

О влиянии повышения температуры окружающей среды на срок службы светодиодов

А. МУКХЕРДЖИ¹, А. СОНИ

Университет Суреш Гиан Вихар и Университет Manipal, Джайпур, Индия

Аннотация

Статья посвящена влиянию повышения температуры окружающей среды и температуры точки температурного контроля (ТТК) на сроки службы светодиодов (СД). Ранее проведённые исследования показали, что срок службы СД в основном зависит от температуры $p-n$ -перехода. Для большинства мощных СД, находящихся внутри светильников, основной проблемой является отвод тепла, выделяющегося на $p-n$ -переходе. В работе предпринята попытка исследования основных ограничений, накладываемых на отвод тепла, и, как следствие, на использование СД для целей общего освещения. Исследования осуществлялись в два этапа. Во-первых, исследовалось уменьшение светового потока при увеличении температуры окружающей среды. Во-вторых, исследовалось влияние увеличения температуры ТТК на срок службы СД. Эксперименты проводились с использованием мощных СД, подвергавшихся внешней термической нагрузке. Температура внутри климатической камеры соответствовала температуре окружающей среды при работе СД. Температура внутри камеры и температура ТТК измерялись при помощи термодпары ТХА. Полученные данные представлены в табличном виде и сопоставлены с результатами измерений светового потока. Для установления связи между параметрами полученные результаты статистически анализировались.

Ключевые слова: светодиод, светильник, температура $p-n$ -перехода, температура окружающей среды, ТТК, продолжительность горения.

1. Введение

В 2001 г. было установлено, что отсутствие должного регулирования температуры приводит к уменьшению срока службы СД. Это обстоятельство наиболее сильно влияет на внедрение СД как перспективного решения проблемы энергосбережения [1].

В работе [1] приведены фотометрические характеристики СД как возможных кандидатов на замещение менее энергоэффективных источников света. Впоследствии были проведены исследования спектрального состава излучения СД. Исследовалось также влияние устройств управления на характеристики СД [2].

В 2004 г. было предложено аналитическое выражение, описывающее температурный коэффициент изменения прямого напряжения на СД. Было показано, что этот коэффициент зависит от внутренней концентрации носителей, ширины запрещённой зоны и эффективной плотности состояний. Эти результаты были подтверждены экспериментами, проведёнными на УФ-диоде на нитриде галлия [3].

В 2008 г. исследователи обратили внимание на влияние повышения температуры ТТК на срок службы СД. Температура ТТК имеет чрезвычайно важное значение, так как снабжает производителя достаточной информацией об обусловленном нагревом уменьшении срока службы СД. Посредством этой информации производитель может выбирать размеры радиатора и значение тока СД [4]. Знание температуры ТТК важно, так как она связана с конструкцией радиатора и способом отвода тепла от прибора. Повышение нормированного значения температуры ТТК говорит о возможности уменьшения размеров радиатора.

Вопросам измерения температуры $p-n$ -перехода посвящено много исследований, и современный подход здесь основан на результатах рабо-

ты [5]. Измерение сдвига длины волны служит эффективным способом определения температуры $p-n$ -перехода СД [6].

Сроки службы СД, прогнозируемые производителями, сильно отличаются от реальных, так как при прогнозировании не учитывается влияние светильника. (Большинство прогнозов срока службы относятся к срокам службы СД без учёта влияния приборов, в которых СД работают.)

Главная цель данного исследования – определение срока службы СД, помещённого в светильник, с учётом влияния температуры окружающей среды и температуры ТТК.

2. Эксперимент

В экспериментах использовались изготовленные разными производителями СД размером 3 мм с большим световым потоком и рабочим током 100 мА. Напряжение пробоя было равно 3,8 В, а мощность при указанном токе – 389 мВт. Основной причиной использования СД размером 3 мм было то, что в большинстве светильников прямой замены («ретрофитных»), применяемых для внутреннего освещения, используются СД размером именно 3 мм, а не 5 мм, как обычно. Если говорить о тепловом режиме, то основная проблема именно в светильнике. Однако аналогичные эксперименты можно проводить и на СД размером 5 мм. Партия, выбранная для проведения экспериментов, состояла из 15 СД на основе арсенида галлия. Перед началом экспериментов СД отжигались 100 ч, маркировались как СД1, СД2, ..., СД14, СД15 и помещались в испытательную камеру (рис. 1). Последняя имела два важных свойства: поддерживала внутри себя



Рис. 1. Камера для испытаний СД на срок службы

¹ E-mail: mukherjeeanirudh73@gmail.com
Перевод с англ. Е.И. Розовского.



Рис. 2. Стойка для испытаний СД на срок службы

постоянное значение температуры и выступала в роли интегрирующей сферы. Каждый из СД монтировался в центре внутренней верхней поверхности камеры. Световой поток измерялся люксметром. Внутри камеры имелся небольшой белый экран для защиты люксметра от прямого света СД, так что на датчик попадал только отражённый свет. Наверху экрана были помещены две термодпары ТХА. Одна из них использовалась для измерения температуры в камере, а вторая – температуры ТТК. Температура в камере повышалась горячим воздухом, вручную вдуваемым в камеру

через терморегулятор. На рис. 2 показана стойка с СД, которая использовалась при проведении испытаний на срок службы [5, 7–9].

Указанная стойка помещалась в комнате, в которой поддерживалась температура 25 °С (± 1 °С). Устройства управления, располагавшиеся вне камеры, обеспечивали требуемые рабочие токи находящихся в камере СД. Как уже упоминалось, эксперимент проводился в два этапа.

2.1. Изменение температуры *p-n*-перехода при изменении температуры окружающей среды

Первый этап касался исследования изменения температуры *p-n*-перехода при изменении температуры окружающей среды. СД подвергались воздействию разных температур окружающей среды, и при этом регистрировались соответствующие изменения температуры *p-n*-перехода. Результаты приведены в таблице и на рис. 3. Температура окружающей среды T_a изменялась от 27 до 60 °С.

Полученные данные были представлены в виде графиков, показывающих, что температура ТТК возрастает с ростом T_a экспоненциально. С помощью программы «*ORIGIN Pro*

8» графики были аппроксимированы с коэффициентом детерминации $R^2 = 99,68\%$ как

$$y = A_1 e^{\left(\frac{-x}{t_1}\right)} + y_0,$$

где y и x – температура ТТК и T_a соответственно, °С; $A_1 = 1,5532$; $t_1 = 19,23$; $y_0 = 35,75$.

2.2. Изменение светового потока при изменении температуры ТТК

На следующем этапе определялась зависимость светового потока от температуры ТТК. Световой поток СД, работающего при T_a 50 °С, измерялся в течение 500 ч горения. Такая T_a соответствует рабочим температурам исследовавшихся СД [10, 11], являясь существенной «нагрузкой» для них [12, 13]. Измерения производились через каждые 25 ч работы. Это обеспечивало достаточное повышение температуры *p-n*-перехода перед следующим измерением. Полученные результаты приведены на рис. 4. Построенные на основе этих данных кривые регрессии отражают влияние тепловой «нагрузки» на световой поток СД. Была проведена экстраполяция уменьшения светового потока и показано, что температура ТТК растёт с ростом времени горения, что приводит к снижению светового потока. Испытания проводились на всех задействованных образцах. Данные представлены для СД1, СД2, СД3, СД4, СД5, СД6, СД9, СД10, СД13 и СД15. Остальные СД не выдержали нагрузку, отказав до окончания испытаний. Причину отказа ещё предстоит установить.

Из рис. 4 следует, что световой поток спадает по экспоненциальному закону, который с коэффициентом детерминации $R^2 = 99,68\%$ может быть записан как

$$y = A_2 e^{R_0 x} + y_0,$$

где y – световой поток, %; x – продолжительность горения испытываемого СД, ч; $A_2 = 48,61$; $R_0 = 59,15$; $y_0 = -0,00159$.

3. Выводы

Целью исследований было определение влияния T_a на характеристи-

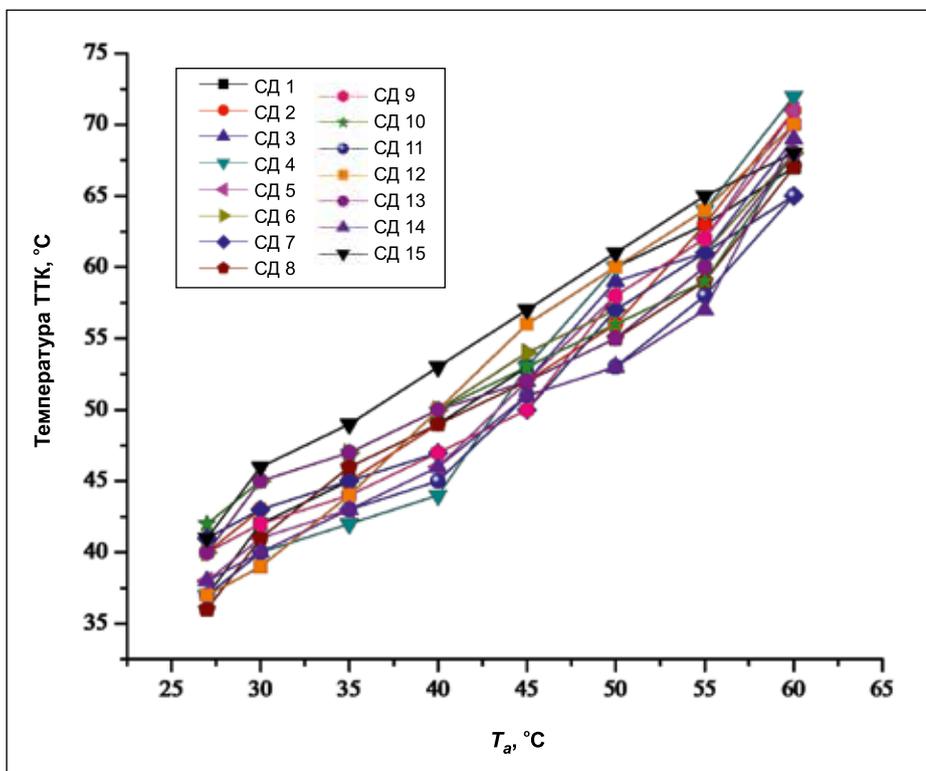


Рис. 3. Зависимость температуры ТТК от температуры окружающей среды T_a

Зависимость температуры точки температурного контроля (ТТК) от температуры окружающей среды T_a

T_a , °C	Температура ТТК, °C														
	СД1	СД2	СД3	СД4	СД5	СД6	СД7	СД8	СД9	СД10	СД11	СД12	СД13	СД14	СД15
27	37	40	38	37	38	40	41	36	40	42	37	37	40	38	41
30	42	43	40	40	41	45	43	41	42	45	40	39	45	40	46
35	45	45	43	42	43	47	45	46	44	47	43	44	47	43	49
40	49	49	46	44	46	50	47	49	47	50	45	50	50	46	53
45	53	52	52	53	52	54	50	52	50	53	51	56	52	51	57
50	60	56	59	60	58	57	57	55	58	56	53	60	55	53	61
55	63	63	61	64	62	61	61	59	62	59	58	64	60	57	65
60	67	71	69	72	71	68	65	67	70	68	65	70	68	69	68

ки СД с большим световым потоком. Показано, что с увеличением T_a растёт и температура ТТК. Знание температуры ТТК очень важно для определения того, насколько хорошо светильник должен отводить тепло. Низкая температура ТТК при высокой T_a затрудняет использование пассивных радиаторов для отвода тепла. Поэтому в светильниках с низкой температурой ТТК требуется использовать вентиляторы или активные радиаторы, что удорожает светильники. И наоборот, высокие температуры ТТК позволяют легко отводить тепло пассивными радиаторами.

Как следует из результатов второго эксперимента, увеличение температуры ТТК приводит к существенному уменьшению светового потока. У СД1, СД5 и СД10 световой поток уменьшился со 100 до 74%, у СД2 и СД13 – до 75%, у СД3 и СД4 – до 72%, а у СД6, СД9 и СД15 – до 73%. Так что было установлено – увеличение температуры ТТК (рабочей) влияет на световой поток.

Математические выражения также отражают глубинную связь между T_a и температурой ТТК, равно как и между световым потоком и продолжительностью горения.

Эти и аналогичные исследования отражают термочувствительность СД. T_a играет важную роль, так как большинство светильников с СД – приборы закрытого типа, и тепло, которое «заперто» внутри светильника, существенно влияет на световой поток СД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bullough, J. Light Emitting Diode Lighting Systems // Lighting Answers. – 2003. – Vol.7, No.3. National Lighting Product Infor-

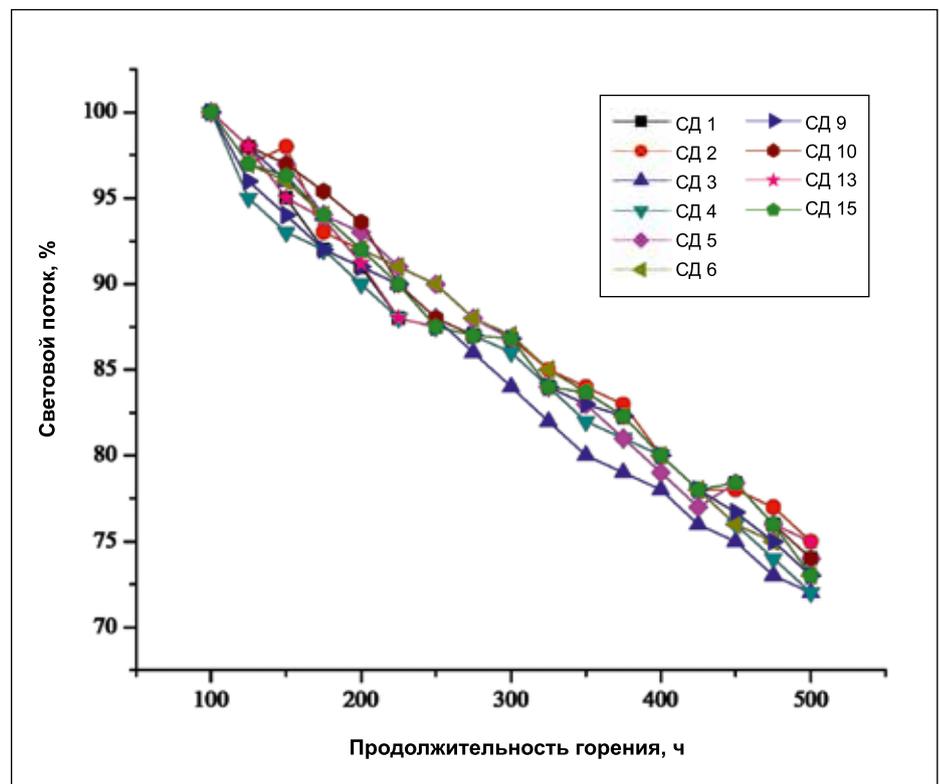


Рис. 4. Зависимость светового потока от продолжительности горения при неблагоприятных внешних воздействиях

mation Program, Lighting Research Center, Troy, NY.

2. The Alliance for Solid State Illuminations and Technologies, ASSIST, Osram Opto Semiconductors, «LED Basics», pp. 1–26, 1st September 2010.

3. The Alliance for Solid State Illuminations and Technologies, ASSIST, PHILIPS LUMILEDS, «Technology White Paper, Understanding power LED lifetime analysis», pp. 1–11, 2008.

4. Xi, X., Schubert, E.F. Junction-temperature measurement in GaN ultraviolet light-emitting diodes using diode forward voltage method // Applied Physics Letters. – 2004. – Vol. 85, No. 12. – P. 2163.

5. Jayawardena, A., Yi-wei Liu, Narendran, N. Methods for estimating the junction temperature of AC LEDs // Council for Optical Radiation Measurements (CORM) 2012 Annual Technical Conference, Ottawa, Ontario, 29 May – 1 June 2012.

6. Narendran, N., Bullough, J. D., Maliyagoda, N., Bierman, A. What is the useful life for white LEDs? // JIES. – 2001. – Vol. 30, No. 1. – P. 57–67.

7. IEC62612 Self-ballasted LED lamps for general lighting services with supply voltages > 50 V – Performance requirements, International Electrotechnical Commission, June 2013.

8. Meneghesso, G., Levada, S., Pierobon, R., Rampazzo, F., Zanoni, E., Cavallini, A.,

Castaldini, A., Scamarcio, G., Du, S., Elia-shevich, I. Degradation mechanisms of GaN-based LEDs after accelerated DC current aging // *IEDM Tech. Dig.* – 2005. – P. 103–106.

9. Trevisanello, L., Meneghini, M., Mura, G., Vanzi, M., Pavesi, M., Meneghesso, G., Zanoni, E. Accelerated life test on high brightness Light Emitting Diode // *IEEE Transactions on Device and Materials Reliability* – 2008. – Vol. 8, No. 2. – P. 304–311.

10. Hong, E., Narendran, N. A method of projecting useful life of LED lighting systems// *Third International Conference on Solid State Lighting, Proceedings of Photo-Optical Instrumentation Engineers, SPIE:5187*, pp. 93–99, 2004.

11. Narendran, N., Gu, Y. Life of LED based white light sources // *IEEE/OSA Journal of display technology.* – 2005. – Vol. 1, No.1. – P. 167–171.

12. Chen, C. H., Tsai, W. L., Tsai, M. Y. Thermal resistance and reliability of low cost and high power LED packages under WHTOL test // *Electronics materials and packaging, EMAP2008, Taipei*, pp.271–276, 22–24 Oct 2008.

13. Farkas, G., Van Voorst Vader, Q., Poppe, A., Bogná, G. Thermal investigation of high power optical devices by transient testing// *IEEE Transaction Components Packaging Technology.* – 2005. – Vol. 28, No. 1. – P. 45–50.

Специализированная выставка «Промышленная Светотехника» впервые пройдет в Москве!

Известная российская специализированная выставка светотехнической продукции для промышленности, бизнеса, городской инфраструктуры «Промышленная Светотехника», которая с 2011 г. проводилась в Санкт-Петербурге, впервые пройдет в Москве, в ЦВК «Экспоцентр» 6–9 июня 2016 г. в рамках выставки «ЭЛЕКТРО».



Выставка «Промышленная Светотехника – Москва» пройдет при поддержке российской ассоциации НП ПСС и Института энергетики как специализированный инновационный салон в рамках авто-

Соответственно, у отечественных производителей светотехнической продукции появилось столичное выставочное мероприятие с доступной ценой участия. Оргкомитет учтёт положительный опыт проведения выставки в Санкт-Петербурге. Ожидается, что выставку посетят не менее 1500 профильных специалистов, что, с учётом 13000 посетителей «ЭЛЕКТРО» – профессионалов мирового электротехнического рынка, делает участие в экспозиции предсказуемо эффективным.

Оценочное количество используемых в столичном регионе осветительных приборов для промышленного освещения: около 400 млн. По статистике, коммерческое/промышленное освещение потребляет 33% производимых в мире светодиодов. По состоянию на конец 2015 г. доля инновационных светильников в Москве и области не превышает 9%.

Российский рынок светодиодной светотехнической продукции оценивается в 20 млрд руб. Примерно 40% рынка составляют офисные светильники, 30% – промышленные, 15% – уличные, 10% – «архитектурные» и 5% – бытовые. Доля освещения светодиодами в разных секторах разная, в среднем – 10–20%. Объём рынка столичного региона – около 25% от общероссийского.

ритетной международной выставки «ЭЛЕКТРО», в разгар строительного и делового сезона, в период, когда основные заказчики определились с планами работ на год и выбирают поставщиков продукции.

Тематика выставки – светотехнические решения для промышленности и бизнеса, комплектующие и материалы для производства светотехнической продукции, а также энергосервисные контракты.

В рамках деловой программы состоится конференция «Импортозамещение в светотехнике: качественное промышленное и уличное освещение от российских производителей. Новые технологии управления освещением: современный подход, умная экономия», семинар «Введение в энергосервисные контракты в освещении» (организатор – Институт энергетики), семинар по уличному и городскому освещению (при поддержке Московского союза архитекторов и школы светодизайна LiDS), а также отдельные семинары изготовителей и поставщиков.

**Оргкомитет выставки
«Промышленная Светотехника»:**
тел: +7 (495) 287–4412,
info@promlight-expo.ru.

<http://www.promlight-expo.ru>
01.2016



Анираддха Мукхерджи (Aniruddha Mukherdjee),
М.Е. Имеет почти 18-летний опыт работы в промышленности и образовании. Сотрудничает

с Университетом Суреш Гуан Вихар (Джайпур). Область исследований: факторы, влияющие на срок службы КЛЛ, СД и РЛВД. Автор ряда публикаций на эту тему



Амит Сони (Amit Soni), Ph.D. Имеет 15-летний опыт работы в образовании и промышленности. Декан факультета электро- и электронной техники

Университета Манирал (Джайпур). Область исследований: материалы для солнечных фотоэлектрических устройств, возобновляемая энергетика, освещение. Автор множества публикаций в известных журналах