

Определение температуры p - n -перехода

в светодиодных кластерах и одиночных светодиодах

Разработка и проектирование светодиодных светильников на основе кластеров или отдельных светодиодов требует точного знания температуры p - n -перехода в рабочем режиме. Эта температура может зависеть от величины действующего прямого тока, конкретной конструкции светильника, температуры окружающей среды, а также от особенностей применяемых диодов или кластеров.

Обычно в светильниках имеется радиатор, предназначенный для рассеяния тепла, выделяемого кластерами или светодиодами, и казалось бы, задача легко решается путем простого измерения температуры радиатора. Однако на практике все обстоит значительно сложнее. Во-первых, температура p - n -перехода отличается от температуры точки пайки светодиода на величину, определяемую тепловым сопротивлением светодиода или кластера. Во-вторых, температура радиатора в доступных для измерения точках отличается от температуры точки пайки на величину, зависящую от строения и материала конкретного радиатора, что может ввести в заблуждение разработчика светильников. В-третьих, такое измерение температуры p - n -перехода будет возможно только на полностью готовой конструкции светильника, что усложняет и удорожает исследование, поскольку по его результатам вполне возможен вывод о переделке светильника с целью снижения температуры светоизлучающих компонентов.

Имеется еще ряд соображений, которые вынуждают специально задумываться о корректном измерении температуры именно p - n -перехода, поскольку в основном эта температура и определяет, насколько долгоживущей окажется применяемая конструкция по сравнению с другими при прочих равных условиях. К числу таких соображений, к примеру, можно отнести обсуждающуюся возможность применения в качестве материала для радиаторов различного рода пластики с повышенной теплопроводностью. Темпериатура радиатора, изготовленного из такого пластика,

будет заведомо отличаться от температуры p - n -перехода отдельного светодиода, что только усиливает потребность в корректном измерении подобного параметра.

Отдельно следует предостеречь от желания решать температурные задачи с помощью различного рода пирометров (тепловизоров), т. е. судить о реальной температуре изделия по его радиационной температуре. Такое суждение может оказаться полезным, когда речь идет о распределении температуры по поверхности изделия, но поскольку результаты этих измерений очевидным образом существенно зависят от оптических свойств измеряемого участка (степень черноты, т. е. степень приближения к абсолютно черному телу), то считать полученную в таких измерениях температуру абсолютной никак нельзя.

Наконец, следует отметить, что можно судить о температуре p - n -перехода, изучая спектральные свойства его излучения, например по сдвигу максимума спектра излучения. Подобные более или менее успешные попытки измерения предпринимаются [2], но совершенно не могут быть рекомендованы как инструмент для разработчика, поскольку требуют детальных знаний о спектрах применяемых приборов, которые легко могут меняться от случая к случаю в зависимости от типа применяемых светодиодов или светодиодных кристаллов.

На сегодняшний момент, по-видимому, наиболее точным и адекватным следует считать способ измерения температуры p - n -перехода по прямому падению напряжения на переходе при протекании через него определенного измерительного тока. Известно, что повышение абсолютной температуры перехода светоизлучающих кристаллов приводит к практически линейному понижению прямого падения напряжения на переходе во всем интересном для практики диапазоне температур $-40 \dots +120$ °С. Соответствующий температурный коэффициент напряжения (ТКН) может зависеть от типа кристаллов. Для светодиодов, применяемых с целью освещения, т. е. синих светодиодов, покрытых люминофором, этот коэффициент составляет около 3–4 мВ на 1 °С

из расчета на один переход. У последовательно соединенных в цепочку светодиодов ТКН всей цепочки будет в соответствующее число раз больше. Зная этот коэффициент и измеряя прямое падение напряжения на переходе при фиксированном измерительном токе, можно с весьма высокой точностью (на практике до долей градуса) судить о реальной температуре p - n -перехода. Очевидный недостаток такой методики измерения состоит в том, что любой измерительный ток, протекая через p - n -переход, нагревает его и, следовательно, несколько повышает его текущую температуру. Этот недостаток можно в значительной степени преодолеть, подавая на переход измерительный ток в виде кратковременных (длительностью в несколько микросекунд) импульсов. Если импульсы подавать на светодиод достаточно редко, с частотой в несколько герц, то ни за время действия одного импульса, ни за длительное время измерений температура перехода измениться не успеет, точнее, изменится крайне незначительно из-за очень малой мощности, подводимой к светодиоду в процессе измерений. В то же время, определяя прямое падение напряжения на переходе в процессе воздействия импульса, можно получить достоверную информацию о реальной температуре перехода в этот момент. В промежутках между импульсами измерительного тока на светодиод можно подавать любой допустимый нагревающий (рабочий) ток, прерывая его только на момент возникновения измерительного импульса.

По имеющимся у авторов данным, впервые подобный метод измерения в виде конкретного прибора был осуществлен С. Г. Забродским в фирме «Корвет Лайтс». В настоящей работе приборы, применяющие такую методику измерений, были в значительной мере усовершенствованы. Было изготовлено несколько модификаций подобных устройств, позволяющих работать либо с отдельным диодом, либо с длинной цепочкой последовательно соединенных диодов (кластером).

В предлагаемых приборах измерительный ток может быть выбран по усмотрению опе-

ратора от единиц до 750 мА. Это позволяет работать со светодиодами практически любых размеров, вплоть до самых мощных. При этом в измерениях можно независимо устанавливать нагревающий ток в пределах 0–750 мА. Светодиод подключается к измерительному прибору по четырехпроводной схеме, позволяющей исключить погрешность, связанную с падением напряжения на соединительных проводах, которая оказывается довольно значительной при больших токах (порядка нескольких сотен миллиампер).

Для измерения температуры относительно небольших кластеров был изготовлен образец прибора, позволяющий работать с кластерами с общим падением напряжения до 24 В. Все остальные параметры, уровни измерительного/нагревающего тока и способ подключения остались такими же. И наконец, для работы с кластерами с общим падением напряжения до 75 В был изготовлен третий образец прибора с аналогичными параметрами, но с подключением по обычной двухпроводной схеме, поскольку в таких кластерах относительное влияние погрешности, связанной с дополнительным падением напряжения на подводящих проводах, оказывается существенно (примерно на полтора порядка) меньшим, чем в случае одиночных светодиодов.

Другой существенной особенностью предлагаемой методики является необходимость каким-либо образом получить сведения о температурном коэффициенте напряжения для исследуемых светодиодов. В данных, которые обычно приводятся в технической документации на светодиоды, этот параметр не всегда присутствует. Кроме того, информации, приводимой производителем, не всегда можно доверять. Такие данные можно было бы получить при наличии климатической камеры, которая позволила бы произвести измерения с диодом или кластером при различных температурах. Климатическая камера, однако, является довольно дорогостоящим и громоздким устройством и не всегда она доступна разработчику для таких измерений. Поэтому для определения ТКН отдельных светодиодов был изготовлен так называемый «термостол» — компактное и недорогое устройство, позволяющее поддерживать стабильную температуру небольшой платы со светодиодом в диапазоне +10...+150 °С. Устройство представляет собой небольшую плату из дюралюминия с платиновым температурным датчиком, которая может подогреваться или охлаждаться при помощи установленных один на другом двух элементов Пельтье. Температура внешней поверхности пластины, на которой закреплена плата с исследуемым светодиодом, контролировалась платиновым датчиком температуры фирмы Honeywell и специально сконструированным контроллером на базе температурного контроллера Autonics. Все устройство позволяло в процессе измерений программировать контроллер на любое желаемое значение температуры из указанного диапазона и далее, после достижения требу-

емого значения, поддерживать температуру верхней поверхности пластины в пределах $\pm 0,2$ °С. Нижняя граница рабочего диапазона температур определялась точкой росы, поскольку прибор был открыт и при достаточно низкой температуре платы влажность в лаборатории в виде оседающей на пластину росы определяла нижнюю достижимую границу температур. Верхний предел температур очевидным образом определялся максимальной рабочей температурой перехода. В приборе предусмотрен вентилятор, работающий тогда, когда элементы Пельтье работают на охлаждение.

На рис. 1 приведены графики, описывающие прямое падение напряжения на диоде при изменении температуры термостол в пределах +20...+140 °С. Из приводимых данных видно, что имеется небольшая нелинейность в зависимости прямого падения напряжения от температуры. На графиках видно, что толщина медного покрытия платы, на которой устанавливается светоизлучающий кристалл, существенным образом влияет на температуру перехода. Более толстое покрытие снижает температуру *p-n*-перехода благодаря лучшему отводу тепла от кристалла из-за гораздо более массивного медного покрытия. Если удалить платку со светодиодом с термостол и измерить прямое падение

напряжения на ней при каком-нибудь нагревающим токе, то, пользуясь полученным графиком, можно легко установить, какую именно температуру имеет *p-n*-переход при выбранном уровне нагрева.

Оба прибора, измеритель прямого падения и «термостол», позволяют определить тепловое сопротивление отдельного светодиода, напаянного на плату. По определению тепловое сопротивление светодиода показывает, насколько повышается температура перехода при подаче на светодиод мощности в 1 Вт. Поэтому измерение теплового сопротивления требует выполнения следующей цепочки действий:

1. Измеряется прямое падение напряжения установленного на плате светодиода при нулевом нагревающим токе и какой-либо температуре, например температуре окружающей среды.
2. На светодиод подается какой-нибудь нагревающий ток, например 350 мА, и вновь измеряется прямое падение на светодиоде.
3. По графику (рис. 1) определяется, насколько повысилась температура *p-n*-перехода при пропускании через него выбранного нагревающего тока.
4. Вычислив по протекающему току и прямому падению напряжения на светодиоде прикладываемую к нему мощность с одной

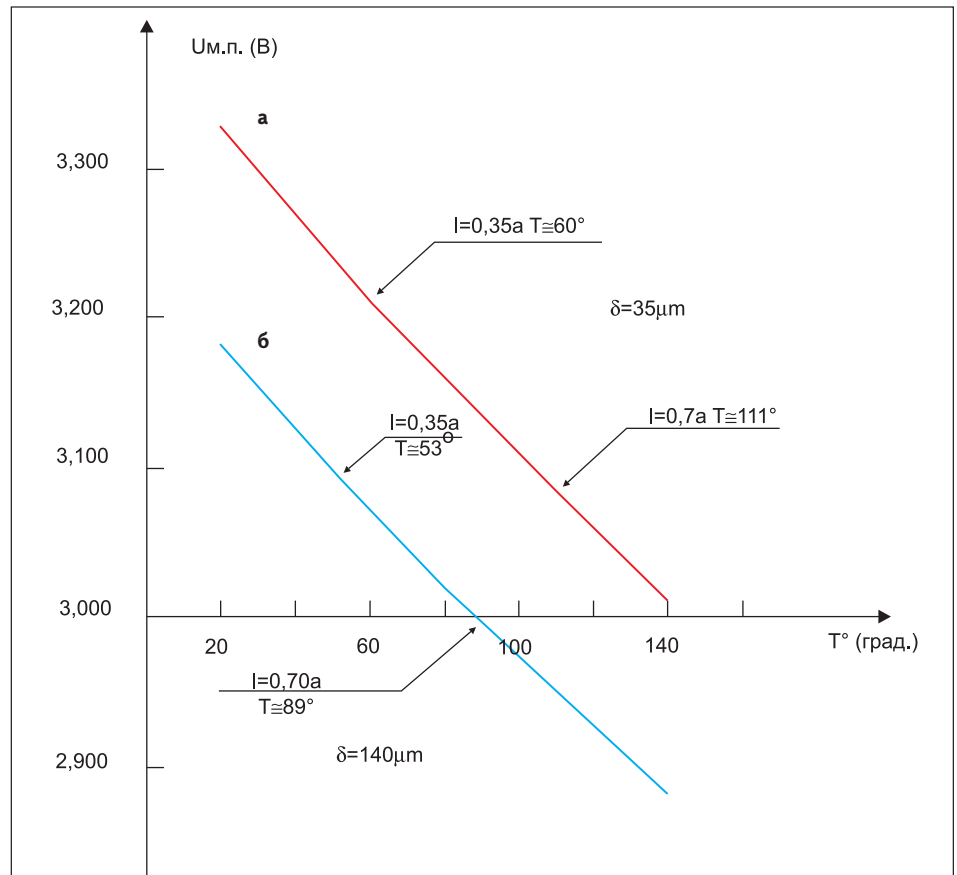


Рис. 1. Зависимость прямого падения напряжения на *p-n*-переходе от температуры для двух образцов СОВ-диодов: а) диод, собранный на плате с толщиной медного покрытия 35 мкм; б) диод, собранный на плате с толщиной медного покрытия 140 мкм (стрелками показаны температуры *p-n*-переходов при различных токах через переход (0,35 и 0,70 мА), измеренные для плат, свободно висящих в воздухе, при температуре окружающей среды 18 °С)



Рис. 2. Измеритель прямого падения напряжения с программой, установленной на ПК

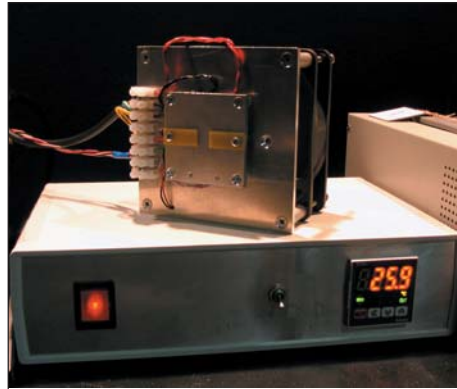


Рис. 3. Термостол с контроллером температуры

стороны, и повышение температуры, определенное по графику, с другой, можно легко определить тепловое сопротивление изучаемой конструкции, поделив одно значение на другое.

На рис. 2 показан измеритель прямого падения напряжения с отображением результата измерения на ПК, а на рис. 3 — термостол с контроллером. В заключение добавим, что конструкция термостола позволяет закрепить его на гониофотометре, расположив исследуемый диод или кластер на пластине 60×60 мм, и произвести оптические измерения, например силы света в контролируемых по температуре условиях, что позволяет, как минимум, проконтролировать данные, предоставляемые производителем в части

температурной зависимости силы света и зависимости силы света от уровня тока, протекающего через диод. Термостол, позволяющий работать с кластерами больших размеров, например 240×50 мм, находится в стадии изготовления. ●

Литература

1. Николаев Д., Феопентов А. Основы теплового менеджмента при конструировании ПСП // Полупроводниковая светотехника. 2010. № 1.
2. Абрамов В. С., Сушков В. П., Сышко Н. И. Метод измерения температуры *p-n*-перехода светодиодов // Светодиоды и лазеры. 2002. №№1–2.