

Гольченко В.П.

СРОК СЛУЖБЫ СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ ДИОДОВ

Обычно под сроком службы понимают время, которое устройство работает до момента выхода из строя. Причем момент выхода из строя – это не обязательно полная неработоспособность, а падение характеристик ниже определенного уровня. При оценке срока службы светодиодов момент выхода их из строя определяется как снижение светового потока ниже определенного процента от номинального значения.

Наиболее распространенное значение срока службы, которое указывается в рекламных материалах – 50000 часов, т.е. 5 лет и 8 месяцев. Естественно, никто столь долго новый тип светодиода испытывать не будет. События на светодиодном рынке развиваются так быстро, что за указанное время светодиод уже снимут с производства и вместо него запустят новый тип. Поэтому проводят испытания светодиода, наблюдают за процессами его старения в экстремальных условиях (сила тока и температура кристалла находятся на пределе допустимых значений) в течение относительно короткого промежутка времени, а потом экстраполируют зависимость на больший промежуток времени уже для нормальных условий эксплуатации.

Зная ширину запрещенной зоны полупроводника, из которого изготовлен кристалл, а также интенсивность отказов при повышенной температуре, можно определить интенсивность отказов при нормальной температуре, используя модель Аррхениуса. Средняя наработка на отказ является величиной, обратной интенсивности отказов.

В общем виде она описывает не только полупроводниковую светотехнику, но и многие процессы в химии и биологии. Модель показывает, насколько ускоряются химические реакции, в том числе процессы деградации в кристалле, при повышении температуры.

$$\lambda_2 = \lambda_1 \exp \left[\frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \right]$$

$$\lambda_2$$

где λ_1 – интенсивность отказов при температуре T_1 ; λ_2 – интенсивность отказов при температуре T_2 ; T_1 и T_2 – температуры $p-n$ перехода, выраженные в

градусах Кельвина, E_a – энергия активации, выраженная в эВ (в полупроводниках равна ширине запрещенной зоны), k – постоянная Больцмана, равная $8,617 \cdot 10^{-5}$ эВ/К.

На срок службы светодиода влияют следующие факторы: деградация кристалла; старение люминофора; механические деформации, внутренние напряжения в корпусе и т.п.; помутнение первичной оптики.

Напомним, что светодиод белого свечения, как правило, представляет собой кристалл, излучающий синий цвет, который покрыт люминофором. Благодаря суммированию собственного излучения кристалла с индуцированным им излучением люминофора получается свет, воспринимаемый зрением, как белый.

Деградация кристалла приводит к снижению мощности излучения. Одна из причин – рост количества дефектов кристаллической решетки. 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, т.е. значительная часть тока начинает проходить не через те участки кристалла, которые излучают свет. В результате уменьшается напряжение на электродах светодиода, а значит, уменьшается мощность. Скорость деградации кристалла значительно увеличивается при повышении силы тока выше номинального значения, а также при повышении температуры. Также, по мнению некоторых специалистов, к возникновению дефектов в кристаллической решетке может привести действие статического электричества. Деградация кристалла проявляется также снижением напряжения на светодиоде. Эта особенность используется для автоматического отключения вышедшего из строя светодиода. Если в светильнике есть встроенная интеллектуальная система управления, то она отключит вышедший из строя светодиод и так перераспределит токи в оставшихся светодиодах, чтобы они не превысили максимально допустимого уровня. Наряду с системой автоматического отключения неисправных светодиодов в светильнике может также использоваться адаптивная система управления силой тока, подаваемого на светодиод.

При всей важности учета процесса деградации кристалла при определении ресурса светодиода, деградация светодиода определяется и многими другими факторами.

В светодиоде деградация люминофора определяется в основном температурой. Ведь люминофор обычно наносят непосредственно на кристалл, который довольно сильно нагревается. Остальные факторы воздействия на люминофор не так значимы.

Деградация 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.

При производстве светодиодов в них могут возникать внутренние напряжения, которые проявляют себя позже.

Кристалл светодиода с припаянными к нему выводами и теплоотводящей подложкой заливают прозрачной пластмассой. Некачественные паяные соединения могут со временем разрушаться. Если разрушаются паяные соединения электродов, то произойдет разрыв цепи. Если разрушилось паяное соединение кристалла с теплоотводящей подложкой или даже уменьшилась площадь контакта, то это приводит к ускорению деградации кристалла. Причиной разрушения соединения, а также разрыва тонких проводников, ведущих к кристаллу, могут быть внутренние напряжения в пластмассе. Они возникают как в результате нарушения технологии производства, так и в процессе эксплуатации светодиода при температуре, превышающей максимально допустимое значение.

Первичная оптика светодиодов изготавливается из пластмассы или силикона. Помутнение этих материалов может быть связано с действием ультрафиолета. В светодиодах белого свечения, построенных на базе ультрафиолетовых светодиодов, покрытых трехцветным люминофором, такая проблема действительно есть. Но пока подобные светодиоды не получили широкого распространения. В белых светодиодах на базе кристаллов синего свечения помутнение первичной оптики может опять-таки

быть вызвано сильным перегревом. Следует отметить, что многие современные типы светодиодов вообще не имеют первичной оптики.

Обеспечение температуры светодиодов (а, в конечном счете, температуры *p-n* перехода) в заданных пределах путем отвода тепла называется термоменеджментом. К вопросам термоменеджмента относится не только конструкция теплоотвода, но и конструкция всего корпуса.

Наряду с обеспечением отвода тепла, важна автоматика, управляющая питанием светодиодов. Если обнаруживается, что светодиоды перегреты, а система охлаждения уже не справляется, должна уменьшаться подаваемая на светодиоды мощность.

Из светодиода можно «выжать» большее, если заставить его работать в режиме, не предусмотренном в документации. В чем-то это напоминает «оверклокинг» компьютеров, с той лишь разницей, что повышают не тактовую частоту, а силу тока, протекающего через светодиод.

Следует различать два вида «разгона» светодиодов. Первый связан с завышением рабочего тока в характеристиках светодиода.

При «разгоне» светодиодов можно увеличить срок службы посредством более сильного охлаждения кристалла, чем при нормальном режиме работы. Однако надо понимать, что даже при обеспечении нормального теплового режима срок службы светодиодов при «разгоне» все равно снижается, поскольку одной из причин деградации кристаллов является превышение силы тока над максимально допустимым значением.