

Ральф Таттл (Ralph Tuttle) | Марк МакКлир (Mark McClear)

# Зависимость срока службы полупроводниковых осветительных систем от материала корпусов светодиодов различной мощности

**Стоимость светодиодных компонентов — всего лишь одна статья расходов, связанных с проектированием и производством полупроводниковых осветительных систем. На себестоимость, характеристики и срок службы светотехнической продукции для общего освещения влияют также пригодность для конкретной цели, качество регулирования тепловых режимов и свойства корпуса.**

**В** полупроводниковой светотехнике первоочередное внимание уделяется стоимости светодиодных компонентов как ключевому фактору, от которого зависит снижение первоначальных затрат на светодиодное освещение и более широкое его внедрение. Действительно, снижение цен на светодиоды важно для дальнейшей популяризации полупроводникового освещения. Вместе с тем выбор тех или иных светодиодных компонентов может быть сопряжен со скрытыми издержками и проблемами надежности системного уровня, о которых разработчики полупроводниковых светотехнических изделий должны иметь представление, чтобы их продукция была долговечной и работала хорошо не только на момент монтажа, но и на всем протяжении срока службы. Залог надежности и долговечности светотехнической продукции — длительные испытания компонентов по стандарту LM-80. Рассмотрим в общих чертах технологию производства светодиодов, рыночные тренды и требования, предъявляемые к полупроводниковым светотехническим изделиям различного назначения, а затем обсудим, как скрытые издержки выбора светодиодных компонентов могут повлиять на коммерческий успех светотехнического изделия для общего освещения.

## Влияние научно-технического прогресса

Часто можно слышать рассуждения о том, как быстро прогрессирует светодиодная технология и какими стремительными темпами идет так называемая светодиодная революция в освещении. Но за этим видимым трендом стоят десятилетия научных исследований и разработок, а также инвестиций в производственные мощности, связанные с более старыми сегментами светодиодного рынка, появившимися на свет задолго до светодиодного освещения. Примером может служить рынок светодиодных телевизоров. В 2010–2011 гг.

без особой шумихи была развернута целая производственно-маркетинговая инфраструктура для поставок светодиодных кристаллов и пластмассовых светодиодных корпусов с целью удовлетворить прогнозируемый спрос в этом сегменте относительно недорогой потребительской продукции с невысокими характеристиками.

Производство любых светодиодных кристаллов невозможно без технологического оборудования для осаждения металлоорганических соединений из паровой фазы (MOCVD). За короткий временной промежуток (2010–2011 гг.) было введено в строй огромное количество мощностей для производства светодиодных кристаллов в расчете на ожидаемый спрос в развивающемся сегменте светодиодных телевизоров. Объем их превысил совокупный объем производственных мощностей, существовавших до того в масштабах всей отрасли.

Аналогичные инвестиции были сделаны на том же временном промежутке в производство пластмассовых корпусов светодиодов малой и средней мощности. Но в результате дальнейшего совершенствования технологии дисплейных панелей резко сократилось количество светодиодных компонентов, требуемое для изготовления дисплея заданного размера, что привело к значительному переизбытку мощностей в отрасли. Наличие этих незадействованных мощностей для производства кристаллов и корпусов благоприятно сказалось на цене светодиодных компонентов, что помогло ускорить темпы светодиодной революции в освещении.

## Температура и корпусирование

Стремительное снижение цен вызвало у некоторых участников отрасли соблазн использовать недорогие светодиодные корпуса, предназначенные для бытовой электроники, в светодиодном освещении, где требования к качеству и надежности гораздо выше. Хотя по физическим размерам, форме и перво-

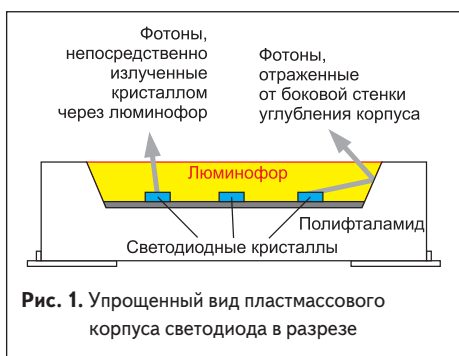
начальному световому потоку телевизионные светодиоды могут показаться схожими с осветительными светодиодами, они существенно различаются по используемым конструкционным материалам и критически важным метрикам долговременной надежности — стабильности светового потока и цветопередачи.

## Изменение параметров светодиодов малой и средней мощности

Светодиоды малой и средней мощности в пластмассовых корпусах способны вырабатывать однородный белый свет в некоторых применениях, таких как светодиодные панели, светодиодные линейки и прямые заменители люминесцентных ламп Т8, в которых температуру  $p$ - $n$ -перехода светодиодного кристалла ( $T_j$ ) можно надежно удерживать на уровне не выше 70 °С. Низкие цены на эти светодиоды делают их, на первый взгляд, привлекательным выбором для проектировщиков светильников, которым нередко приходится иметь дело с жесткими ограничениями на бюджет и технические характеристики готового изделия. Однако материалы, используемые во многих светодиодах такого типа, в большинстве случаев делают рискованным выбором их применение в сфере общего освещения, где температура  $p$ - $n$ -перехода светодиода легко может превысить +70 °С. В рамках фирменной программы оказания услуг по тепловым, электрическим, механическим, фотометрическим и оптическим испытаниям (ТЕМРО) компании Cree часто приходится наблюдать температуры, превышающие +100 °С.

Рассмотрим подробнее воздействие высоких температур. Полифталамид (PPA) — термопластичная смола, которая часто используется в качестве материала корпусов электрических соединителей в автомобильном оборудовании, подвергающемся сильному нагреву. Этот материал выдерживает высокие температуры в отсеке двигателя без растрескивания и деформации. Помимо прочего, из полифталамида изготавливаются корпуса большинства светодиодов малой и средней мощности.

Кроме света, который непосредственно излучается наружу светодиодами кристаллами



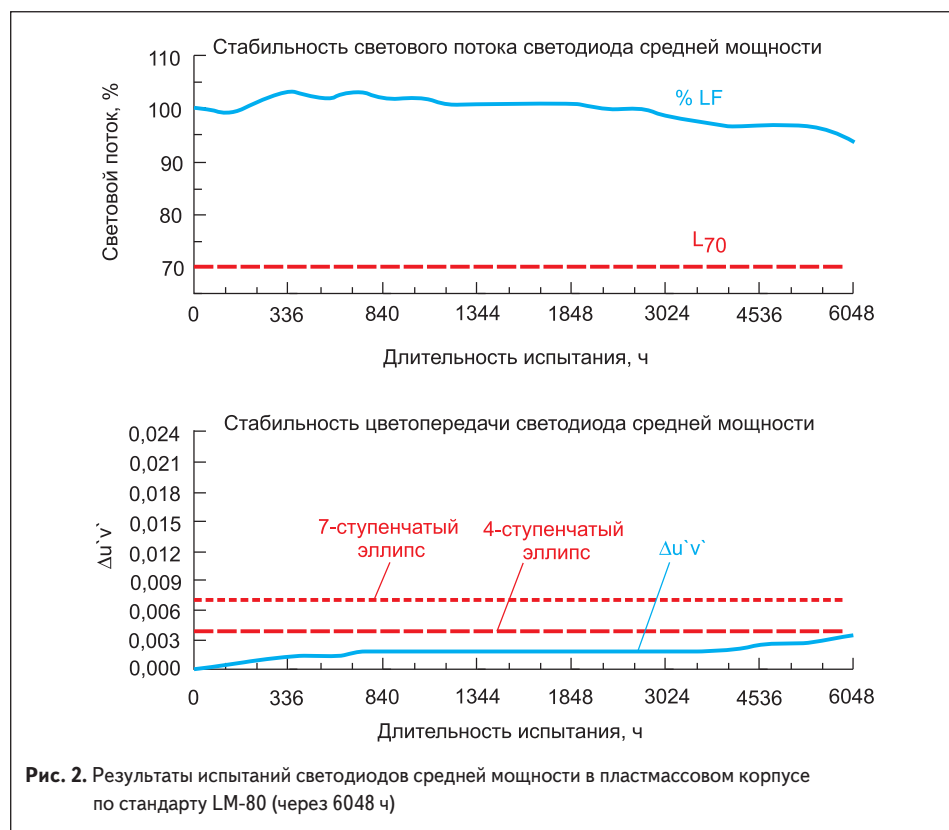
в полифталамидном корпусе, значительное количество света отражается от ярко-белых внутренних поверхностей углубления корпуса, в котором смонтированы кристаллы (рис. 1).

Один из недостатков полифталамида как материала корпусов для таких светодиодов, заключается в том, что со временем белые поверхности обесцвечиваются и темнеют под действием высоких температур. Дополнительный вклад в обесцвечивание полифталамидных поверхностей вносят фотоны с длиной волны в синей области спектра, излучаемые кристаллами белых светодиодов с люминофором. В результате эти поверхности с исходно высоким коэффициентом отражения начинают поглощать свет, из-за чего значительно снижается световой поток светодиода.

### Испытания по стандарту LM-80

Компания Cree провела широкомасштабные испытания светодиодов в пластмассовых и керамических корпусах на долговременную стабильность светового потока по стандарту IESNA LM-80-08 («Утвержденный метод измерения стабильности светового потока светодиодных источников света»). Стандартом LM-80 предписывается испытывать светодиоды в течение как минимум 6000 ч, а для улучшения прогностического моделирования стабильности светового потока рекомендуется устанавливать большую длительность испытаний. Стандарт IESNA TM-21-11 («Прогнозирование долговременной стабильности светового потока светодиодных источников света») также рекомендует проводить испытания длительностью более 6000 ч. Важным аспектом стандарта TM-21 является «правило 6х», согласно которому заявленный полезный срок службы ( $L_{70}$ ) испытываемых светодиодов не может более чем в шесть раз превышать фактическую длительность их испытаний по стандарту LM-80. Это правило обусловлено нестабильностью некоторых светодиодных корпусов, а также стремлением свести к минимуму преувеличения со стороны производителей светодиодов касательно заявленной стабильности светового потока.

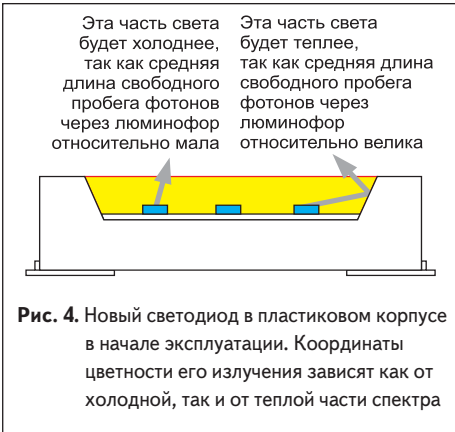
На рис. 2 приведены результаты испытаний по стандарту LM-80 типичного набора светодиодов средней мощности (0,5 Вт) в пластмассовых корпусах. Светодиоды испытывались при температуре +85 °С и рабочем токе 175 мА.



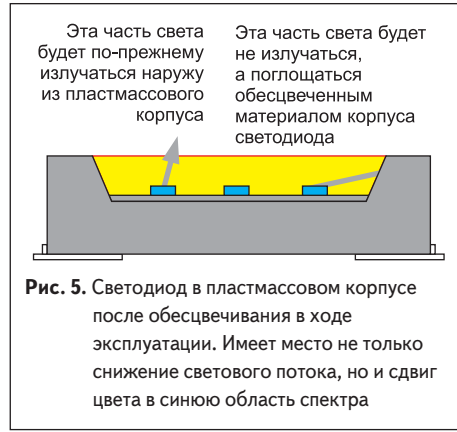
На верхнем графике показан относительный световой поток (%LF), а на нижнем — сдвиг хроматичности, или координат цветности ( $\Delta u'v'$ ), через 6048 ч испытаний. Прогноз стабильности светового потока на этом наборе данных по методу, описанному в стандарте TM-21, дает  $L_{70} \approx 43\ 000$  ч, откуда, после ограничения по правилу 6х, получаем заявленное значение

36 000 ч. Средний сдвиг хроматичности находится в пределах семиступенчатого эллипса МакАдама, что соответствует требованиям программы Energy Star американского Агентства по защите окружающей среды, и эти результаты были бы сочтены удовлетворительными (в том числе и по программе Energy Star) для большинства осветительных применений.

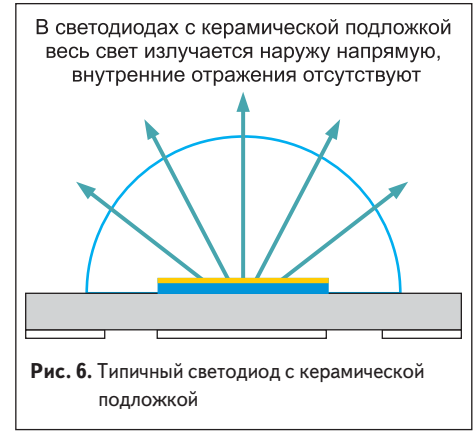




**Рис. 4.** Новый светодиод в пластиковом корпусе в начале эксплуатации. Координаты цветности его излучения зависят как от холодной, так и от теплой части спектра



**Рис. 5.** Светодиод в пластиковом корпусе после обесцвечивания в ходе эксплуатации. Имеет место не только снижение светового потока, но и сдвиг цвета в синюю область спектра



**Рис. 6.** Типичный светодиод с керамической подложкой

Скрытые издержки использования этих недорогих пластиковых корпусов проявляются при более длительных испытаниях (свыше 6000 ч) тех же устройств по стандарту LM-80. На рис. 3 приведены данные для тех же светодиодов через 17 000 ч испытаний. Световой поток значительно снизился из-за обесцвечивания полифталамида. Как иллюстрирует верхний график, показатель срока службы  $L_{70}$  стремительно сокращается менее чем до 20 000 ч в результате поглощения света корпусом светодиода. Еще одно последствие обесцвечивания материала корпуса — сильный сдвиг хроматичности в пределах почти 20-ступенчатого эллипса МакАдама, что неприемлемо почти ни для какого осветительного прибора.

Упомянутый выше сдвиг хроматичности — весьма серьезная, хотя и редко обсуждаемая проблема пластиковых светодиодных корпусов.

На первых порах эксплуатации свет излучается светодиодами кристаллами непосредственно наружу через люминофор, а также отражается от внутренних стенок корпуса, как показано на рис. 4. Это означает, что длина свободного пробега фотонов синего света напрямую через люминофор будет меньше длины свободного пробега фотонов, отраженных от стенок. Таким образом, излученный напрямую свет по своим координатам цветности будет холоднее (с большим содержанием энергии в синей области спектра), чем отраженный свет. Отраженный же свет будет, наоборот, теплее (с большим содержанием энергии в желтой области спектра). Усредненный цвет излучения светодиода будет определяться смесью цветов обеих составляющих (холодной и теплой). Из-за обесцвечивания полифталамида отраженный свет поглощается стенками корпуса, так что теплая составляющая хроматичности становится менее выраженной (рис. 5). Результатом

является значительный сдвиг цвета в холодную часть спектра.

### Преимущества мощных светодиодов

Мощные светодиоды не подвержены снижению светового потока и сдвигу цвета по механизмам, характерным для светодиодов малой и средней мощности в пластиковых корпусах. Керамическая подложка этих светодиодов не используется в качестве отражающей поверхности, так что первоначальная и долговременная стабильность светового потока и цветопередачи существенно зависит только от света, который непосредственно излучается наружу светодиодным кристаллом (рис. 6).

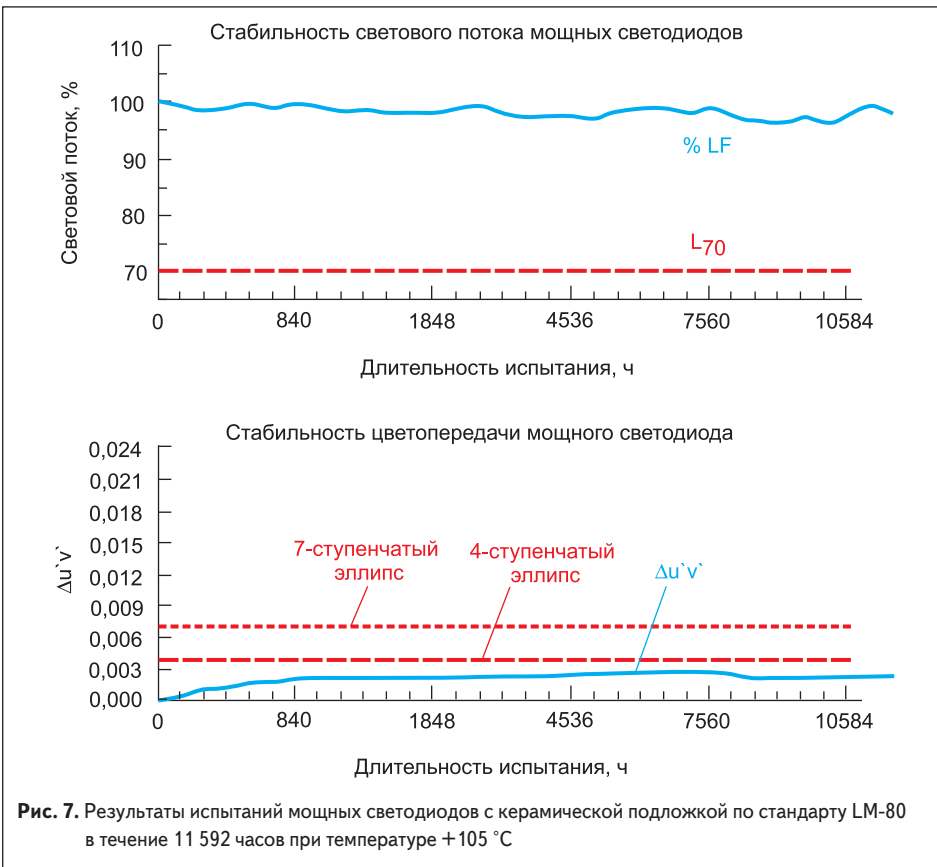
Даже при высоких температурах стабильность светового потока и цветопередачи у этих светодиодов гораздо выше, чем у светодиодов в пластиковых корпусах. На рис. 7 приведены данные испытаний набора стандартных мощных светодиодов Cree XLamp XP-E по стандарту LM-80. Даже более чем через 11 000 ч испытаний при температуре +105 °C и рабочем токе 350 мА наблюдается великолепная стабильность светового потока и цветопередачи.

### Решение проблемы

Ввиду известных недостатков полифталамидных смол в качестве материала для корпусов, компания Cree разработала линейку светодиодов, которая объединяет в себе сильные стороны как традиционных светодиодов малой и средней мощности, так и мощных керамических светодиодов. Новое семейство с керамической подложкой Cree XH дает такой же ровный свет, как и светодиоды малой и средней мощности в пластиковом корпусе, но без сдвига цвета и проблем надежности, свойственных традиционным светодиодам в полифталамидных корпусах, которые исходно предназначались для бытовой электроники.

### Выводы

Стабильность светового потока любых светодиодов (в пластиковом или керамическом корпусе, малой, средней или высокой мощности)



**Рис. 7.** Результаты испытаний мощных светодиодов с керамической подложкой по стандарту LM-80 в течение 11 592 часов при температуре +105 °C

в отрасли принято оценивать путем испытаний по стандарту LM-80. 6000 ч таких испытаний — минимальное требование для прогноза стабильности светового потока по методу TM-21. Более длительные испытания по стандарту LM-80 позволяют делать более точные прогнозы и помогают проектировщикам светильников уменьшить риск постепенного снижения светового потока и сдвига цвета. С дальнейшими испытаниями многих тысяч светодиодных компонентов по стандарту LM-80, совокупная продолжительность которых насчитывает миллионы часов, улучшается наше понимание механизмов деградации, а также способность экстраполировать результаты лабораторных испытаний на реальные условия эксплуатации в разных областях применения.

Светодиоды малой и средней мощности, представленные сегодня на рынке, являются в большей степени плодом избыточных инвестиций светодиодной промышленности в производственные мощности для изготовления кристаллов и пластмассовых корпусов, сделанных исходя из ожидаемого спроса на рынке светодиодных телевизоров. Благоприятные следствия этой ситуации в сегменте светодиодного освещения — широкое распространение светодиодных панелей и прямых заменителей люминесцентных ламп T8, а также резкое сокращение общих расценок на светодиодные компоненты. Но применение этих недорогих светодиодов с пластмассовыми корпусами в сфере общего освещения, где температура *p-n*-перехода светодиода зачастую значительно превышает +70 °С, может повлечь скрытые издержки, выраженные в снижении надежности, уменьшении светового потока и нестабильности цветопередачи в аппаратуре.

Проектировщикам светодиодных светильников следует запрашивать у производителей светодиодов протоколы испытаний по стандарту LM-80 длительностью более 10 000 ч, выполненных в аккредитованных лабораториях, и тщательно сравнивать эти результаты с ожидаемыми условиями эксплуатации готовых изделий.

Светодиоды малой и средней мощности в пластмассовых корпусах могут быть рациональным выбором для некоторых осветительных применений, но специальные светодиоды осветительного класса, имеющие обычно керамическую подложку, демонстрируют гораздо более высокую стабильность светового потока и цветопередачи в большинстве видов осветительной аппаратуры, на деле обеспечивая неизменную цветопередачу, низкую стоимость владения и экономию энергии в долгосрочной перспективе. ●