

Тепловой аспект применения силикатных линз со светодиодными матрицами

Несмотря на то, что основными светодиодами являются дискретные светодиоды, многие изготовители предлагают рынку так называемые светодиодные матрицы. Под ними мы понимаем неразделимый электронный компонент, в котором установлено большое количество чипов (до 100 и выше). Преимущество светодиодных матриц очевидно: компактный размер, удобный не только для конструирования, но и с точки зрения управления кривой силы света светильника; относительная простота монтажа. В случае мощных светодиодных матриц компактный размер ставит перед инженерами-разработчиками серьезную задачу по обеспечению теплового режима матрицы, то есть по обеспечению низкого теплового сопротивления интерфейса матрица–теплоотвод. Дело в том, что из-за малых размеров основания матрицы плотность теплового потока через указанный интерфейс может составлять порядка 5–10 Вт/см². Понять значимость этих цифр можно, рассчитав перепад температур, который будет иметь место, например, при использовании термоинтерфейсного материала толщиной 200 мкм и теплопроводностью 2 Вт/м·К. В этом случае разность температур при плотности потока 10 Вт/см² составит 20 К, а это, согласитесь, не самое подходящее значение для разработчика светового прибора.

Однако полупроводниковый переход светодиодных кристаллов не единственный источник тепла в светодиоде. Хотя именно такое допущение применяется при большинстве расчетов. Вторым источником тепла является люминофор. Дело в том, что любой, даже идеальный люминофор, у которого квантовая

эффективность составляет 100%, все равно излучает не всю энергию, которую поглотил. Все дело в так называемых Стоксовых потерях: так как длина волны возбуждающего излучения меньше длины волны люминесцентного излучения, то энергия переизлученных фотонов, конечно, меньше энергии поглощенных. Разность этих двух значений энергий выделяется в виде тепла, которое нагревает люминофор.

В мощных светодиодных матрицах, где высока плотность потока излучения, нагрев люминофора может иметь существенное значение, особенно если учитывать, что обычно люминофор распределен в силиконовом оптическом компаунде, теплопроводность которого обычно составляет всего 0,2 Вт/м·К.

Другим недостатком светодиодных матриц является их неоптимальная конструкция с точки зрения вывода излучения через плоскую поверхность силиконового слоя. Понятно, что если бы вместо плоской заливки имела место сферическая линза, то вывод света был бы больше. Расчеты и исследования показывают, что эффективность светодиодного источника света благодаря применению сферической (близкой к сферической) первичной линзы повышается на 10–15%. Однако применение силикона в качестве материала для первичной линзы не позволяет решить задачу по сколь-нибудь эффективному отводу тепла от люминофорного слоя. Другой недостаток — высокая стоимость оптического силикона, расход которого возрастает пропорционально кубу радиуса линзы.

Обычно для управления КСС над матрицами устанавливают линзы, которые изготавливают из силикатных оптических стекол, поликарбоната или полиметилметакрилата. При этом между матрицей и линзой имеется воздушный зазор,

что приводит к появлению дополнительной оптической границы и, следовательно, к дополнительным потерям светового потока, составляющим обычно около 10%. Очевидным решением по устранению таких потерь было бы заполнение воздушного промежутка оптическим прозрачным материалом, показатель преломления которого близок к показателю линзы или силикона. Расчеты и практические эксперименты показывают, что устранение воздушного зазора приводит к практически полному устранению потерь за счет отражения от двух границ (силикон–воздух и воздух–стекло) и позволяет повысить вывод излучения на 20–25% по сравнению с вариантом, где линза установлена с воздушным зазором.

Однако заполнение промежутка материалом (например, кремнийорганическим гелем, теплопроводность которого низка — около 0,2 Вт/м·К) также не позволит эффективно решать задачу по созданию дополнительного канала отвода тепла от люминофора. С точки зрения теплового менеджмента, у стекла есть значительное преимущество. Типичное значение его теплопроводности примерно в пять раз выше теплопроводности силикона и оставляет около 1 Вт/м·К. Это же сравнение верно по отношению к поликарбонату и полиметилметакрилату, теплопроводность которых также около 0,2 Вт/м·К. Таким образом, наилучшим решением мы считаем непосредственный контакт между силикатной линзой и силиконовой поверхностью светодиодной матрицы.

Для анализа нагрева силикона мы рассмотрим упрощенную модель 100-чиповой светодиодной матрицы (рис. 1). Основные параметры модели сведены в таблицу.

При моделировании люминофорного слоя принято допущение, что тепловыделение про-

Т а б л и ц а . Основные параметры модели

Элемент модели	Теплопроводность, Вт/м·К	Толщина, мм	Размер, мм	Граничные условия
Теплоотвод	240 (алюминий)	15	50×50	Температура на верхней стороне основания (+80 °С). Боковые грани теплоизолированы.
Тепловое основание	400 (медь)	2	23×23	
Светодиодные чипы (100 шт.)	25 (сапфир)	0,15	1×1	Тепловая мощность 70 Вт (по 0,7 Вт на каждый чип). Выделяется равномерно в объеме чипов
Силиконовый компаунд с люминофором	0,2	1	23×23	Тепловая мощность 10 Вт, выделяется равномерно по всему объему силиконового компаунда.
Линза	1 (силикатное стекло)	25	Ø64	Поверхность линзы охлаждается воздухом в условиях свободной конвекции.
Окружающая среда	Воздух	-	-	Температура +40 °С.

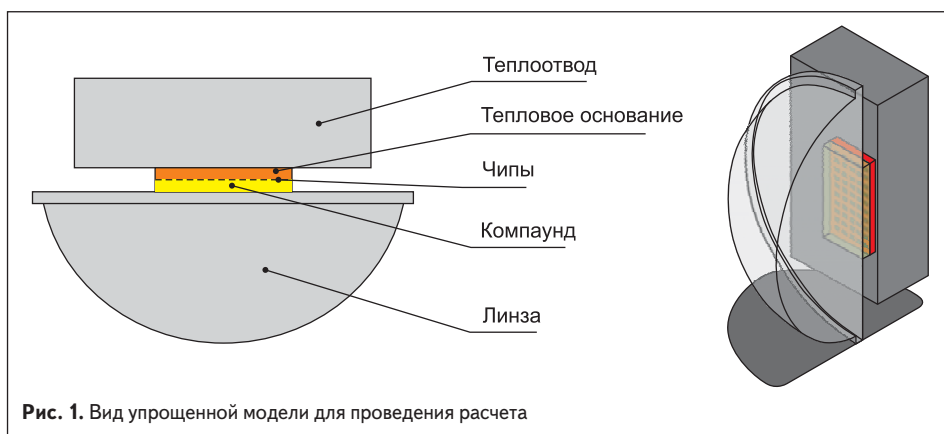


Рис. 1. Вид упрощенной модели для проведения расчета

исходит равномерно по всему люминофорному слою. Мощность тепловыделения в нем оценена приблизительно значением 8–10% от потребляемой электрической мощности (в данной работе мы не анализируем точную долю тепловыделения в люминофоре). Кроме того, не учитывается оптический материал (гель, оптический клей и т. п.), который необходим для создания надежного оптического контакта между силиконом и линзой (для заполнения микропустот), так как толщина его мала (порядка 10 мкм).

Понятно, что указанная толщина люминофорного слоя является избыточной. Практика показывает, что приемлемой является толщина 0,5–0,8 мм. Меньшие значения приведут к тому, что золотые перемычки окажутся практически не защищенными от внешней среды — прежде всего от механических воздействий. Несмотря на это, мы, исключительно для целей нашего исследования, будем рассматривать толщину 1 мм, так как в рамках данной статьи мы намереваемся показать только возможный путь развития светодиодной техники. Получение точных данных для конкретных реализаций — дело инженеров конкретных конструкторских отделов.

На рис. 2 представлена визуализация теплового расчета (изотермические эпюры). Расчет был про-

веден для двух вариантов: в первом (левый рисунок) силикатная линза отсутствует. Вторым вариантом (справа) — с линзой, как показано на рис. 1.

Расчет показывает, что применение линзы даже с таким небольшим коэффициентом теплопроводности (1 Вт/м·К) позволяет снизить нагрев люминофора с +124 до +112 °С. Происходит это за счет того, что тепло отводится от силикона через большое сечение линзы, а затем сбрасывается на воздух через конвективный теплообмен. При этом температура силикона в самой горячей точке превышает максимальную температуру чипов на 34 °С.

Кроме того, следует учитывать, что устранение полного внутреннего отражения, которое имеет место при наличии воздушной прослойки, приводит к снижению потерь излучения в матрице. Следовательно, тепловая нагрузка снижается еще больше. В нашем расчете мы этот эффект не учитывали, однако приблизительно можно говорить, что это позволит снизить температуру силикона еще на 2–3 °С. Отдельно стоит отметить, что существенного снижения температуры чипов благодаря такому охлаждению люминофора практически не происходит: линза охлаждает только силикон с люминофором.

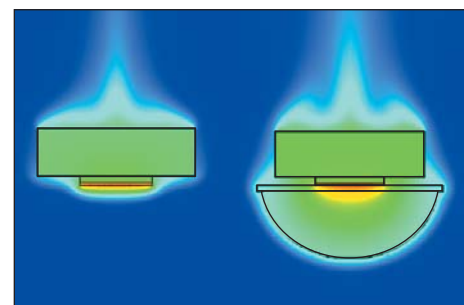


Рис. 2. Визуализация теплового расчета

Детальный анализ показывает, что в отсутствие линзы температура слоя силикона увеличивается при удалении от медного основания, то есть основным каналом отвода тепла является медное основание. Указанную разность температур необходимо учитывать при разработке изделия и определении его области безопасной работы.

Подводя итоги, можно перечислить основные преимущества, которые дает конструкция светового прибора с плотным механическим и оптическим контактом с силиконом светодиодной матрицы:

- охлаждение люминофора для повышения его эффективности, которая снижается из-за так называемого температурного гашения люминесценции;
- продление срока службы силикона за счет снижения его температуры;
- небольшое снижение общей мощности тепловыделения за счет увеличения вывода излучения;
- увеличение эффективности вывода излучения;
- применение силикатной линзы в качестве крепежного элемента.

Кроме указанных преимуществ, линза из стекла может служить элементом защиты светодиодной матрицы и электрических соединений от механических воздействий, воды (в том числе струй воды), пыли и вызывающих коррозию газов. ●