

Новые подходы к охлаждению высокомоощных LED-кластеров

При работе любого светодиода происходит преобразование электрической энергии в световую (полезный свет) и тепловую (побочное тепло). Если это тепло недостаточно эффективно отводится от кристалла, то его температура повышается и достигает некоторых критических значений, резко снижающих его гарантийные сроки службы. Проблема отвода избыточного тепла от LED-кристалла становится критически важной в связи с появлением на рынке компактных высокомоощных (десятки, сотни ватт) LED-кластеров. Во многом от решения именно этой проблемы зависит дальнейший прогресс в увеличении удельных энергетических характеристик высокомоощных светодиодных светильников и прожекторов.

В абсолютном большинстве современных светодиодных конструкций реализована компоновка по правилу «кристалл: спереди стекло, сзади радиатор». Такая компоновка себя полностью оправдывала для предыдущего поколения маломощных LED. Для современных высокомоощных LED-кластеров такого подхода к охлаждению оказалось явно недостаточно. Ситуацию удалось частично решить за счет перехода на металлические печатные платы (Metal Core Printed Circuit Board, MC PCB). Тепло «разгонялось» по всей поверхности этих плат, увеличивалась площадь, на которой можно было бы разместить дополнительные радиаторы. Но и возможности этого решения из-за стремительного роста удельных генерирующих мощностей фактически уже исчерпаны.

Критический анализ существовавших подходов к проектированию систем охлаждения светильников и других тепловыделяющих электронных устройств позволил нам найти неиспользуемые до настоящего времени резервы в отводе тепла: это так называемые фронтальные и транзитные схемы отвода тепла. Обе они предназначены для интенсификации отвода тепла с лицевой, передней стороны печатных плат, на которых и смонтированы светодиоды.

Фронтальное охлаждение

Напомним [1–4], что под этим термином подразумевается отвод тепла с помощью специально сконструированных радиаторов охлаждения, располагаемых на фронтальной стороне MC PCB (рис. 1).

Кроме основной функции — охлаждения, фронтальные радиаторы могут выполнять одновременно и другую роль, т. е. служить основой для монтажа (рис. 2) оптических элементов светильника. Назначение этих элементов — управление (фокусирование, рассеивание, отклонение и т. д.) светом. Такое «индивидуальное» оптическое решение для каждого светодиода открывает новые возможности для управления качеством света светильника в целом. В зависимости от назначения светильника одна часть светодиодов, входящих в кластер, может быть снабжена, например, рассеивающей оптикой, другая — фокусирующей, третья — отклоняющей. В результате их совместной работы могут быть получены такие световые поля, достижение которых

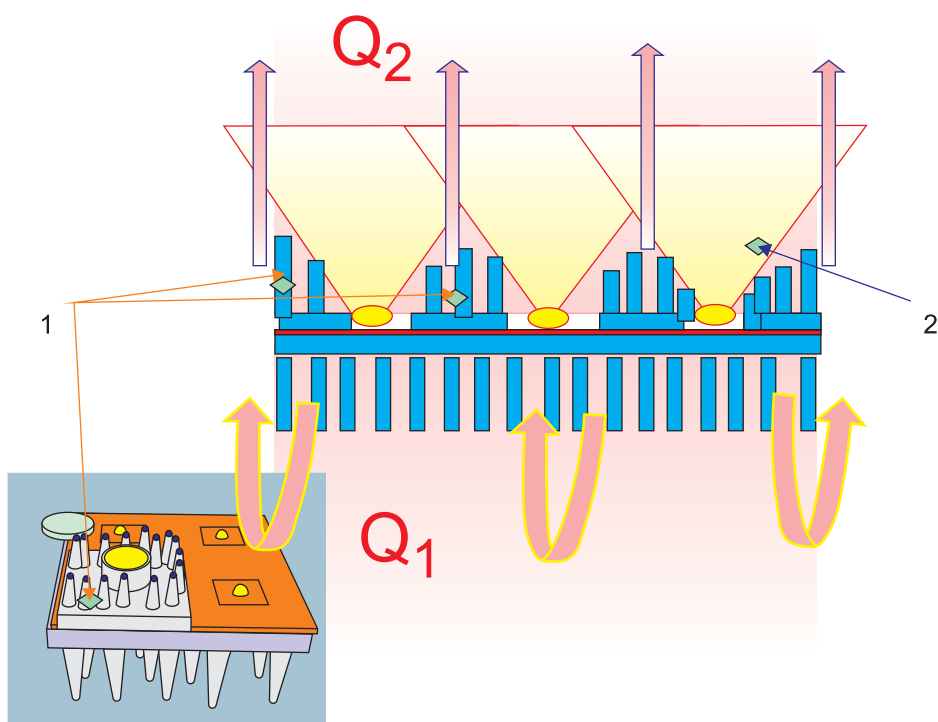


Рис. 1. Размещение радиаторов на фронтальной стороне MC PCB

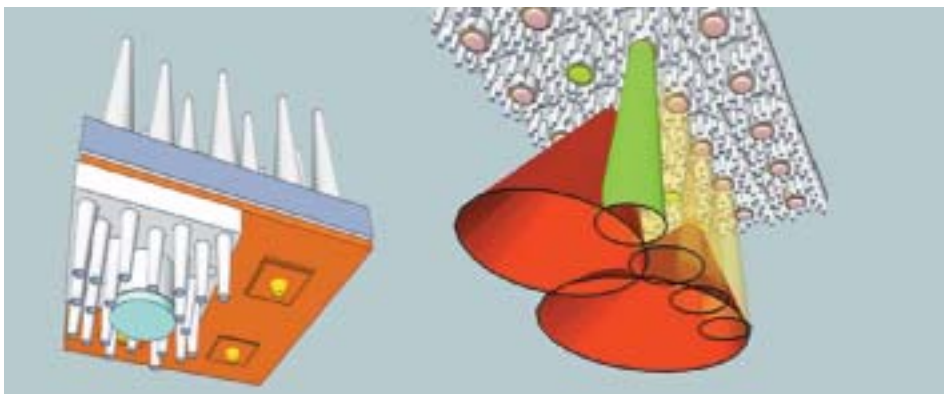


Рис. 2. Фронтальные радиаторы как основа для монтажа

традиционными способами либо очень затратно, либо практически невозможно.

Транзитное охлаждение

Хорошо известно, что эффективность охлаждения электронных устройств, размещенных на печатной плате, существенно зависит от фактора ориентации плат в пространстве (вертикальноориентированная плата охлаждается в 1,2–1,5 раза интенсивнее, чем при горизонтальной ориентации, самой распространенной для светильников). Это объясняется различием аэродинамических условий при обтекании нагретых плат холодным внешним воздухом.

При горизонтальной ориентации плат (рис. 3) молекулам воздуха, нагретым вблизи нижней стороны платы 1, необходимо преодолеть путь S_{1H} до области 2 смещения с внешним, холодным воздухом, который существенно длиннее пути S_{1B} для нагретого на верхней стороне платы воздуха. Это, естественно, затрудняет процесс теплообмена, снижает его эффективность.

Ускорить теплообмен с фронтальной поверхности можно за счет организации так называемого сквозного (транзитного)

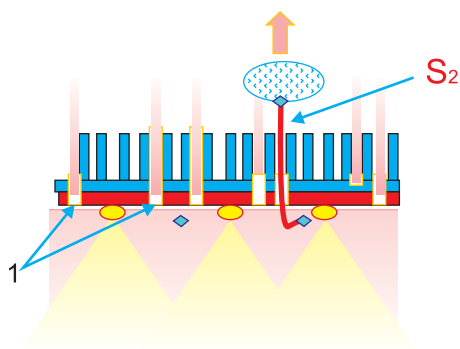


Рис. 4. Вариант отвода тепла

охлаждения [2]. Сущность такого охлаждения — организация отвода нагретого «нижнего» воздуха другим, более коротким путем S_2 (рис. 4).

Для этого на тыловой поверхности печатной платы 2 (рис. 4) размещают радиаторы специальной формы со сквозными отверстиями для беспрепятственного прохода (транзита) горячего воздуха вверх. За счет этого сокращается путь S_2 до области смешения с холодным воздухом и, соответственно, интенсифицируется теплообмен. Места расположения на МС РСВ этих транзитных радиаторов зависят от конкретной топологии смонтированного на ней электронного устройства (отверстия не должны пересекаться с печатными дорожками).

Транзитные радиаторы (рис. 5) могут состоять из двух взаимопроникающих частей: нижнего сопла 1, забирающего нижний теплый воздух, и верхней части 2, представляющей собой классический

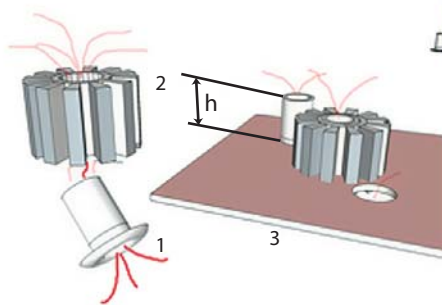


Рис. 5. Транзитный радиатор

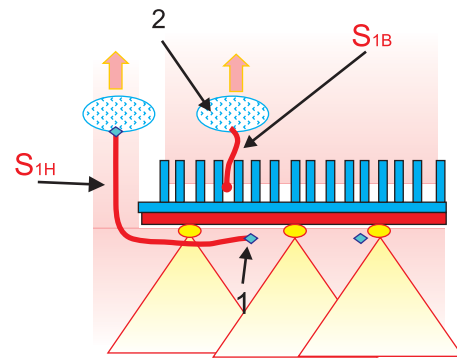


Рис. 3. Горизонтальная ориентация платы

радиатор 3 с развернутой поверхностью и отверстием посередине.

При этом важно отметить, что за счет высоты h возникает перепад давлений, усиливающий эффект подсоса нижнего теплого воздуха — эффект вытяжной трубы. Интересно, что при последовательном уменьшении высоты до толщины охлаждаемой платы МС РСВ радиатор морфологически преобразуется в отверстие сквозь эту плату.

Выбор материала для изготовления радиаторов

Материал, предназначенный для изготовления таких сложных по форме и высокоточных радиаторов, должен удовлетворять как минимум трем требованиям:

- Обладать теплопроводностью λ , необходимой и достаточной для подвода к охлаждающей поверхности такого количества тепла Q (рис. 5), которое реально может «забрать»

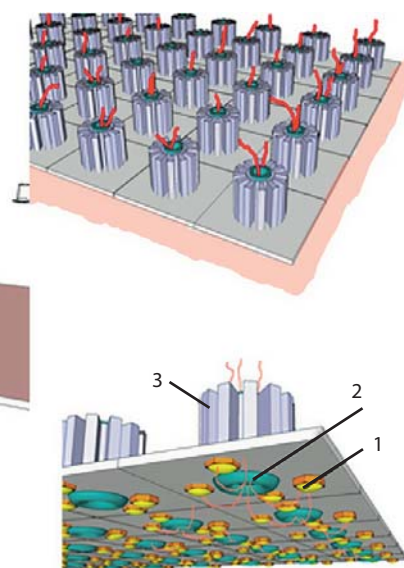
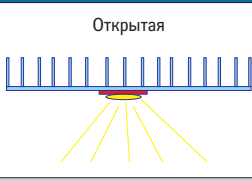
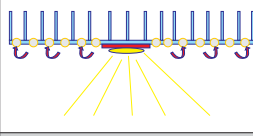
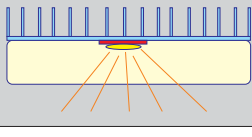
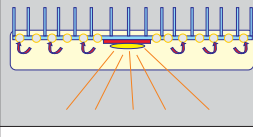
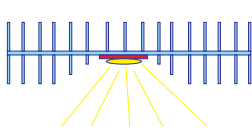
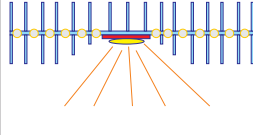


Таблица 1. Сравнение эффективности различных систем охлаждения

	Схема охлаждения	T_{\max} , °C	$T_{\max}-T_{\text{air}}$, °C	Транзитное охлаждение	T_{\max} , °C	$T_{\max}-T_{\text{air}}$, °C	Эффективность снижения T_{\max}	
							Абсолютная, °C	Относительная, %
1	Открытая 	+75	50		+71	46	-4	8%
2	С плафоном (традиционная) 	+80	55		+74	49	-6	10%
3	Фронтальная 	+71	46		+67	42	-4	8%

себе окружающий воздух в условиях естественного охлаждения. Расчеты и многочисленные эксперименты относят к ним материалы с теплопроводностью λ выше 7–10 Вт/м·К — металлы и теплопроводящие пластмассы [3].

- Перерабатываться с помощью технологий, обеспечивающих высокую точность их изготовления, соизмеримую с точностью изготовления корпусов кластеров.
- Быть конкурентоспособным по себестоимости в условиях массового производства.

Недавно появившиеся на рынке теплопроводящие пластмассы обладают близкой (на уровне 90–95%) к алюминию теплоотводящей способностью (при естественном охлаждении). Изделия из таких пластиков почти в два раза легче аналогичных алюминиевых, себестоимость их в три-пять раз меньше.

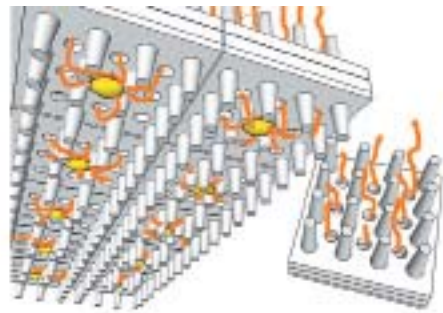


а

Экспериментальная проверка

Для экспериментальной проверки эффективности транзитного охлаждения исследовались различные схемы на примере светодиодного кластера мощностью 25 Вт (No Brand), размером 20×20 мм, расположенного на алюминиевой подложке размером 40×40×1 мм. Этот кластер был закреплен (рис. 6) через теплопроводную пасту на алюминиевой пластине размером 165×165×1,8 мм. В качестве радиаторов охлаждения использовались игольчатые модульные радиаторы М50 с размерами 50×50×25 мм, изготовленные из теплоотводящего полимерного композита «ТЕПЛОСТОК Т6-Э5-7» с теплопроводностью не менее 6 Вт/м·К.

Транзитное охлаждение обеспечивалось модификацией конструкции нижних и верхних радиаторов за счет введения системы из 76 отверстий диаметром 5,2 мм, просверленных через основания нижнего, верхнего радиаторов и базовую алюминие-



б

вую пластину. В результате эффективная высота h вставок радиаторов составляла 12 мм. Общая площадь вентилирующих отверстий в данной системе охлаждения составила 16 см² (6% от охлаждаемой площади).

Эффективность систем охлаждения оценивалась по разнице температур окружающего воздуха T_{air} и самой горячей точки конструкции T_{\max} , под которой обычно подразумевается температура корпуса LED-кластера ($T_{\max}-T_{\text{air}}$). Эта величина напрямую связана с тепловым сопротивлением системы охлаждения: чем она меньше, тем эффективнее работа системы охлаждения в целом.

Температура T_{\max} измерялась термопарой внутри отверстия диаметром 1 мм, просверленного в центре алюминиевой платы, непосредственно под заводской подложкой кластера. Фиксировались значения температуры при установившемся тепловом режиме работы сборки (как правило, через полтора-два часа после начала эксперимента).

В качестве базовой схемы охлаждения использовалась горизонтальноориентированная конструкция «традиционного» (с плафоном) теплового дизайна — радиаторы сверху, LED-кристаллы снизу, защищены прозрачным плафоном — позиция 2, таблица 1. Для такой конструкции была зарегистрирована максимальная среди всех сравниваемых конструкций температура — +80 °C (перепад 55 °C).

Полученные результаты подтверждают эффективность введения транзитного охлаждения в любые известные

Рис. 6. а) Кластер, закрепленный на алюминиевой пластине; б) игольчатые модульные радиаторы охлаждения

Таблица 2. Снижение температур кристаллов в различных системах охлаждения

Схема охлаждения	T_{\max} , °C	$T_{\max} - T_{\text{air}}$, °C	Эффект снижения T_{\max}	
			Абсолютная, °C	Относительная, %
Традиционная	+80	55	0	0
Фронтальная	+71	46	-9	-16%
Фронтальная+транзитная	+67	42	-4	-24%

в настоящее время схемы организации естественного охлаждения электронных устройств. Вне зависимости от используемой схемы, дополнительное введение элементов транзитного охлаждения, требующее, по существу, минимальных дополнительных затрат, сопровождалось уменьшением рабочей температуры (T_{\max}) светодиодного кластера.

Наибольший эффект снижения температур кристаллов достигается (табл. 2) в случае комбинированного применения двух, дополнительных к традиционным, систем охлаждения — фронтальных радиаторов и транзитного охлаждения. В этом случае наблюдается фактически 25%-ное увеличение эффективности охлаждения исследуемого LED-кластера.

На рис. 7 приведены фото реальных конструкций LED-светильников различных

производителей с фронтальной системой охлаждения, изготовленных из теплорассеивающих пластмасс.

Литература

1. Пат. № 2546963 (РФ) «Устройство для отвода тепла от тепловыделяющих компонентов» / Ю. И. Сакуненко, В. С. Кондратенко.
2. Пат. № 130669 (РФ) «Светодиодный светильник» / Ю. И. Сакуненко, В. С. Кондратенко.
3. Сакуненко Ю. И., Кондратенко В. С. Двустороннее охлаждение высоко-мощных светодиодных кластеров // Полупроводниковая светотехника. 2014. № 3.
4. Prof., Dr. Vladimir Kondratenko, Dr. Yuriy Sakunenko, Dr. Hung-Tu Lu, Dr. Alexander Naumov. New Approaches



Рис. 7. LED-светильники с фронтальной системой охлаждения

and Materials for the Effective Frontal Cooling of the Powerful Light-emitting Diode Cluster // Strategies in Light, LED JAPAN. Pacifico Yokohama. 2014.

5. Кондратенко В. С., Сакуненко Ю. И. Энерготранспортирующие полимерные композиты и примеры их применения в объектах новой техники. Сб. трудов III научно-практической конференции «Фундаментальные исследования и инновационные технологии в машиностроении». Институт машиноведения РАН РФ. Москва. 2014.