

**Безопасность строительства и качество устройства
электрических сетей и линий связи**

Лекция 4

**Тема: «Новации, используемые при устройстве
электрических сетей и линий связи».**

Содержание

Лекция 4. Новации, используемые при устройстве электрических сетей и линий связи

Общие сведения

Производство светодиодов

Устройство светодиода

Цвета и материалы полупроводника

Преимущества

Светодиодные сборки и конструкции

Готовые конструкции

Технические особенности эксплуатации

Органические светодиоды — OLED

Сроки эксплуатации

Словарь

Вопросы для самопроверки

Справочник

Список рекомендуемой литературы

Общие сведения

Светодиод или **светоизлучающий диод (СД, СИД, LED** англ. *Light-emitting diode*) — полупроводниковый прибор с электронно-дырочным переходом или контактом металл-полупроводник, создающий оптическое излучение при пропускании через него электрического тока.



Рис.1. Обозначение светодиода в электрических схемах

Излучаемый свет лежит в узком диапазоне спектра, его спектральные характеристики зависят в том числе от химического состава использованных в нём полупроводников. При пропускании электрического тока через р-п переход в прямом направлении, носители заряда — электроны и дырки — рекомбинируют с излучением фотонов (из-за перехода электронов с одного энергетического уровня на другой).

Не всякие полупроводниковые материалы эффективно испускают свет при рекомбинации. Лучшие излучатели относятся к прямозонным полупроводникам (то есть таким, в которых разрешены прямые оптические переходы зона-зона), типа $A^{\text{III}}B^{\text{V}}$ (например, GaAs или InP) и $A^{\text{II}}B^{\text{VI}}$ (например, ZnSe или CdTe). Варьируя состав полупроводников, можно создавать светодиоды для всевозможных длин волн от ультрафиолета (GaN) до среднего инфракрасного диапазона (PbS).

Диоды, сделанные из непрямозонных полупроводников (например, кремния, германия или карбида кремния), свет практически не излучают. Впрочем, в связи с развитием кремниевой технологии, активно ведутся работы по созданию светодиодов на основе кремния. В последнее время большие надежды связываются с технологией квантовых точек и фотонных кристаллов.

Явление свечения (выделение фотонов при совершении упомянутого р-п-перехода) сопровождало работу уже самого первого полупроводникового диода, разработанного для того, чтобы пропускать ток в одном направлении, и использовавшегося в качестве выпрямителя. Но оно скорее мешало, чем помогало ему выполнять свои основные функции. Ну а с тем, что мешает работать, как известно, надо бороться всеми возможными способами. Примерно до середины 50-х гг. XX в. Но уже к концу этого десятилетия положение изменилось, и были начаты работы по увеличению яркости свечения. И в начале 60-х гг. появились первые диоды, действующие как источник света, - светодиоды. Считается, что первый светодиод, излучающий свет в

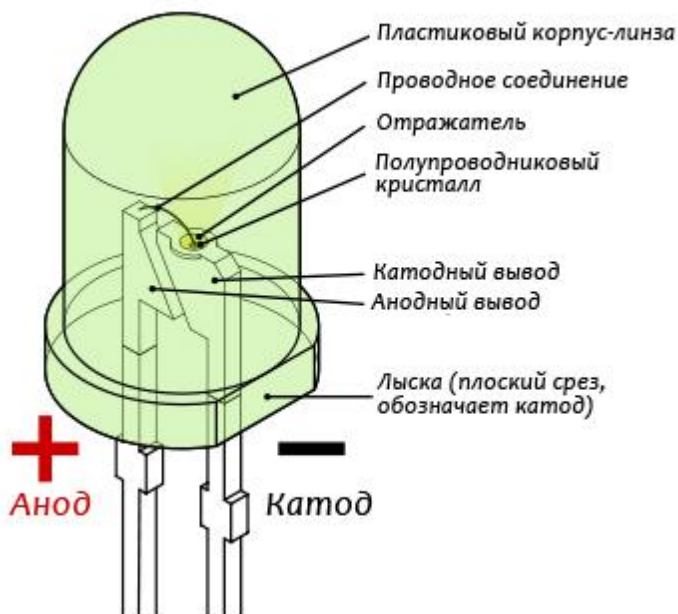


Рис.2. Устройство светодиода

видимом диапазоне спектра, был изготовлен в 1962 году в Университете Иллинойса группой, которой руководил Ник Холоньяк. Первый в мире практически применимый светодиод, работающий в световом (красном) диапазоне, разработал Ник Холоньяк в компании General Electric в 1962 году. Холоньяк, таким образом, считается «отцом современного светодиода». Его бывший студент, Джордж Крафорд, изобрёл первый в мире жёлтый светодиод и улучшил яркость красных и красно-оранжевых светодиодов в 10 раз в 1972 году. В 1976 году Т.Пирсол создал первый в мире высокоэффективный светодиод высокой яркости для телекоммуникационных применений, изобретя полупроводниковые материалы, специально адаптированные к передачам через оптические волокна.

Светодиоды оставались чрезвычайно дорогими вплоть до 1968 года (около \$200 за штуку), их практическое применение было ограничено. Компания «Монсанто» была первой, организовавшей массовое производство светодиодов, работающих в диапазоне видимого света и применимых в индикаторах. Компании «Хьюллет-Паккард» удалось использовать светодиоды в своих ранних массовых карманных калькуляторах.

С мертвой точки процесс сдвинулся в начале 90-х, когда создали первый синий светодиод. Правда, чтобы увидеть его свечение, необходимо было воспользоваться мощным увеличительным стеклом. А уж стоил он столько!.. Но светился. Затем, как утверждают специалисты, произошла революция, которую совершил японский профессор С. Накамура, создав яркий синий светодиод. Дальнейшие события развивались, как в ускоренной киносъемке: появились зеленые светодиоды, за ними желтые и, наконец, белые. Практически одновременно с разработкой велась подготовка к их промышленному выпуску. И пять-семь лет назад они впервые были использованы при создании наружной рекламы. В последние же год-полтора светодиоды стали массовым видом продукции, выпускаемой производителями Европы, Юго-Восточной Азии, США и России.

Производство светодиодов

Наиболее крупным производителем светодиодов в мире является компания Siemens со своими дочерними предприятиями Osram Opto Semiconductors и Osram Sylvania.

Также крупным производителем светодиодов является Royal Philips Electronics, политика которого заключается в приобретении компаний, изготавливающих светодиоды. Так, Hewlett-Packard в 2005 году продал компании Philips своё подразделение Lumileds Lighting, а в 2006 были приобретены Color Kinetics и TIR Systems – компании с широкой технологической сетью по производству светодиодов с белым спектром излучения.

Nichia Chemical – подразделение компании Nichia Corporation, где были впервые разработаны белый и синий светодиоды. На текущий момент ей принадлежит лидерство в производстве сверхъярких светодиодов: белых, синих и зелёных. Помимо вышеперечисленных гигантов, следует также отметить следующие компании: Emcore Corp., Veeco Instruments, Seoul Semiconductor и Germany's Aixtron, занимающиеся производством чипов и



Рис.3. Светодиодные лампы компании «Оптоган» (дизайн-макет)

отдельных светодиодов.

Крупнейшим производителем светодиодов в России и Восточной Европе является компания «Оптоган», созданная при поддержке ГК «Роснано». Производственные мощности компании расположены в Санкт-Петербурге. «Оптоган» занимается как производством светодиодов, так и чипов и матриц, а также участвует во внедрении светодиодов для общего освещения.

Устройство светодиода

Основу светодиода (Light Emitting Diode, или LED) составляет искусственный полупроводниковый кристаллик размером $0,3 \times 0,3$ мм, в котором реализован вышеупомянутый p-n-переход. Цвет свечения зависит от материала кристаллика. Так, красные и желтые светодиоды, как правило, изготавливают на основе арсенида галлия, зеленые и синие - на галлий-нитридной основе. Усиления свечения добиваются разными способами. В одних случаях в состав кристаллика вводят специальные добавки и присадки, в других - применяют многослойные структуры, что позволяет реализовать в одном кристаллике сразу несколько p-n-переходов, увеличив тем самым яркость его свечения.

Устройство светодиода

(смотреть видео в интернете)

Кристаллик «сажают» в металлическую полированную чашечку (медную или алюминиевую), которая является отражателем и «катодом» (-). К самому кристаллику «приваривают» золотую нить - «анод» (+). Затем всю конструкцию заливают прозрачным компаундом, которому придают определенную форму (назовем это колбой). От нее зависит угол излучения света, испускаемого кристалликом. Если верх колбы плоский, свет выходит широким пучком (угол составляет $120-130^\circ$). Если верх выпуклый, получается линза, собирающая свет в более узкий пучок (угол $8-60^\circ$). Чем меньше угол излучения, тем более интенсивный световой поток дает кристалл. Выпускаются светодиоды разных цветов: красного, желтого, зеленого, синего, сине-зеленого и белого, причем белый с недавних пор бывает нескольких оттенков (холодного, теплого, «солнечного» и т. д.). Стоимость светодиодов зависит от цвета и колеблется довольно существенно. Если выбрать для примера наиболее простые устройства с диаметром колбы 5 мм, то самыми дешевыми окажутся красные (от \$ 0,01), а самыми дорогими - зеленые (от \$ 0,15).

Цвета и материалы полупроводника

Обычные светодиоды изготавливаются из различных неорганических полупроводниковых материалов, в следующей таблице приведены доступные цвета с диапазоном длин волн, падение напряжения на диоде, и материал:

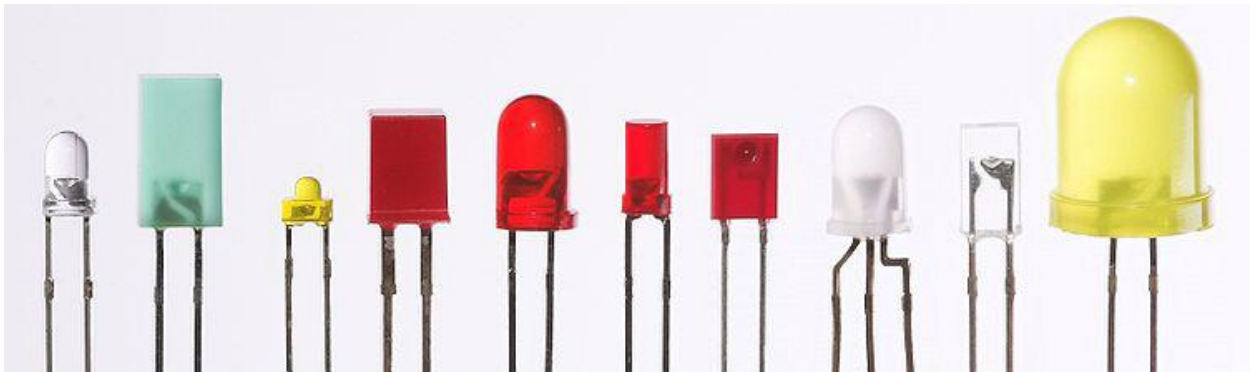
Цвет	Длина волны (нм)	Напряжение (В)	Материал полупроводника
Инфракрасный	$\lambda > 760$	$\Delta V < 1.9$	Арсенид галлия (GaAs) Алюминия галлия арсенид (AlGaAs)

Красный	610 < λ < 760	1.63 < ΔB < 2.03	Алюминия галлия арсенид (AlGaAs) Галлия арсенид фосфид (GaAsP) Алюминия галлия индия фосфид (AlGaInP) Галлия(III) фосфид (GaP)	
	590 < λ < 610	2.03 < ΔB < 2.10	Gallium arsenide phosphide (GaAsP) Aluminium gallium indium phosphide (AlGaInP) Gallium(III) phosphide (GaP)	
	570 < λ < 590	2.10 < ΔB < 2.18	Gallium arsenide phosphide (GaAsP) Aluminium gallium indium phosphide (AlGaInP) Gallium(III) phosphide (GaP)	
	500 < λ < 570	1.9 < ΔB < 4.0	Indium gallium nitride (InGaN) / Gallium(III) nitride (GaN) Gallium(III) phosphide (GaP) Aluminium gallium indium phosphide (AlGaInP) Aluminium gallium phosphide (AlGaP)	
	450 < λ < 500	2.48 < ΔB < 3.7	Zinc selenide (ZnSe) Indium gallium nitride (InGaN) Silicon carbide (SiC) as substrate Silicon (Si) as substrate — (under development)	
	400 < λ < 450	2.76 < ΔB < 4.0	Indium gallium nitride (InGaN)	
	Смесь нескольких спектров	2.48 < ΔV < 3.7	Двойной: синий/красный диод, синий с красным люминофором, или белый с пурпурным пластиком	
	Ультрафиолетовый	λ < 400	3.1 < ΔB < 4.4	Diamond (235 nm) Boron nitride (215 nm) Aluminium nitride (AlN) (210 nm) Aluminium gallium nitride (AlGaN) Aluminium gallium indium nitride (AlGaInN) — (down to 210 nm)
	Белый	Широкий спектр	$\Delta V = 3.5$	Синий/ультрафиолетовый диод с люминофором;

Преимущества

По сравнению с другими электрическими источниками света (преобразователями электроэнергии в электромагнитное излучение видимого диапазона), светодиоды имеют следующие отличия:

- Высокий КПД. Современные светодиоды немного уступают по этому параметру только натриевым газоразрядным лампам. Однако натриевые лампы малоприспособны для освещения жилых помещений из-за специфического цвета.
- Высокая механическая прочность, вибростойкость (отсутствие нити накаливания и иных чувствительных составляющих).
- Длительный срок службы. Но и он не бесконечен — при длительной работе и/или плохом охлаждении происходит «отравление» кристалла и постепенное падение яркости.
- Спектр современных люминофорных диодов аналогичен спектру люминесцентных ламп, которые давно используются в быту. Схожесть спектра обусловлена тем, что в этих светодиодах также используется люминофор, преобразующий ультрафиолетовое или синее излучение в видимое с хорошим спектром.
- Малая инерционность.
- Малый угол излучения. Это может быть как достоинством, так и недостатком.
- Низкая стоимость индикаторных светодиодов, но высокая стоимость при использовании в освещении.
- Безопасность — не требуются высокие напряжения.
- Нечувствительность к низким и очень низким температурам. Однако, высокие температуры противопоказаны светодиодам, как и любым полупроводникам.
- Отсутствие ядовитых составляющих (ртуть и др.), в отличие от люминесцентных ламп.



Светодиодные сборки и конструкции

Сам по себе светодиод - пластмассовый баллончик с двумя тонкими ножками-выводами - это еще не полноценный осветительный прибор. Чтобы такой прибор создать, надо обеспечить стабильную работу диода. А для этого его необходимо встроить в соответствующую электросхему. Дело в том, что, в отличие от лампы накаливания, светодиод нуждается не только в определенном напряжении, но и в



Рис.4. Светодиодные сборки

протекающем через него токе. То есть для нормального функционирования прибора мало подать на контакты напряжение, чтобы электроны начали преодолевать тот самый р-п-переход, испуская при этом фотоны (например, для срабатывания красного светодиода необходимо 2 В, для синего и зеленого - 3-4 В). Надо еще обеспечить определенную силу тока (для разных диодов его величина колеблется от 20 до 150 мА), иначе светодиод быстро сгорит. Почему? Особенности действия р-п-перехода таковы, что изменение напряжения всего на 0,1 В вызывает увеличение тока, проходящего через диод, в несколько раз. И значит, чтобы прибор нормально работал, необходимо применить стабилизатор тока или хотя бы простейшую схему на резисторах, ограничивающую ток.

Чтобы потребитель не занимался всем этим самостоятельно, светодиоды заранее устанавливают на печатную плату с нужной электронной схемой. В результате получается не просто светодиод, а светодиодный модуль - в плане квадратный, прямоугольный или округлый, снабженный собственными контактами. Это и есть простейший осветительный прибор, который можно встретить в продаже.

Модули, в схеме которых имеются только ограничительные резисторы, наиболее дешевы (\$ 0,5-2), но зато требуют источника питания, стабильно дающего, например, 12 В. Если схема представляет собой так называемый электронный стабилизатор тока, модули обойдутся дороже (\$ 1-5). Зато, во-первых, позволят использовать источник питания с напряжением 10-90 В, во-вторых, не пострадают, даже если при подсоединении перепутать «плюс» с «минусом», - в схеме есть диодный мостик (как шутят специалисты, «дуракоустойчивая» схема).

Относительная новинка рынка - так называемые RGB-модули. Их собирают либо на основе трех диодов - красного (Red), зеленого (Green) и синего (Blue), отсюда и название, - либо на основе трехцветных диодов, внутри каждого из которых спрятаны кристаллы трех цветов. Последние устройства несколько дороже (от \$ 1) и управляются специальным контроллером. Зато благодаря смешению названных цветов в разных пропорциях способны светиться практически всеми оттенками радужного спектра.

С помощью единичных модулей можно создавать, например, светящиеся буквы для поздравительных надписей, орнаменты и т. п. Но надо сказать, что этим путем идут довольно редко. Куда чаще применяются так называемые светодиодные линейки (источников света в них может быть 4-24 шт.), снабженные общей контактной группой. К ней остается лишь подсоединить источник питания (отдельные светодиоды в цепи включаются последовательно, и в результате требуется более высокое суммарное напряжение - 12 В). Такую систему могут составлять светодиоды одного или разных цветов, что позволяет с помощью единственного модуля получать самую широкую гамму световых красок (управляется модуль специальным контроллером). Встречаются линейки как без защиты (длинная печатная плата с открыто установленными диодами), так и в специальном корпусе. При использовании первых об их безопасности вам придется позаботиться самому (например, можно спрятать устройство под матовым оргстеклом). Зато они гибкие (плата тонкая и легко гнется), что позволяет при создании подсветки без проблем «обтечь» сложные геометрические поверхности (колонны и т. п.). Во втором случае система надежно оберегается от механических повреждений (например, американская фирма Super Vision International предлагает устройства, которые можно смело монтировать в подступенники лестниц). Помимо этого может быть предусмотрена защита таких моделей от влаги (IP65), что позволяет применять их для садовой и архитектурной подсветки. Недаром PHILIPS (Нидерланды) называет свои изделия LEDline2 не иначе как прожекторами. Понятно, что цена линеек зависит от количества светодиодов и их цвета (\$ 8-25), а также наличия корпуса и степени его защищенности (до \$1600). Кстати, из подобных систем, как и из модулей, можно собирать разнообразные геометрические фигуры и узоры.

Следующие по сложности - сборки в форме галогенных (MP11-MP16), а также привычных ламп накаливания (со стандартным цоколем E27). В аналогах галогенок от 19 до 33 светодиодов (цена - \$ 12-30), в «лампах накаливания» - 32-132 светодиода (цена - \$ 12-150). И в те и в другие встроена система стабилизации тока. В общем, бери и устанавливай на место старой лампы новую, светодиодную. Правда, света она столько же, сколько старая, не даст - светодиодную лампу мощностью 1-1,5 Вт можно приравнять к лампе накаливания мощностью 10-20 Вт (однако уже появились светодиодные лампы и с большей светоотдачей).

Готовые конструкции

Начнем с того, что светодиоды стали широко использоваться в качестве подсветки в бытовой технике, например холодильниках. На основе светодиодов и светодиодных сборок производители выпускают широкий спектр готовых изделий. Например, PHILIPS предлагает встраиваемые в потолок RGB-светильники Origami (от € 200), прожекторы для архитектурной подсветки LEDflood (от € 200), уличные светильники на опоре Equinox (от € 600), встраиваемую в пол или стены модель LEDuplight. В ассортименте компании SUPER VISION INTERNATIONAL - большой выбор прожекторов как для архитектурной подсветки (SaVi Flood), так и подводных (SaVi Spot). Но не надо думать, что на рынке присутствуют только иностранные производители. Так, довольно широкий спектр прожекторов для архитектурной (серии Smart-RGB и «Москва») и подводной (серия «Орел») подсветки, наборы для создания «звездного неба» и многое другое предлагает, например, «ЛАБОРАТОРИЯ «СВЕТОВОД». Кстати, ее защищенные (IP68) подводные прожекторы вполне могут использоваться и в условиях сада.

Однако перечисленными приборами предложения рынка не ограничиваются. В продаже сейчас имеется огромное количество фонариков, от карманных до наголовных (\$ 1,5-100), елочных (и не только) гирлянд, садовых светильников, не требующих подключения электроэнергии (имея встроенную солнечную батарею, днем они заряжаются от солнца), плавающих фонарей-шариков для бассейна (они тоже заряжаются от солнца) и празднично подмигивающего покупателям едва ли не из каждой витрины дюралайта - прозрачных «трубок», внутри которых светятся те же самые диоды (\$ 3-15 за 1 м длины). Все эти изделия поступают к нам из Китая и стран Юго-Восточной Азии. Говоря о китайской продукции, мы должны отметить, что среди них есть и качественные устройства (их выпускают фирмы NEON KING, G-NOR, SANLIGHT, NEON-NEON, DECO NEON, GENIOR NEON KING), обеспеченные как минимум годовой гарантией, и не очень качественные (продавцы стараются даже не упоминать названий их мелких производителей). Кстати, о дюралайте. Он применяется не только для витрин магазинов. С его помощью можно украсить к празднику фасад дома, создав на нем рисунок, или просто выделить контуры либо отдельные элементы здания. Не хочется делать рисунок самому - купите готовую декоративную композицию. Большое их разнообразие предлагает, например, отечественная фирма

«ИТОГ» (цена - от \$ 9 до \$ 400).

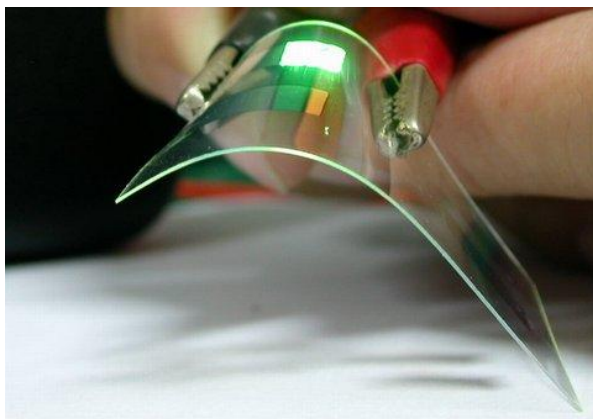
Технические особенности эксплуатации

Как и всякие приборы, светодиоды имеют плюсы и минусы. К несомненным плюсам относится то, что преобразование электроэнергии в свет происходит практически без потерь и при минимальном потреблении энергии (напомним: для работы диоду необходимы напряжение порядка 2 В и ток 20 мА). Это выгодно отличает такие приборы и от люминесцентных ламп, и от ламп накаливания. Да еще световое излучение наблюдается в довольно узкой части спектра (свет близок к монохроматическому), что

особо ценится дизайнерами. А главное - светодиод практически не нагревается (исключение составляют мощные модели последнего поколения, но и те греются на порядок меньше ламп накаливания), а срок его службы достигает 100 тыс. ч. То есть почти в 100 раз больше, чем у лампы накаливания, и в пять-десять раз больше, чем у люминесцентной лампы. К этому следует добавить высокую механическую прочность и исключительную надежность. И наконец, если учесть, что светодиод - прибор низковольтный, следовательно, безопасный, мы получаем почти идеальный источник света!

Минусов два, но довольно существенных. Во-первых, как уже говорилось, диоды дают не много света. Во-вторых, они достаточно дороги. На сегодня цена осветительного прибора, собранного на светодиодах, в 10-50 раз выше, чем изготовленного с привычными лампами накаливания (естественно, при одинаковом световом потоке, создаваемом обоими приборами). Правда, специалисты утверждают, что в ближайшие два-три года цены упадут примерно в десять раз - видимо, тогда-то и начнется обещаемая специалистами «революция» в светотехнике.

Органические светодиоды — OLED



Многослойные тонкоплёночные структуры, изготовленные из органических соединений, которые эффективно излучают свет при пропускании через них электрического тока. Основное применение OLED находит при создании устройств отображения информации (дисплеев). Предполагается, что производство таких дисплеев будет гораздо дешевле, чем жидкокристаллических.

Главная проблема для OLED – время непрерывной работы, которое должно быть не меньше 15 тыс. часов. Одна из проблем, которая в настоящее время препятствует широкому распространению этой технологии, состоит в том, что «красный» OLED и «зелёный» OLED могут непрерывно работать на десятки тысяч часов дольше, чем «синий» OLED. Это визуально искажает изображение, причём время качественного показа неприемлемо для коммерчески жизнеспособного устройства. Хотя сегодня «синий» OLED все-таки добрался до отметки в 17,5 тыс. часов непрерывной работы.

Дисплеи из органических светодиодов применяются в последних моделях сотовых телефонов, GPS-навигаторах, для создания приборов ночного видения.

Сроки эксплуатации

Теоретически светодиод может работать без перерыва от 10 до 100 тыс. ч (первый срок называют китайские производители, второй - европейские и американские). Если учесть, что включаться он будет только в вечернее да изредка в ночное время, можно считать, что светить ему предстоит 40-50 лет. Но это теоретически. На практике следует принять во внимание, что в конструкции используется не только собственно светодиод, но и множество вспомогательных элементов, имеющих собственные слабые места: микросхемы с некачественной пайкой и окисляющимися дорожками, корпуса, в которые просачивается вода, и т. д. В результате, например, для изделий из Китая гарантировать можно пять лет эксплуатации. С западными производителями картина принципиально

иная - они дают гарантию не на светодиоды, а на все изделие целиком. И значит, прослужит оно существенно дольше. Правда, и обойдется в два-три раза дороже китайского. Что делать - за качество приходится платить.

Светодиоды – лампочки будущего.

Russian LEDs

(смотреть видео в интернете)

Чем обеспечивается такое качество? У каждой фирмы секрет свой, и разглашают они его с большой неохотой. Например, одна из нидерландских компаний проводит так называемый отжиг светодиодов: их выдерживают в печи при температуре 60°C примерно трое суток. После этого диод более стабилен в работе и обеспечивает устойчивый спектр свечения. Теперь о том, что случится по окончании гарантийного срока. Нет-нет, диод не «умрет», как обычная лампа накаливания. За это время уровень его яркости упадет не более чем на 50% (произойдет так называемая деградация кристалла), но он будет продолжать работать. В зависимости от качества изготовления кристаллы деградируют по-разному: одни постепенно теряют в год 3-5% яркости, другие делают это резко, едва приблизится назначенный срок. Но меркнуть неизбежно как те, так и другие. Заметим, что на скорость деградации огромное влияние оказывают температурные условия эксплуатации (нормативы указаны в паспорте прибора и обычно находятся в пределах от -40 до +40°C). Чем ниже температура, тем дольше живет светодиод. Например, где-нибудь на севере (при -20...-40°C) он сможет работать почти вечно (при такой температуре кристалл практически не деградирует). А вот если установить его на печной трубе, где температура постоянно высока (60- 80°C), то проживет он примерно год. В сауне же, где температура доходит до 120°C, его хватит всего на несколько суток. И жаловаться на некачественный товар бесполезно - производитель по состоянию кристалла легко определит, что условия эксплуатации нарушены.

Справочник

1. [Новые возможности освещения светодиодами \(Philips\) \(pdf, 1.6 Мб\)](#)
2. [Выбор сечения кабеля и провода](#)
3. [Кабели и провода российских производителей](#)

Список рекомендуемой литературы

1. ГОСТ 13109-97 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».