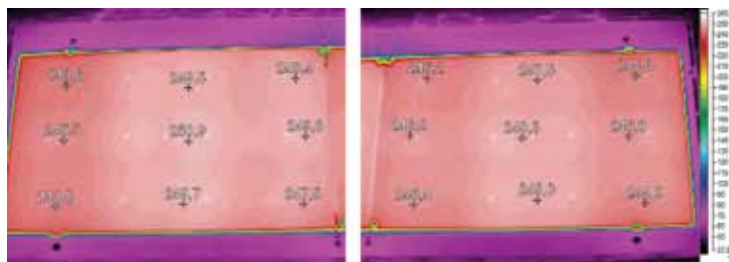


Рис. 4. Термограмма левой и правой зон нагрева камерной печи
Высокая однородность температуры поверхности нагревателя печи LED-580 важна при пайке широкоформатных плат и предотвращает термические деформации.

Чтобы уверенно провести печатную плату по температурному профилю, камерная печь должна иметь не только достаточный запас по мощности, но и направленный (в сторону платы) тепловой поток. В LED-580 это достигается теплоизоляцией нагревателя с нижней части и наличием теплоотражающего экрана, как под нагревателем, так и на внутренней стороне крышки.

В печи LED-580 тепловая энергия передается в печатную плату двумя путями – контактной теплопередачей и ИК-излучением. На поверхность нагревателя нанесено специальное термостойкое покрытие, которое обеспечивает излучение в диапазоне ИК-волн длиной 2–10 мкм. Отражаясь от крышки печи, волны этого диапазона дополнительно обеспечивают мягкий нагрев компонентов, имеющих разную отражающую способность.

Главным преимуществом LED-580 является способность с высокой

точностью повторять заданный термoproфиль при пайке разных плат. Для пайки плат могут применяться как традиционный, так и бессвинцовый припой. Зона охлаждения термoproфиля в печи формируется при помощи встроенных вентиляторов.

Применение технологии автоматического термoproфилирования обеспечивает качественную пайку любых светодиодных линеек практически без отладки. Приложение «Термопроцентр» непрерывно контролирует термодатчик, установленный непосредственно на печатную плату, и в режиме обратной связи постоянно подстраивает температуру нагревателей для точной отработки термoproфиля на печатной плате (см. рис. 5).

ЭКСПЕРИМЕНТ С НАПАЙКОЙ НЕТОЧНО УСТАНОВЛЕННЫХ СВЕТОДИОДОВ

Чтобы припаять неточно установленный диод, необходимо сначала неточно установить его на плату, а для этого требуется какое-то обо-

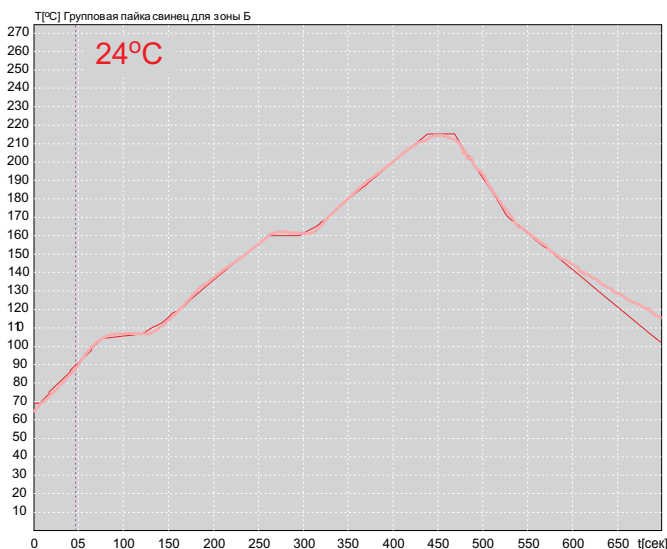


Рис. 5. Образец термoproфиля оплавления свинцовой паяльной пасты в камерной печи LED-580



Рис. 6. Ручной установщик компонентов «Термопро» SMP-330 и пневматический дозатор ND-350. V300

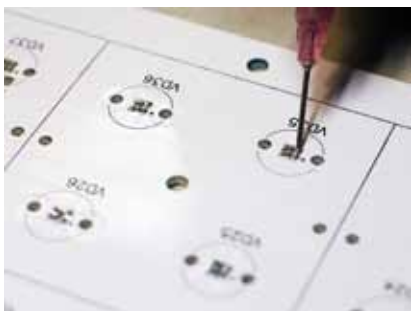


Рис. 7. Ручное нанесение паяльной пасты дозатором ND-35.V300

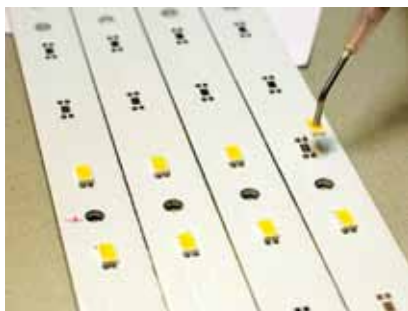


Рис. 8. Ручная установка светодиодов вакуумным пинцетом



Рис. 9. После установки светодиоды намеренно сдвинуты со своих контактных площадок
Только светодиод в красном круге не встанет на свое место при пайке

рудование. Технологическая цепочка должна облегчать работу оператора и обеспечивать выполнение всего трех операций:

- нанесение паяльной пасты на контактные площадки;
- установка компонентов (светодиодов, резисторов и т.д.) на печатную плату;
- пайка оплавлением по термопрофилю.

Обычно на организацию единичного и опытного мелкосерийного производства предусматривается малый бюджет, исходя из этого выбор был остановлен на проверенном временем оборудовании российской марки «Термопро»®.

При проведении эксперимента нанесение паяльной пасты на плату осуществлялось с помощью пневматического цифрового дозатора ND-35.V300. Эта модель выбрана потому, что в дозаторе имеется вакуумный пинцет, которым электронные компоненты любых размеров удобно устанавливать на плату. Таким образом, на рабочем месте одним оператором поочередно осуществлялись две ручные технологические операции: нанесение паяльной пасты и установка компонентов.

Для дозирования использовалась специальная (для дозаторов, а не для трафаретов) свинцовосодержа-

щая паяльная паста третьего типа, упакованная заводским способом в шприц объемом 10 мл. Дозирующий шприц оснащен насадкой с внутренним диаметром 0,5 мм, которая позволяет легко класть дозы на контактные площадки средних и крупных компонентов. Для мелких компонентов лучшими решениями являются прецизионный дозатор ND-350.V300, мелкозернистая паяльная паста пятого типа и насадка диаметром 0,2 мм. Сжатым воздухом дозатор питается от бесшумного компрессора английской марки BAMBI BB15V, который легко помещается под монтажным столом, не мешает и шумит не громче домашнего холодильника.

Одного дозатора уже достаточно, чтобы монтировать единичные печатные платы, но если монтировать мелкие серии, то правильная организация рабочего пространства существенно повысит не только производительность оператора, но и гибкость нашего маленького монтажного производства.

Для этой цели выпускается ручной установщик SMD-компонентов SMP-330 (см. рис. 6). Применение этого органайзера все ставит на свои места: плата закрепляется на монтажном столе, а рука оператора удобно и без напряжения скользит на специальном упоре над платой, не задевая уже установленные компоненты (см. рис. 7, 8). Установщик гибко конфигурируется на подачу компонентов из лент в катушках, в обрезках или из россыпи. Это возможно благодаря наличию различных видов питателей, которые несложно подобрать в комплект к монтажному столу в зависимости от стоящих задач. В результате необходимые компоненты хранятся под рукой в правильном порядке.

Для демонстрации возможности монтажа светодиодов на названном

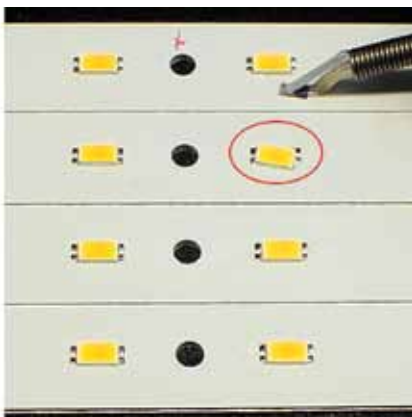
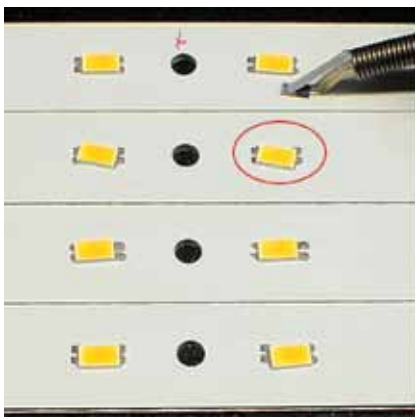


Рис. 10. Пайка оплавлением по термопрофилю
(слева – светодиоды в начале цикла нагрева, справа – после полного расплавления паяльной пасты)

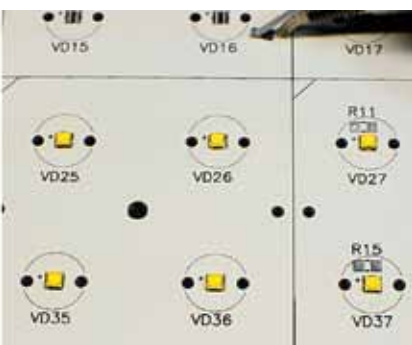
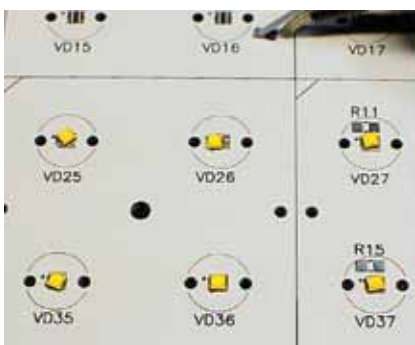


Рис. 11. Пайка оплавлением по термопрофилю с другой платой

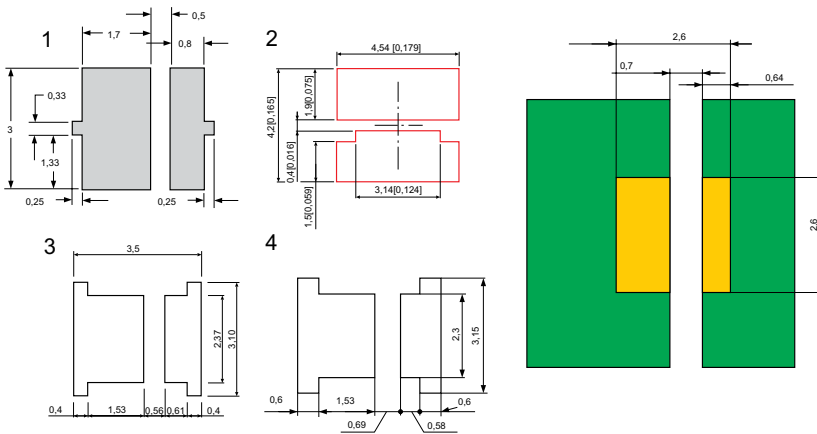


Рис. 12. Рекомендации геометрии посадочных площадок светодиодов размера 3030 разных производителей 1. Cree (обратите внимание на два свободных от маски усика, слева и справа от посадочного места. После пайки эти усика можно использовать для тестирования светодиода, подключив к ним щупы); 2. Osram; 3. Seoul; 4. Nichia; 5. Вариант универсальной посадочной площадки, оформленной маской на двух участках омеднения большого размера

оборудовании проведен эксперимент по пайке светодиодов в печи LED-580. После установки диоды были намеренно смещены со своих контактных площадок, чтобы продемонстрировать эффект самоцентрирования силами поверхностного натяжения во время оплавления паяльной пасты (см. рис. 9).

Пайка оплавлением по термопрофилю показана на рисунке 10. Силы поверхностного натяжения выравнивают и центрируют светодиоды размера 5630 (Seoul Semiconductor). Только один диод, изначально сильно

смещенный со своей позиции, не смог встать на свою контактную площадку (видео можно посмотреть на сайте: <http://termopro.ru>).

На рисунке 11 показана пайка оплавлением по термопрофилю с другой платой. Светодиоды формата 2,45×2,45 мм (Cree, XBD) намеренно сдвинуты с контактных площадок значительно сильнее, чем диоды 5630, но при оплавлении припоя все они развернулись и точно встали на свои места. Последним, как и ожидалось, повернулся диод на позиции VD25 (ви-

део можно посмотреть на сайте <http://termopro.ru>).

Эффект самовыравнивания светодиодов на контактных площадках силами поверхностного натяжения расплавленного припоя позволяет не слишком заботиться о точной установке компонентов при ручном монтаже на плату. Этот эффект позволяет конструктору печатных плат в разумных пределах модифицировать контактные площадки под требования производства.

В технической документации на светодиоды одного типоразмера 3030 основные производители указывают различную геометрию посадочных мест и масок. И, действительно, имея дело со светодиодами одного типа, целесообразно точно выполнять рекомендации производителя. Но при использовании диодов одного типоразмера разных производителей допускается использовать упрощенное универсальное посадочное место (см. рис. 12).

ЭПИЛОГ

Недорогой участок для собственного монтажа светодиодных модулей может быть создан всего на двух радиомонтажных местах площадью 6 м² и с минимальным энергопотреблением в пике до 4 кВт. Помещение обязательно должно быть оборудовано вытяжкой. Все эксперименты производились на производственной базе НТФ «Техно-Альянс Электроникс».