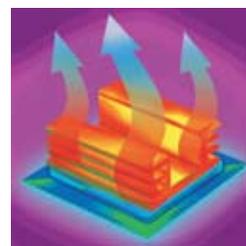




## ЭФФЕКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ТЕПЛОТВОДА В СВЕТОДИОДНОЙ СВЕТОТЕХНИКЕ

Александр Савельев  
Вячеслав Ковенский  
materials@ostec-group.ru

Известно, что КПД мощных светодиодов на порядок выше, чем у ламп накаливания. В то же самое время, большая часть энергии, потребляемой светодиодами (около 75%), все-таки уходит в рассеиваемое тепло. С ростом светового потока от светодиодных источников растет тепловыделение. По оценкам некоторых международных и отечественных экспертов, обеспечение эффективного теплоотвода в светодиодной (LED) светотехнике – одна из наиболее актуальных задач, стоящих сегодня перед разработчиками и производителями данной продукции. Настоящая статья посвящена решению задач теплоотвода в современной светодиодной светотехнике при помощи эффективных теплопроводящих материалов.



### ПОЧЕМУ ВАЖЕН ЭФФЕКТИВНЫЙ ОТВОД ТЕПЛА В СВЕТОДИОДНОЙ СВЕТОТЕХНИКЕ

В отличие от традиционных ламп накаливания и газоразрядных ламп современные светодиоды чувствительны к высоким температурам:

- во-первых, при перегреве светодиода уменьшается его эффективность, падает световой поток, изменяется цветовая температура, а срок службы может сокращаться в разы;
- во-вторых, при температуре 80°C интенсивность свечения падает примерно на 15% в сравнении с интенсивностью при комнатной температуре. Как результат, светильник с двадцатью светодиодами при температуре 80°C может иметь световой поток, эквивалентный потоку от семнадцати светодиодов при комнатной температуре. При температуре перехода в 150°C, интенсивность света светодиодов может упасть на 40%!
- в-третьих, у светодиодов присутствует отрицательный температурный коэффициент прямого напряжения, т.е. при повышении температуры происходит уменьшение прямого напряжения светодиодов. Обычно этот коэффициент составляет от -3 до -6 мВ/К, поэтому прямое напряжение типичного светодиода может составлять 3,3В при +25°C и не более 3В при +75°C. Если источник питания не позволяет снижать ток на светодиодах, то это может привести к ещё большему перегреву и выходу светодиодов из строя. Кроме того, многие источники питания для светодиодных светильников рассчитаны на температуру эксплуатации до +70°C.

Таким образом, для эффективной работы многих светодиодных устройств важно обеспечить температуру не более 80°C как в области р-п-перехода светодиодов, так и в области источника питания. Несоблюдение рекомендуемого температурного режима может приводить к потере количества и качества света, увеличению стоимости света от светодиодного устройства, а также сокращению жизни прибора.

### РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОТВОДА В СВЕТОДИОДНОЙ СВЕТОТЕХНИКЕ

Наиболее распространённым способом отведения избыточного количества тепла от мощных светодиодов и микросхем является его передача на печатную плату (в том числе и платы с металлическим основанием - MC PCB, AL PCB, IM PCB), подложку или другие конструктивные элементы электронного устройства. Также применяется установка радиатора на перегревающийся компонент (или перегревающегося компонента на радиатор), что увеличивает площадь лучистого и конвекционного обмена. Затем тепло передается в окружающую среду преимущественно при помощи конвекции. Это относительно недорогие и эффективные методы, однако в каждом случае эффективность теплоотвода будет зависеть от эффективности передачи тепла в области контакта двух поверхностей.

Дело в том, что поверхности источника тепла и теплоприемника имеют шероховатости и неровности. При контакте плоскостей в большинстве случаев возникают зазоры (микрощели), в которых содержится воздух (рис. 1). Как результат – контакт между плоскостями происходит точно, что существенно увеличивает тепловое сопротивление перехода.

Важно помнить, что воздух имеет коэффициент теплопроводности около 0,02 Вт/м\*К, что крайне мало, и примерно в 40 раз меньше, чем у типичных теплопроводящих паст. Таким образом, в связи с наличием воздуха между контактирующими поверхностями возникает высокое сопротивление тепловому потоку, и эффективность отвода

**В каждом случае эффективность теплоотвода будет зависеть от эффективности передачи тепла в области контакта двух поверхностей**

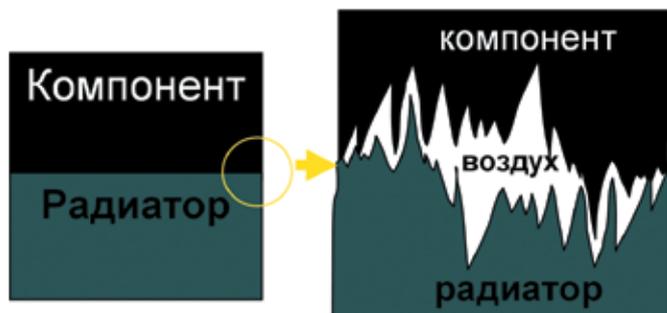


Рис. 1 Схематичное изображение контакта двух поверхностей

тепла существенно падает. Чтобы избежать этого негативного эффекта от присутствия воздуха используют теплопроводящий материал, который заполняет зазоры. Тип материала выбирают, исходя из рассеиваемой мощности, конструктивных особенностей изделия и уровня теплопередачи.

### УРОВНИ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В ТИПОВОМ СВЕТОДИОДНОМ УСТРОЙСТВЕ

Рассмотрим несколько уровней передачи тепла в типичном LED светильнике (рис. 2).

Уровень 1: передача тепла от светодиода на печатную плату или основание. Этот уровень характеризуется очень малой площадью теплового потока и относительно большим количеством передаваемого тепла. Таким образом, для обеспечения эффективной теплопередачи нужен материал, который обеспечит минимальное тепловое сопротивление в области контакта поверхностей. Часто для обеспечения теплопередачи на первом уровне теплоотводящее основание светодиодов припаивают к плате. Пайка – хороший вариант для теплопередачи, так как коэффициент теплопроводности типичного припоя – 85 Вт/м\*К, но использование данного способа в ряде случаев ограничено из-за технологических соображений. Альтернативой пайке может служить применение теплопроводящих клеев или паст с высокой теплопроводностью (до 7 Вт/м\*К для материалов Dow Corning).

Уровень 2: передача тепла от платы (модуля) со светодиодами на радиатор или другую рассеивающую тепло поверхность. Этот уровень характеризуется большой площадью передачи и менее мощным удельным тепловым потоком, в сравнении с рассмотренным ранее первым уровнем. Для обеспечения теплопередачи на втором уровне можно использовать материалы с относительно невысокой теплопроводностью (в пределах 2 Вт/м\*К). В качестве теплопроводящего материала (в зависимости от конструкции изделия) могут использоваться силиконовые теплопроводящие пасты, клеи, подложки или компаунды.

Когда светодиоды устанавливаются непосредственно на радиатор, первый и второй уровни теплопередачи совпадают. В этом случае в качестве теплопроводящего материала можно использовать теплопроводящие пасты или клеи с высокой теплопроводностью.

### ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДЯЩИХ ПАСТ

Важно учитывать, что для использования в современных светодиодных устройствах теплопроводящие пасты должны иметь широкий

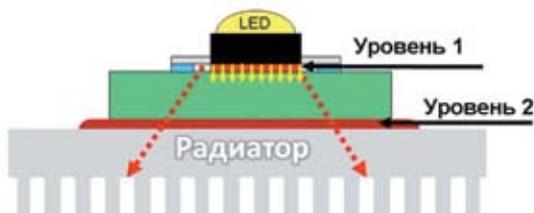


Рис. 2 Уровни теплопередачи в светодиодном устройстве

### Хорошо зарекомендовавшим себя материалом в светодиодной светотехнике для задач теплопередачи второго уровня является силиконовая теплопроводящая паста Dow Corning SC 102

диапазон рабочих температур. Для уличного светильника такой диапазон может составлять от -50°C до +100°C и выше. Опыт показывает, что широко распространенные и популярные на отечественных производствах традиционные теплопроводящие пасты в ряде случаев не отвечают таким жестким требованиям. Поэтому через относительно короткий период времени паста может высохнуть, потерять свои полезные свойства и, как следствие, теплопередача будет нарушена.

Хорошо зарекомендовавшим себя материалом в светодиодной светотехнике для задач теплопередачи второго уровня является силиконовая теплопроводящая паста Dow Corning SC 102. Теплопроводность 0,8 Вт/м\*К дает возможность использовать её во многих светодиодных конструкциях, а диапазон рабочих температур от -45°C до +200°C обеспечивает эффективную и надежную теплопередачу практически при любых возможных температурах эксплуатации светильника.

Для более эффективного отвода тепла от теплонагруженных компонентов (задачи первого уровня теплопередачи), можно использовать пасты Dow Corning с более высоким коэффициентом теплопроводности вплоть до 7 Вт/м\*К (Dow Corning TC-5600).

### ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДЯЩИХ КЛЕЕВ

Избавиться от дополнительных элементов крепления можно, исполь-

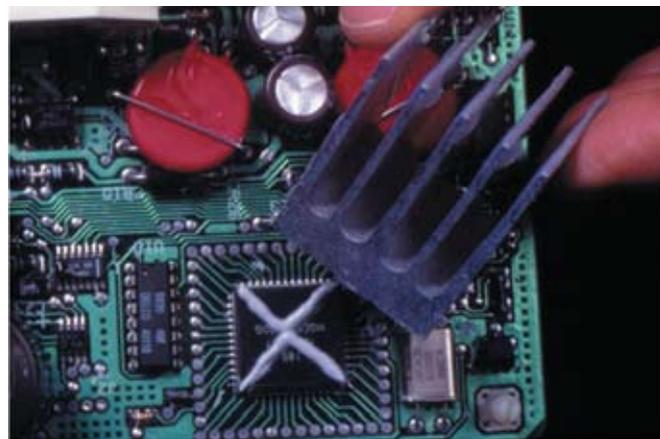


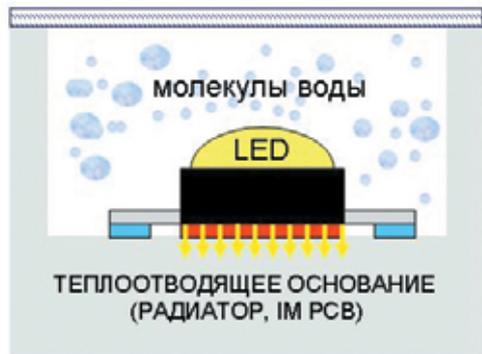
Рис. 3 Применение теплопроводящих клеев

Таблица 1 Сравнительные характеристики теплопроводящих клеев\*\* Dow Corning

Параметры	Dow Corning. SE 4420	Dow Corning. SE 4486	Dow Corning. 3-6752
Вязкость, сП	108,000	19,000	81000
Теплопроводность Вт/м*К	0,9	1,6	1,9
Полное отверждение	200 часов при 20°C*	120 часов при 20°C*	3 минуты при 150 °C
Потенциальное применение	Теплоотвод с малых площадей средних тепловых потоков в мелкосерийном производстве	Теплоотвод с больших площадей высоких тепловых потоков в мелкосерийном производстве	Использование в крупносерийном производстве при высоких тепловых нагрузках

\* – отверждение слоя в 3 мм при относительной влажности воздуха 55%;

\*\* – линейка теплопроводящих клеев Dow Corning не ограничивается материалами, приведенными в таблице.



Традиционное решение со стеклом

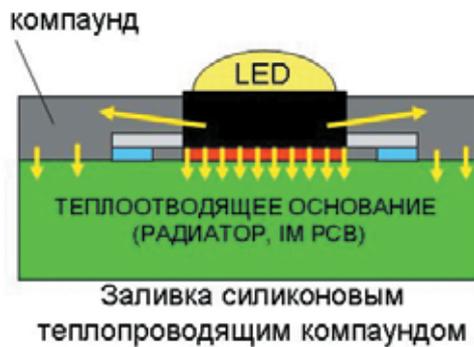


Рис. 4 Варианты защиты светодиодного светильника

зую силиконовые теплопроводящие клеи. В дополнение к теплоотводу они обеспечивают ещё и механическую фиксацию, что дает возможность упростить процесс сборки светильника. Силиконовые теплопроводящие клеи прекрасно работают в широком диапазоне температур и обладают высокой теплопроводностью, что обуславливает их широкое применения в современной светодиодной технике. В качестве примера можно привести несколько силиконовых теплопроводящих клеев Dow Corning и рассмотреть их особенности (таблица 1).

### ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДЯЩИХ СИЛИКОНОВЫХ КОМПАУНДОВ

Часто светодиодная техника оказывается подвержена неблагоприятным воздействиям окружающей среды: влажность, соляной туман, кислотные осадки, загрязнение пылью и т.п. Это информационные LED экраны, светильники уличного освещения, светильники взрывобезопасного исполнения, светофоры и т.п.

Есть несколько способов защиты LED устройств от воздействия внешней среды. Традиционно используют стекло, которым закрывают устройство. Однако тепловой режим устройства и его оптические характеристики при таком способе защиты не становятся лучше.

Кроме того, в подавляющем большинстве случаев замкнутое пространство под защитным стеклом светильника остается заполнено воздухом, поэтому при определенных условиях под стеклом светильника может образовываться конденсат (рис. 4). Это может изменить оптические свойства светильника, вызвать коррозию и короткие замыкания в устройстве. Очевидно, что современный светильник требует более современных решений для защиты устройства.

Многие производители для защиты устройства всё чаще используют теплопроводящие заливочные компаунды (рис. 5, 6). В этом случае плата или светильник заливается с внешней стороны до уровня оптических элементов (светодиодов). Таким образом, при помощи одного материала обеспечивается отвод тепла от светодиодов, защита светодиодного устройства от негативного воздействия внешней среды и дополнительная механическая прочность светильника.



Рис. 5 Пример заливки светодиодной панели и светильника теплопроводящими компаундами Dow Corning

### Использование теплопроводящего компаунда обеспечивает отвод тепла от светодиодов, защиту светодиодного устройства от негативного воздействия внешней среды и дополнительную механическую прочность светильника

Такое решение может повысить эффективность сборки, надежность и конкурентоспособность светодиодного устройства. Хорошим решением для заливки светодиодного устройства могут быть силиконовые компаунды Sylgard 160 и Sylgard 170. Материалы характеризуются теплопроводностью до 0,6 Вт/м\*К и возможностью полимеризации при любой глубине заливки. Время полимеризации компаундов составляет несколько минут при повышенной температуре (4 минуты при 100°C). Также возможна полимеризация и при комнатной температуре, но время отверждения будет дольше. Основные различия озвученных материалов в том, что Sylgard 170 более текучий (2000сП против 6000сП у Sylgard 160). Это определяет выбор компаунда для решения конкретной задачи. Кроме того, таким же образом можно поступить при защите источника питания (драйвера) от негативных внешних воздействий. Принцип тот же: компаунд заполняет объём, в котором ранее был воздух, при этом улучшается тепловой баланс всего блока. Такое решение является общепринятой мировой практикой. В некоторых конструкциях светильников драйвер оказывается заключенным в корпусе светильника. Из-за ограниченного теплооб-

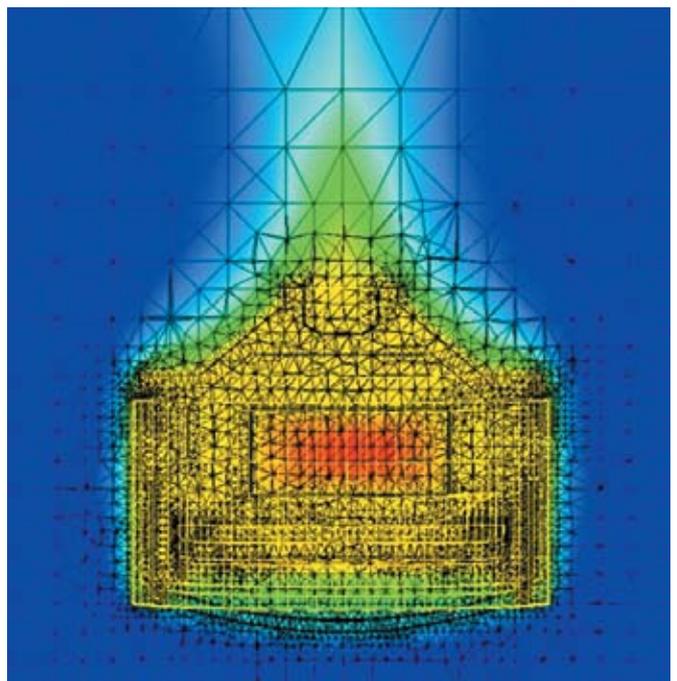


Рис. 6 Тепловая модель светильника

мена драйвер может перегреться и переключиться в режим «защита от перегрева». Для примера можно рассмотреть тепловую модель светодиодного светильника, где красная зона в центре показывает перегретый драйвер (рис. 6). В ряде случаев воздух, окружающий источник питания, может выступать в роли теплоизолятора и ограничивать теплопередачу на корпус светильника. Выходом из такой ситуации может быть заполнение пространства вокруг источника питания материалом с высокой теплопроводностью, например, теплопроводящим силиконовым компаундом.

### ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДЯЩИХ ПОДЛОЖЕК

Для повышения технологичности сборки и упрощения конструкции светодиодного светильника полезным решением могут быть теплопроводящие подложки. Этот класс материалов представляет собой заранее отвержденный силиконовый гель со специальными свойствами. Теплопроводность до 3,5 Вт/м\*К и толщина от 0,25 до 5,0 мм позволяют решать широкий спектр задач по отводу тепла с поверхности печатных узлов (данные приведены для материалов Dow Corning, таблица 2).

С точки зрения конструкции изделия в дополнение к функции передачи тепла подложки могут выполнять еще и функцию заполнения воздушных зазоров до 4 мм и более (можно складывать подложки в несколько слоев). Эта возможность полезна как при производстве светодиодных устройств, так и при производстве источников питания. Дополнительно, благодаря высоким диэлектрическим свойствам и хорошей сжимаемости, одна подложка может обеспечить отвод тепла с любой площади печатного узла и от компонентов различных размеров и форм (рис. 7).

С технологической точки зрения применение теплопроводящих подложек упрощает и сокращает процесс сборки светодиодной техники. Подложки не требуют процессов полимеризации, что исключает необходимость применения специального оборудования для отверждения, сокращает затраты времени на сборку, уменьшает потребление электроэнергии и человеческих ресурсов.

Применение теплопроводящих подложек способно повысить конкурентоспособность светодиодной техники как за счет обеспечения высокого качества продукции, так и за счет оптимизации себестоимости.

### Применение теплопроводящих подложек

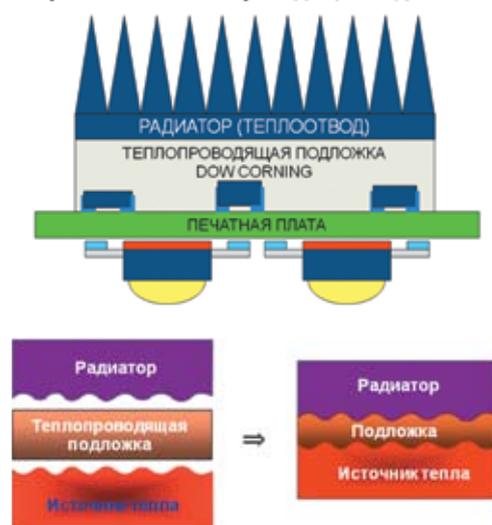


Рис. 7 Применение теплопроводящих подложек в светодиодной технике

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Еще раз подчеркнем, что по оценкам экспертов, обеспечение эффективного теплоотвода в светодиодной светотехнике – одна из наиболее актуальных задач, стоящих сегодня перед разработчиками и производителями данной продукции. Вполне вероятно, что успешными производителями светодиодной светотехники завтрашнего дня будут именно те, кто раньше найдет и применит современные решения по обеспечению теплового режима работы устройств. Применение современных теплопроводящих материалов является как раз одним из тех решений, которые помогут повысить конкурентоспособность светодиодной техники за счет обеспечения высокого качества продукции и оптимизации себестоимости. Специалисты Остека готовы помочь вам в поиске таких решений и применении их на практике! ■■

Таблица 2 Линейка теплопроводящих подложек Dow Corning

Продукт Dow Corning	Отличительные особенности	Теплопроводность Вт/(м*К)	Толщина, мм
Dow Corning® TP-15**	Клейкая поверхность с одной или двух сторон. Демпфируют нагрузки и обеспечивают хорошую электрическую изоляцию. Хорошая теплопроводность.	1,1 – 1,3	0,25 – 2,0
Dow Corning® TP-21**	Хорошо сжимаемые и клейкие с двух сторон подложки. Решение для задач, где требуется плотное заполнение зазоров или перенос тепла через большие воздушные зазоры.	0,7	2,2 – 5,0
Dow Corning® TP-22**	Демпфируют механические нагрузки и отличаются высокой теплопроводностью.	1,64	0,25 – 3,0
Dow Corning® TP-23**	Подложки с высокой степенью сжимаемости и высокой теплопроводностью. Решение для задач, где требуется эффективный перенос тепла через большие воздушные зазоры.	1,4	2,2 – 4,6
Dow Corning® TP-35**	Мягкие теплопроводящие подложки. Демонстрируют высокую степень сжимаемости и высокую теплопроводность.	3,5	0,5 – 5,0

\*\* - возможны различные варианты исполнения