

Елена Белова | belova@intiled.ru | Алексей Воронин | voronin@intiled.ru | Сергей Кукс | cux-haven@intiled.ru

## «Горячая линия» IntiLED:

настоящее и будущее светодиодных светильников

**Данная статья — первая в цикле, посвященном ответам на часто задаваемые вопросы клиентов, использующих оборудование российского производителя светодиодных светильников и систем освещения IntiLED.**

— *Какие существуют методы проверки декларированного срока службы светодиодов (около 80 000 ч)? Когда и по каким причинам происходит деградация светодиода?*

— Ведущие производители в характеристиках указывают сроки службы светодиодов около 80 000 ч (девять с лишним лет непрерывной работы). Естественно, на практике нет возможности провести лабораторные тесты в течение такого длительного промежутка времени. Поэтому зачастую используется методика экстраполяции данных, когда показатели деградации в экстремальных условиях работы (высокая температура, токи) используются для построения теоретической модели работы диодов на протяжении всего их срока службы по модели Аррениуса.

Хочется отметить, что под сроком службы светодиода большинство производителей не подразумевают срок, по прошествии которого светодиод полностью выйдет из строя. В основном имеется в виду период, за который светоотдача светодиода снижается до 50–70% от первоначальной. Даже при использовании высококачественных компонентов уменьшение светового потока неизбежно, и связано оно со множеством факторов, таких как условия теплоотвода, влажность и т. п.

Причина снижения светоотдачи заключается в деградации кристалла, которая, в свою очередь, может происходить из-за роста количества дефектов кристаллической решетки со временем наработки. Области кристалла, где появились дефекты, не излучают свет, но при этом генерируют тепло. Другой причиной является электрическая миграция материала, из которого сделаны электроды, приваренные к кристаллу. В кристалл проникают атомы металлов, из которых сделаны электроды, и нарушают кристаллическую структуру. При деградации кристалла возрастает ток утечки, то есть значительная часть тока начинает проходить не через те участки кристалла, которые излучают свет. В результате уменьшается напряжение на электродах светодиода, а значит, из работы исключаются сегменты с излучательной рекомбинацией. Скорость деградации светодиода

значительно увеличивается при плотности тока свыше номинального значения, а также при повышении температуры. В зависимости от качества изготовления кристаллы деградируют по-разному: одни постепенно теряют в год 3–5% светового потока, другие делают это резко, едва приблизится назначенный срок. Но деградируют неизбежно как те, так и другие.

— *Гарантия на оборудование три года, а срок службы светодиодов около 80 000 ч. С чем это связано?*

— Дело в том, что срок службы светодиодных светильников зависит не только от срока службы светодиодов, но также и от всех входящих в прибор электронных компонентов, имеющих собственные слабые места: микросхемы с некачественной пайкой и окисляющимися дорожками, корпусы, в которые просачивается вода, и т. д. Основной причиной деградации является нарушение температурного режима при эксплуатации, который, в свою очередь, определяется конструкцией светильника. Зачастую производители в рекламных материалах указывают именно срок службы светодиодов, тогда как в светильнике из-за перегрева светодиоды могут работать меньше заявленного производителем срока. Наряду с отводом тепла, который производится радиатором (рис. 1), важны также характеристики питающего тока, сформированного источником



Рис. 1. Радиатор производства компании Khatod Optoelectronics

питания. Если обнаруживается, что светодиоды перегреты, а система охлаждения уже не справляется, должна уменьшаться подаваемая на светодиоды электрическая мощность.

Помимо управления температурой *p-n*-перехода светодиодного кристалла, в светильнике есть еще два узла, которые оказывают важное влияние на срок службы всего устройства: драйвер и вторичная оптика.

Драйвер является одним из ключевых элементов светильника с точки зрения его срока службы. Слабое звено драйвера — электролитические конденсаторы, которые имеют свойство высыхать со временем. Существует много способов продлить срок службы таких электронных компонентов. В первую очередь это правильное проектирование драйвера таким образом, чтобы тепло отводилось от конденсатора. Современная элементная база позволяет создавать драйверы со сроком службы 50 000 ч и более. Также важны стабильность напряжения питания и силы тока, которые дает драйвер, а также его устойчивость к всплескам сетевого напряжения.

Линзы вторичной оптики в светодиодных светильниках обычно изготавливаются из пластмассы (поликарбонат), которая со временем мутнеет. Отражатели зачастую делают из пластмассы, покрытой тонким слоем металла, который со временем может тускнеть, что также влияет на светораспределение, интенсивность излучения и значение светового потока.

В компании IntiLED указанные проблемы решаются путем использования современных материалов и применением новейших технологий производства. Однако, как уже было сказано выше, срок службы светодиодного светильника зависит не только от качества используемых светодиодов, электронных компонентов, качества сборки и т. п., но и от условий эксплуатации светильника, которые зачастую нарушаются. Поэтому компанией установлен такой гарантийный срок, в течение которого оборудование будет работать при любых условиях эксплуатации.

— *Почему у некоторых компаний гарантия на светильники 15 лет?*

— За редким исключением у всех производителей светодиодных светильников гарантия в среднем 2–3 года (например, наша компания

дает трехлетнюю гарантию на свои изделия). Исключение это составляют некоторые западные производители (например, Vega), дающие длительную гарантию не на светодиоды, а на все изделие целиком. Правда, и стоит такая продукция соответствующе. В качестве примера можно привести одну из нидерландских компаний, которая проводит так называемый «отжиг» светодиодов: их выдерживают в печи при температуре 60 °С примерно трое суток. После этого светодиод обеспечивает стабильные фотометрические характеристики в течение длительного срока наработки. Правда, и стоимость такого прибора также достаточно высока.

— Существует ли взаимосвязь между цветом свечения светодиода и сроком его службы?

— Да, взаимосвязь существует. Белые светодиоды имеют меньший срок службы. Основной светодиода белого цвета свечения является структура InGaN (синий цвет) и нанесенный сверху на нее люминофор (специальный состав), излучающий в широком диапазоне спектра и имеющий максимум в его желтой части. Человеческий глаз комбинацию такого рода воспринимает как белый цвет. Это на данный момент наиболее простой и дешевый способ получения белого света. Однако люминофор ухудшает тепловые характеристики светодиода, поэтому срок службы сокращается. Деградиация люминофора приводит не только к уменьшению яркости светодиода, но и к изменению оттенка его свечения. При сильной деградации люминофора хорошо заметен синий оттенок свечения. Это связано как с изменением свойств люминофора, так и с тем, что в спектре начинает доминировать собственное излучение кристалла.

Если же говорить о сроках службы светодиодов с различными типами подложек, то можно сказать следующее: более стойкими к деградации параметров являются AlGaInP- и AeGaAs-светодиоды, то есть красные и желтые; менее стойкими — InGaN, то есть зеленые, синие и белые. Большинство InGaN/GaN-светодиодов изготавливается на сапфировых подложках, которые являются диэлектриками, что приводит к появлению остаточного электрического

заряда и делает светодиода более чувствительным к повреждениям, вызванным электростатическим разрядом и перегрузкой.

— Когда эффективность светодиодов достигнет 60–70%? Каковы перспективы повышения КПД светодиодов и модулей?

— Давайте уточним, что эффективностью мы можем считать как светоотдачу (отношение светового потока к потребляемой энергии), так и стоимость одного люмена (отношение светового потока к цене светодиода или светодиодного источника света). Для улучшения обеих характеристик эффективности светодиодов существует несколько путей.

Прежде всего, это внутренний и внешний квантовый выход кристалла. На сегодня высокими величинами для внешнего квантового выхода считаются 35% для синих светодиодов и 55% для красных. Внутренний теоретически можно приблизить к 100%. Стало быть, только за счет повышения внешнего квантового выхода можно увеличить световую отдачу светодиодов в 2–3 раза и, соответственно, снизить цену одного люмена. С этой целью ученые ищут новые, более согласованные с кристаллической решеткой полупроводника материалы подложки. Сейчас, как известно, используется сапфир Al2O3. Карбид кремния SiC подошел бы лучше: у него и постоянная решетка прекрасно согласована с постоянной решеткой GaN, и высокая теплопроводность создает преимущества для теплоотвода, но он чрезвычайно дорог. Возможно, удастся сочетать дешевый кремний с буферными прослойками из карбида кремния. Это позволило бы совместить технологию оптоэлектронных устройств на основе нитридов с планарной технологией производства кремниевых чипов. Но тут есть и другая трудность, которую придется разрешить: карбид кремния не прозрачен, а значит, подложка не будет служить «на просвет», как происходит сейчас, — ее придется делать зеркальной.

Также есть возможности для улучшения конструкции светодиода (рис. 2) и улучшения люминофора, правда во втором случае максимальный выигрыш невелик — речь идет о единицах процентов.

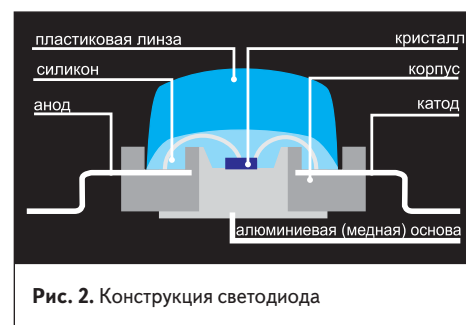


Рис. 2. Конструкция светодиода

Далее, для усиления светового потока можно было бы увеличить число электронно-дырочных пар, рекомбинирующих в зоне *p-n*-перехода в единицу времени (рис. 3). Для этого необходимо увеличить ток через кристалл. Какие тут существуют ограничения?

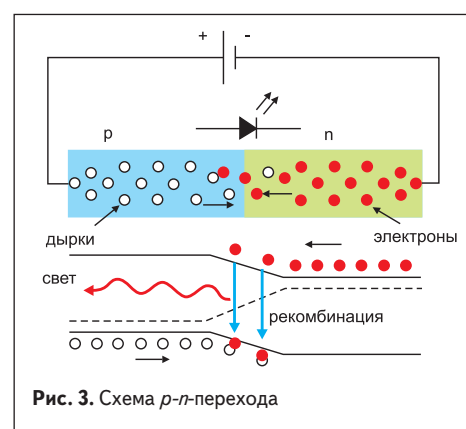


Рис. 3. Схема *p-n*-перехода

Верхний предел плотности тока ставит, во-первых, снижение срока службы светодиода, а во-вторых — уменьшение квантового выхода из-за возрастания числа дефектов кристаллической решетки, на которых пары рекомбинируют без излучения. В обоих случаях «виноват» нагрев кристалла и *p-n*-перехода. Таким образом, важное значение приобретают хороший теплоотвод, низкоомные контакты и переход на более «горячий» нитрид галлия взамен арсенида. Все эти факторы позволяют повысить ток и мощность на одну лампу приблизительно в семь раз.

Таблица. Прогноз развития светодиодных источников света в сравнении с другими популярными источниками.

Параметр	Лампа накаливания	Компакт люминесцентная лампа	Люминесцентная лампа	Светодиодные источники			
				2002 г.	2007 г.	2012 г.	2020 г.
Потребляемая мощность, Вт	75	18	40	1	2,7	6,7	7,5
Световая отдача, лм/Вт	16	60	80	25	75	150	200
Срок службы, тыс. ч	1	10	20	100	100	100	100
Световой поток, лм	1200	1100	3400	25	200	1000	1500
Стоимость одной лампы, \$	0,5	12	5	5	4	менее 5	менее 3
Стоимость одного люмена, цент/лм	0,04	1,1	0,15	20	2	менее 0,5	менее 0,2
Эксплуатационные расходы, цент/кВт·ч	4,7	1,2	0,7	3,5	2	1,5	0,5–1
Индекс цветопередачи	95	90	75	75	80	более 80	Более 80
Применение на рынке освещения	—	—	—	Слабое освещение	Замена ламп накаливания	Замена люминесцентных ламп	Все применения

Примечание: В таблице представлены данные для белых светодиодов, пригодных для освещения. Этот прогноз, сделанный в 2002 г., уже сейчас превзойден по многим важным показателям.

Если плотность тока повышать станет некуда, останется еще возможность увеличить площадь кристалла. Сейчас используются кристаллы площадью до 1 мм<sup>2</sup>. Дальше пока пойти не удастся, потому что на больших контактах возникает неравномерность распределения плотности тока, локальный перегрев и, как следствие, разрушение кристалла. Использование контактов с гребенчатой структурой представляет собой проблему, потому что на контактах теряется свет. На сегодня выход найден в использовании многокристалльных светодиодов.

Помимо повышения КПД самих светодиодов, можно и нужно увеличивать срок службы производимых светодиодных светильников. В этом вопросе компания IntiLED не стоит на месте, постоянно совершенствуя технологии производства оборудования, разрабатывает новые системы управления, программное обеспечение и т. п.

Согласно результатам исследований, проведенных в рамках американской программы освещения будущего, такой прогноз представляется наиболее реалистичным (таблица).

— *Что перспективней: делать светильник из нескольких мощных диодов или из большого количества маломощных?*

— На этот вопрос сложно дать однозначный ответ. Сейчас максимальная светоотдача у светодиодов Nichia мощностью всего 0,3 Вт. Если сравнивать светодиоды мощностью, например, 1 Вт и 3 Вт, то у одноваттного светоотдача будет гораздо выше. Соответственно, и у светильника, состоящего из одноваттных светодиодов, светоотдача будет выше, чем у того, в котором стоят диоды 3 Вт. Плюс ко всему, для маломощных светодиодов гораздо проще решается проблема теплоотвода, т. к. они меньше греются.

Если рассматривать с точки зрения стоимости, то большой разницы между такими светильниками не будет: с одной стороны, светильник с маломощными светодиодами потребует больших затрат на оптику, с другой стороны, светильник, состоящий из мощных диодов, будет включать в себя дорогую систему теплоотвода.

У светодиодов большие перспективы увеличения КПД. Можно ожидать максимального увеличения светоотдачи самых лучших на сегодня красных светодиодов в два раза, а голубых и белых — в три. Цену одного люмена белого света удастся снизить как минимум в 20–30 раз за счет массового производства. Поэтому логично предположить, что в недалеком будущем светодиоды заменят остальные источники света. ●

## Литература

1. Arye Schreiber, John Daly. Well-designed LED drivers are no longer the weakest link in the chain // LEDs Magazine. July/August 2010.
2. [www.magazine-svet.ru](http://www.magazine-svet.ru)
3. [www.marketelectro.ru](http://www.marketelectro.ru)
4. [www.esave.ru](http://www.esave.ru)
5. [www.ivd.ru](http://www.ivd.ru)
6. [www.swetodiod.ru](http://www.swetodiod.ru)
7. [www.lightrussia.ru](http://www.lightrussia.ru)
8. [www.compel.ru](http://www.compel.ru)