



## КЛЕЙ – СИЛЬНОЕ ЗВЕНО!

Андрей Петров

materials@ostec-group.ru

Антон Булдыгин

A.Buldygin@msk.ltcompany.com

**В** настоящее время наблюдается бурное развитие светодиодного освещения как для бытового применения, так для промышленного и уличного освещения. Неотъемлемым атрибутом качественного светодиодного светильника стала вторичная оптика – свет нужно направлять. В данной статье мы рассмотрим задачу фиксации вторичной оптики с технической и технологической точек зрения.

### ЭФФЕКТИВНОЕ КРЕПЛЕНИЕ ВТОРИЧНОЙ ОПТИКИ СВЕТОДИОДНОГО СВЕТИЛЬНИКА

Практика разработки светодиодных осветительных приборов сегодня погружена в решение очень тонких и, зачастую, неочевидных задач. Большая их часть связана с надёжностью светильника при долгосрочной эксплуатации. Хорошо описаны процессы деградации кристаллов и люминофоров, расставлены акценты в вопросах создания условий для правильного функционирования источников питания, рекомендованы наиболее стабильные связки основание/диэлектрик в печатных платах. Вопросы же надёжности светодиодного модуля, касающиеся тепловых режимов в отношении вторичной оптики, отчего-то пока мало освещаются. Попробуем заполнить этот пробел.

На первый взгляд, здесь всё просто. Температура плавления полиметилметакрилата и поликарбоната далека от рабочих температур любого светодиодного устройства. Теплоотводящая площадка, которая есть в подавляющем большинстве современных светодиодов, весьма эффективно транслирует тепловой поток на плату модуля, то есть в обратном вторичной оптике направлении. Но в случаях, когда речь идёт о мощных светодиодных светильниках, ситуация меняется кардинально. Исходя из практики, наиболее мощные светильники, как правило, должны обладать значительными степенями защиты оболочки IP (Ingress Protection Rating), а значит, кроме организации отвода тепла, приходится также думать и о надёжной защите светодиодного модуля.

Эти, на первый взгляд, не связанные между собой задачи, на самом деле являются взаимозависимыми. Материал линзы обладает большим линейным температурным расширением, чем алюминиевое основание платы (рассматриваются платы МСРСВ как наиболее вероятные для использования в мощных светильниках).

Опыт показывает, что тепло с печатной платы эффективно отводится (за счёт контакта радиатора с окружающей средой), а линза при этом находится в относительной тепловой изоляции. То есть при

включении и выключении светильника эти два элемента конструкции нагреваются и остывают неравномерно. В климатических условиях средней полосы России температурный перепад (между  $t_1$  и  $t_2$  на рис. 1) в рабочем термоцикле светильника может составлять более 100°C, поэтому пренебрегать этим при разработке было бы крайне неосмотрительно.

Такие перепады температуры на фоне разных ТКЛР материалов, да ещё и при большом количестве циклов нагревов и охлаждений, могут значительно снизить срок эксплуатации светильника. Если не учитывать эти факторы при фиксации оптики на плате, при термоциклировании весьма высока вероятность либо растрескивания линзы, либо потери герметичности.

Для обеспечения высокого индекса IP на уровне модуля, довольно изящным решением выглядит применение мультилинз (рис. 3, 4), полностью накрывающих своим основанием печатную плату и препятствующих попаданию внутрь влаги и уж тем более пыли (дискретные линзы (рис. 2) такому решению явно проигрывают и по трудоёмкости процесса их фиксации, и по стоимости, и по качеству конечного результата). Именно здесь задача надёжного крепления линзы на плате встаёт «в полный рост».

Стоит отметить, что ведущие российские производители светодиодных светильников всё чаще внедряют в свои изделия мультилинзы (групповые линзы-кластеры). И не случайно – групповая линза

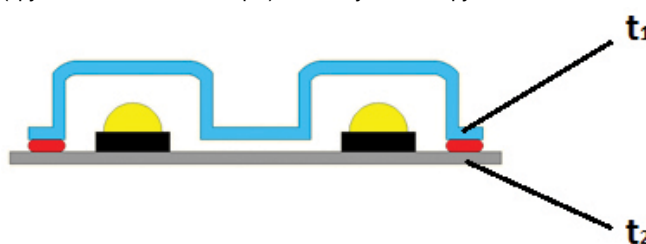


Рис. 1 Схема крепления вторичной оптики

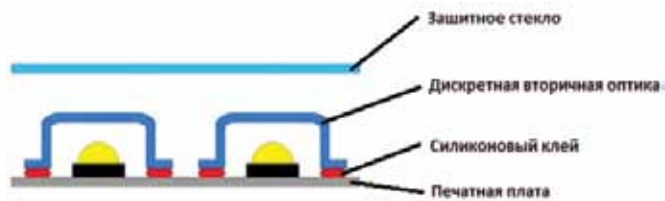


Рис. 2 Схема крепления вторичной оптики из дискретных линз

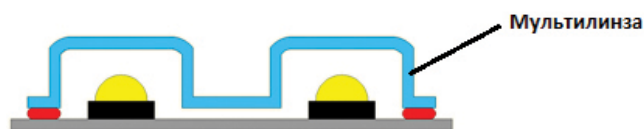


Рис. 3 Схема крепления групповой вторичной оптики (мультилинза)

куда более эффективное решение с точки зрения технологичности. Групповую линзу значительно проще герметизировать, чем каждую отдельную, кроме того, её использование позволяет уйти от необходимости использовать дополнительное защитное стекло светильника, которое существенно снижает светоотдачу.

Для задачи обеспечения надёжной компенсации разницы тепловых линейных расширений мультилинзы и печатной платы в таких условиях возможны всего три варианта решения:

1. Дробление вторичной оптики на более мелкие элементы с независимым креплением.
2. Абсолютно прочная фиксация оптики на модуле.
3. Эластичная фиксация оптики на модуле.

Первый путь не выглядит привлекательным, так как снижает технологичность, что неминуемо ведёт к ухудшению экономических показателей. Абсолютно прочное крепление оптики к плате невозможно. Даже вариации на его тему, например, применение клеев на эпоксидной основе или механический крепёж, не выдерживают условий постоянного термоциклирования и иногда приводят даже к разрыву линз. Таким образом, эластичная фиксация выглядит наиболее привлекательной технологией для решения данной задачи. Перечислим основные свойства материала для эластичной фиксации больших линз на плате. Кроме таких очевидных характеристик, как хорошая адгезия и достаточная эластичность, материал должен быть нечувствителен к постоянному термоциклированию, обладать достаточной теплопроводностью, быть устойчивым к ультрафиолетовому излучению. Помимо этого следует отметить стоимость материала, а также технологичность нанесения при изготовлении модуля. Из всего разнообразия технологических материалов наиболее подходящими для такой роли являются материалы на основе силикона. Как известно, силикон – это материал, не изменяющий своих физических свойств в достаточно широком диапазоне температур и обладающий хорошей вязкостью для задач герметизации. Кроме того, он прозрачен и не восприимчив к УФ излучению. Известны и клеи на силиконовой основе, которые также обладают всеми этими полезными качествами. Однако разработчику не всегда легко разобраться в широкой номенклатуре подобных материалов и, если учесть, что речь идёт о процессах, значительно растянутых во времени, сделать абсолютно правильный выбор становится и вовсе непросто.

Наиболее технологичным и грамотным решением фиксации вторичной оптики светодиодного светильника является использование силиконового клея. Необходимо отметить, что к выбору такого клея стоит подходить особенно тщательно. Во-первых, клей должен обладать хорошей адгезией к поверхностям из поликарбоната, алюминия, паяльной маски и желателен без предварительной подготовки этих поверхностей. Во-вторых, клей должен иметь высокую



Рис. 4 Пример исполнения мультилинзы

эластичность в широком диапазоне температур от  $-55^{\circ}\text{C}$  до  $+150^{\circ}\text{C}$ . Это необходимо для компенсации разницы тепловых коэффициентов линейных расширений склеиваемых поверхностей (ТКЛР). В третьих, необходима полная химическая совместимость клея и светодиода. В случае неполной химической совместимости некоторые клеи могут вызвать деградацию первичной оптики светодиода и, как следствие, многократно уменьшить срок его службы.

Рассмотрим более детально свойства клеев Dow Corning 744 и Dow Corning 7091 на предмет соответствия вышеизложенным требованиям к материалам для крепления вторичной оптики:

- обладают хорошей адгезией к поверхностям из поликарбоната, алюминия и паяльной маски;
- силиконовая основа этих клеев предопределяет их высокую эластичность в требуемом диапазоне температур ( $-55^{\circ}\text{C} \dots +150^{\circ}\text{C}$ );
- обладают относительным растяжением на разрыв, близким к 600%. При этом адгезия превышает когезию, то есть при растяжении клеевого шва разрыв идет по самому клею, а не по месту контакта клея с поверхностью.

Такая совокупность свойств позволяет клею, с одной стороны, выступать своего рода «буфером», эффективно сглаживающим разницу в ТКЛР поликарбоната и печатной платы, с другой стороны – обеспечивать надёжное крепление вторичной оптики, таким образом, необходимость в дополнительной механической фиксации отпадает. Такое клеевое соединение позволяет обеспечить степень защиты оболочки IP68 (длительное время работы под водой глубже 1 м), либо IP69K (высокотемпературная мойка под высоким давлением). А как же решается вопрос нанесения этих материалов? Ведь это далеко не простая задача – равномерно, качественно и эстетично нанести клей на поверхность. На первый взгляд, такая технологическая операция выглядит достаточно трудоемкой. Особенно, если использовать ручной труд, при котором о высокой производительности речи идти не может. И как быть с контролем качества?

Существуют решения, позволяющие дать ответ на эти вопросы. Процесс нанесения однокомпонентных клеев и компаундов можно автоматизировать. Рассмотрим этот технологический процесс на базе оборудования американской компании Fisnar. Автоматизированная система нанесения клея Fisnar состоит из экс-



**А.В. Булдыгин, руководитель отдела разработки светодиодных светильников, МГК «Световые технологии»:**

«На прошедшей осенью в Саранске светотехнической конференции мы с коллегами из компании Остек кулуарно обсудили тему фиксации мультилинз. И мне, как разработчику, было крайне интересно узнать, что материалы, ориентированные на решение этой задачи, существуют».



Один из крупнейших производителей светодиодов, компания Cree, провела ряд экспериментов в области химической совместимости своих изделий и различных технологических материалов. В частности, проводились испытания силиконовых клеев для крепления вторичной оптики. Результаты этих исследований изложены в общедоступном документе под названием: **Cree® XLamp® LEDs Chemical Compatibility** (Химическая совместимость Cree® XLamp® LEDs). Согласно этому документу, силиконовые клеи Dow Corning признаны успешно прошедшими тесты на химическую совместимость со светодиодами Cree.



Рис. 5 Экструдер Fisnar

трудера (рис. 5), который осуществляет непосредственно дозирование материала, и координатного робота (рис. 6), осуществляющего позиционирование дозирующего клапана. Стоит отметить, что система на базе экструдера может работать и в полуавтоматическом режиме при наличии оператора. Дозирующий клапан в таком случае выполнен в пистолетном виде. Преимущество же автоматизированной системы нанесения (на базе координатных роботов Fisnar серии F9000N) – возможность полной интеграции в конвейерную линию. Производительность такой линии находится в диапазоне от десятков до сотен тысяч изделий в месяц.

В случае, когда необходимо наносить двухкомпонентные материалы (например, компаунд для заливки источника питания), может быть использована система Fisnar U30C (рис. 7). При серийном произ-



Рис. 6 Координатный робот Fisnar F9800N



Рис. 7 Дозатор двухкомпонентных материалов Fisnar U30C

водстве она также может быть объединена с координатным роботом и интегрирована в конвейер.

В условиях динамично развивающегося рынка и жёсткой конкурентной борьбы перед лидирующими производителями светодиодного освещения встают вопросы повышения производительности и качества продукции. Рассмотренные в статье технологические решения способны обеспечить мощный рывок в решении этих задач. Вне всяких сомнений, производители светильников, сделавшие ставку на качество и автоматизацию сборки, смогут занять в ближайшие годы достойные позиции на российском рынке светодиодного освещения. ■