

**В. В. Плотников, Л. Ф. Курамшина, А. Р. Вахитов**

## **НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СВЕТОМ**

*Ключевые слова: светодиоды, деградация люминофора, системы освещения.*

*Рассмотрены: история развития светодиодов, преимущества использования светодиодов в системах управления светом, факторы влияющие на долговечность светодиодов, даны практические рекомендации по проектированию.*

*Keywords: LEDs, luminophor degradation, lighting.*

*Considered: the history of LEDs, the benefits of using LEDs in lighting control systems, factors affecting the durability of LEDs, practical recommendations for the design.*

### **Введение**

Как показывает история человечества с древнейших времен по сегодняшние дни, как только человек начал потреблять энергетические ресурсы, так тут же стали возникать энергетические кризисы. Достаточно вспомнить кризисы последних лет 1973, 1979, 1990, 2000, 2004, 2005, 2007, 2008, 2009 и т.д.

На сегодняшний момент вся вырабатываемая в мире электроэнергия расходуется следующим образом:

- электроприводы - 50-52%;
- освещение - 17-20%;
- источники тепла и холода - 15-17%;
- телекоммуникации - 13-15%.

Одной из важнейших проблем энергосбережения является косность экономического мышления. Многим важнее цена покупки сейчас, а не то что разница в стоимости полностью окупается через 2-3 года и далее получается существенная экономия. И это при том, что в стандартном расчете мы учитываем лишь прямую экономию, а совокупность косвенных показателей, таких как снижение энергодефицита, уменьшение объемов нового строительства, уменьшение потребления кабельно-проводниковой продукции и т.д., дают эффект который реально сокращает 2-3 летний срок как минимум в половину.

Особенно остро вопрос энергопотребления для освещения стоит при строительстве и вводе в эксплуатацию новых объектов. В целом, для поселения с численностью 100000 человек требуется порядка 9000 светоточек. При замене считающихся энергосберегающими светильников с натриевыми лампами на светодиодные получаем экономию электроэнергии до 3 ГВт в год, а это не только снижение затрат на подключение (плата за выделение мощности), но и возможность использования кабелей меньшего сечения и т.д.

Согласно данным, полученным Союзом разработчиков систем освещения нового поколения (NGLIA) только простая замена ламп накаливания на светодиоды во всех светофорах сэкономит сотни миллионов в год. Повсеместное использование светодиодного освещения обеспечит возможную экономию 189 тераватт-часов в год, что равноценно годовой производительности 30 электростанций мощностью 1000 мегаватт [1].

Ожидается более активное расширение областей применения светодиодного освещения: экспансия

от акцентного освещения и создания световых эффектов в сторону систем общего освещения.

Широкое применение инновационных источников света внесет значимый вклад в уменьшение энергоемкости российской экономики на 40% к 2020 году.[3,7]

Развитием полупроводниковой светотехники в России и за рубежом занимаются коллективы университетов и крупных фирм. Светодиоды на полупроводниковых соединениях Si, AsGa обладают высокими технико-экономическими показателями, имеют широкую гамму цветов, конфигурации и мощности. Возникшее в последнее время новое направление полупроводниковых полимерных соединений, обладающих электролюминесцентными свойствами, открывает новые горизонты в полупроводниковой светотехнике. Основной целью исследований и разработок должно стать создание доступного источника света на основе полупроводниковых соединений.

### **История создания светодиода**

Явление электролюминесценции, заключающееся в излучении фотонов твердым телом под воздействием электрического тока, было открыто в начале XX века. В том, что электролюминесценция может происходить при комнатной температуре, и заключается ее главное отличие от теплового свечения.

В 1907 году английский инженер Х. Д. Раунд случайно заметил, что у работающего детектора вокруг точечного контакта возникает свечение. Всерьез же заинтересовался этим физическим явлением и его практическим применением Олег Владимирович Лосев. Обнаружив в 1922 году свечение кристаллического детектора, он перешел к экспериментам. Стремясь получить устойчивую генерацию кристалла, он пропускал через точечный контакт диодного детектора ток от батарейки.

В 1928 году Лосев опубликовал результаты своих исследований. Он установил, что излучение света в одних диодах возникает только при их смещении в обратном направлении, а в других - как в прямом направлении, так и в обратном. Первые светодиоды были изготовлены из SiC, а в 1936 г. появилась публикация о создании Ж. Дестрио светодиодов на основе кристаллов цинка ZnS.

В 1961 году экспериментаторы Роберт Биард и Гари Питтмэн обнаружили, что GaAs испускал инфракрасную радиацию при прохождении электрического тока. Первый светодиод видимого спектра (красный) был разработан в 1962 году Пиком Холоньяком-младшим, когда он работал в компании «Дженерал Электрик». Холоньяк был назван отцом светодиодов. Джордж Крэффорд, прежний аспирант Холоньяка, изобрел первый светодиод желтого цвета и улучшил яркость красного и красно-оранжевого светодиодов в десятки раз в 1972 году. В 1976 г. Т.Р. Пирсал получил первые светодиоды высокой яркости и производительности для волокон оптических телекоммуникаций, изобретая новые материалы полупроводников, приспособленные к оптическим длинам волн передачи оптики.

29 ноября 1993 года компания Nichia Chemical Industries объявила, что завершила разработку голубых светодиодов на основе GaN и планирует приступить к их массовому производству. Первый коммерческий синий светодиод был сделан Накамурой в начале 1994 года на основе гетероструктуры InGaN/AlGaIn с активным слоем InGaIn, легированным Zn. Выходная мощность составляла 3 мВт при прямом токе 20 мА с квантовым выходом 5,4% на длине волны излучения 450 нм. Вскоре после этого за счет увеличения концентрации In в активном слое был изготовлен зеленый светодиод с силой света 2 кд. Он состоит из 3-х активного слоя InGaIn, заключенного между слоями p-AlGaIn и n-GaN, выращенными на сапфире. Такой тонкий слой InGaIn сводит к минимуму влияние рассогласования решеток: упругое напряжение в слое может быть снято без образования дислокаций, и качество кристалла остается высоким.

В 1995 году при еще меньшей толщине слоя InGaIn и более высоком содержании In удалось повысить силу света до 10 кд на длине волны 520 нм, а квантовую эффективность - до 6,3%. причем измеренное время жизни светодиодов составляло 50 000 ч, а по теоретическим оценкам - более 106 000 ч (150 лет!). Накамура запатентовал ключевые этапы технологии, и к концу 1997 года фирма Nichia выпускала уже 10-20 млн. голубых и зеленых светодиодов в месяц. Дела компании стремительно улучшились, доходы выросли с 20 млрд. иен в 1993 г. до 180 млрд. иен в 2003 г. Сегодня внешний квантовый выход излучения светодиодов на основе GaN и его твердых растворов (InGaIn, AlGaIn) достиг значений 29/15/12% соответственно для фиолетовых голубых/зеленых светодиодов; их светоотдача достигла значений 30-50 лм/Вт. Внутренний квантовый выход для «хороших» кристаллов с мощным теплоотводом достигает почти 100%, рекорд внешнего квантового выхода для красных светодиодов составляет 55%. а для синих - 35%. Внешний квантовый выход излучения желтых и красных светодиодов на основе твердых растворов AlInGaP достиг значений 25 55%, а светоотдача, соответственно, достигла 100 лм/Вт, то есть сравнялась со светоотдачей лучших современных люминесцентных ламп.[3]

В 1997 году инженером Фредом Шубертом, был изготовлен первый светодиод, дающий белый свет.

В 1998 году российская компания Корвет-Лайте, приступила к производству широкого спектра светодиодов нового поколения.

В 1999 году, компании "Nichia Chemical". "Toyota Gosei". "Hewlett Packard". "Cree". выпускали по несколько десятков миллионов голубых и зеленых светодиодов в месяц.

В июле 1999 года, доктор Ш. Накамура, сообщил, что светоотдача светодиодов достигает 60 лм/Вт. а мощность желтых на основе InGaIn - 6 мВт.

С 2000 года, белые светодиоды выпускают "Nichia Chemical" и "Osram";

В 2000 году, так называемая "Большая Тройка". LumiLeds / Phillips, Osram / Cree. GELcore / Uniroyal, затратила более 70 млн. на разработки и исследования в области производства и применения светодиодов.

Новый этап развития светодиодов открылся в начале 2000-х годов, когда известные корпорации Philips (Нидерланды) и Hewlett Packard (США) образовали компанию Lumileds, которая разработала первые мощные светодиоды. В основе этих светодиодов использовались большие кристаллы размером 1x1 мм, номинальный рабочий ток составлял 350 мА, а потребляемая мощность немного превышала 1 Вт. Световая отдача первых таких светодиодов достигала 25 лм/Вт в холодном белом цвете.

До 2008 года рынок развивался очень неравномерно. Так, среднегодовые темпы роста рынка в 2000, 2002 и 2003 годах достигали 50% благодаря значительной активности в секторе мобильных приложений (мобильные телефоны, цифровые камеры, КПК и т.д.). В связи с неблагоприятной экономической обстановкой в 2009 году наблюдалось некоторое сокращение объема рынка светодиодов (по разным данным оно составило до 5%), но в 2010 году его рост возобновился. При этом рост в сегменте рынка мощных светодиодов, по некоторым данным, не прекращался и в этот период.

На протяжении последних лет многие из числа ведущих производителей, крупнейшими из которых являются компании Nichia, Philips Lumileds и Cree, продолжают интенсивные исследования, направленные на увеличение эффективности светодиодов. Особо стоит отметить успехи компании Cree, последним достижением которой является преодоление значения световой отдачи светодиода 200 лм/Вт, которое считалось определенным психологическим и технологическим барьером. Компания Nichia в августе 2010 года также объявила о своих образцах светодиодов со световой отдачей больше указанного значения. Работы по увеличению эффективности светодиодов и совершенствованию их характеристик ведёт и компания Philips Lumileds.

Несмотря на влияние глобального экономического спада, прогресс способствует росту спроса на светодиоды и изделия на их основе. В дальнейшем ожидается новое ускорение развития рынка благодаря использованию светодиодов в жидкок-

ристаллических панелях и дисплеях, в изделиях автомобильной промышленности и, конечно, благодаря росту популярности полупроводникового освещения. Согласно прогнозам экспертов, в 2013 году объем мирового рынка светодиодов составит \$12,4 млрд при среднегодовом темпе роста, равном 19,3% [6].

### **Основные выгоды от внедрения светодиодных светильников**

1. Экономия электроэнергии до 70% - позволяет перераспределить высвободившуюся энергию в «узкие» места и на другие нужды;

2. Увеличение освещенности за счет увеличения количества светильников на существующих мощностях и кабельных трассах. Человек 80% информации получает через органы зрения, зрительный комфорт напрямую зависит от степени освещенности. Качественная световая среда - создает зону безопасности и визуального комфорта. Каждому знакома смена чувства тревоги и напряжения на уверенность и чувство защищенности при выходе из неосвещенного переулка на освещенную улицу. Статистика однозначно свидетельствует, что в районах с хорошим уровнем освещенности число преступлений в темное время суток значительно ниже, чем в районах с уровнем освещенности ниже норм и тем более, где освещение вообще отсутствует;

3. Уменьшение сечения кабеля или мощностная разгрузка существующего; На данный момент значительная часть электрических сетей обветшала, и уменьшение нагрузки существенно увеличит их срок службы;

4. Отсутствие затрат на обслуживание и срок службы 25 лет - позволяет первые 5 лет экономить, а следующие 20 - получать реальную прибыль;

5. Экологическая безопасность - позволяет исключить затраты на специальную утилизацию и сохранить окружающую среду;

6. Безопасность движения и сохранение жизней - обеспечивается лучшей видимостью и восприятием глубины пространства за счет большей контрастности (в 400 раз), отсутствие слепящего эффекта за счет, специально сформированного угла светового потока;

7. Сохранение электросетей - за счет низких питающих токов (0,34 А) и отсутствия пусковых;

8. Стабильное освещение в зимний период - обеспечивается отсутствием проблем с включением, характерными для всех газоразрядных ламп [4].

9. Светодиодные светильники имеют значительно меньший вес по сравнению с лампами накаливания или газоразрядными лампами, что позволяет уменьшить нагрузку на держатели и световые столбы.

10. Применение светодиодов позволяет реализовать большое разнообразие дизайнерских решений.

11. Светодиодное освещение позволяет реализовывать направленное освещение, например, при освещении автодороги не освещать прилегающие кусты, или при организации подсветки зданий не засвечивать окна жителей в ночное время.

12. Светодиодные светильники позволяют легко реализовывать функцию диммирования (функция диммирования аппаратно встроена в большинство

адаптеров тока). С ее помощью можно плавно менять уровень освещенности в помещениях, что позволит не только создать комфортные условия для человека но и значительно сэкономить на электроэнергии.

13. Применение специальных светодиодных светильников различного спектра позволяет в разы повысить эффективность труда в растениеводстве (тепличные хозяйства) и животноводстве.

14. Светодиодные светильники незаменимы при аварийном освещении бытовых и промышленных помещений, так как обеспечивают низкий класс взрывоопасности и продолжительную работу от аварийных источников энергии.

Наиболее спорным тезисом считается длительный срок службы светодиодной техники. Под сроком службы светодиодов понимается время работы светодиодов при котором он поддерживает свои заявленные номинальные характеристики до момента падения характеристик ниже определенного уровня. Некоторые производители считают, что таким порогом снижения является снижение светового потока на 30%, другие же на 50%. Наиболее распространенный срок службы, который указывают производители, является 50 тысяч часов, что примерно около 6 лет. Это довольно длительный период и поэтому никто не будет испытывать новый, тип светодиодов на продолжительность работы так долго, потому что ситуация на рынке может поменяться и данный тип светодиодов может оказаться невостребованным. Производители светодиодов выходят из положения проведением испытаний 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.

Единого международного стандарта, который бы - описывал тестирование светодиодов в экстремальных условиях с последующей экстраполяцией результатов, не существует. Тем не менее, в США есть организация JEDEC, разрабатывающая стандарты JESD. Некоторые производители светодиодов, например, Cree, пользуются стандартом JESD22 для тестирования светодиодов. Светодиоды испытываются при максимально допустимом токе, продолжительность указанных тестов составляет 1008 часов (42 суток). Критериями выхода светодиода из строя во всех приведенных в таблице испытаниях являются: изменение напряжения более чем на 200 мВ, снижение светового потока более чем на 15%, короткое замыкание, разрыв цепи. Если наблюдается хотя бы одно из указанных явлений, светодиод считается вышедшим из строя. Современные методики позволяют с высокой точностью предсказывать срок службы устройства.

### **Факторы, влияющие на срок службы светодиодов**

На срок службы светодиода влияют следующие факторы.

Качество светодиодного кристалла определяется технологией выращивания и степенью очистки исходного материала. Следует различать максимальную рабочую температуру светодиода и максимально допустимую температуру р-п - перехода. Срок службы светодиода определяется температурой р-п - перехода. Но поскольку эту температуру можно измерить только в лабораторных условиях с применением сложных и дорогостоящих методов, при проектировании используются математические методы, позволяющие связать ее с температурой в тех или иных точках корпуса светодиода [2].

Деградация кристалла приводит к снижению мощности излучения. Одна из причин - рост количества дефектов кристаллической решетки. 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 через не излучающие свет участки кристалла. В результате уменьшается напряжение на электродах светодиода, а значит, уменьшается мощность. Также, по мнению некоторых специалистов, к возникновению дефектов в кристаллической решетке может привести действие статического электричества.

Теплопроводные свойства корпуса определяют разницу между температурой корпуса и кристалла, а каждые дополнительные 10 градусов снижают срок службы в два раза. В условиях высоких температур разница коэффициентов теплового расширения различных частей светодиода может привести к механическому разрушению кристалла или обрыву электродов. От температуры воздуха, непосредственно окружающего светодиод, зависит итоговая температура кристалла, и, соответственно, срок его службы.

Подобно люминесцентным лампам, светодиоды имеют люминофор. Это позволяет некоторым специалистам, скептически относящимся к использованию светодиодов для освещения, высказывать тезис, что срок службы светодиода не может быть больше срока службы люминесцентной лампы, т.е. 10000 часов. Однако такое сравнение некорректно. Во-первых, значительный вклад в деградацию люминофора в люминесцентных лампах играют фотохимические процессы, связанные с распылением эмиттера, покрывающего электроды. В светодиоде такого явления нет. Во-вторых, в светодиодах используются совершенно другие, более дорогие люминофоры. Например, одним из широко используемых вариантов люминофора является галлий – гадолиниевый гранат, активированный церием. Такие люминофоры обладают большим сроком службы. В светодиоде деградация люминофора определяется в основном температурой. Ведь люминофор обычно наносит непосредственно на кристалл, который довольно сильно нагревается.

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. Они возникают как в результате нарушения технологии производства, так и в процессе эксплуатации светодиода при температуре, превышающей максимально допустимое значение. Так, 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.

Таким образом, основной проблемой, вызывающей снижение рабочего ресурса светодиодов, является нарушение температурного режима при эксплуатации. В свою очередь, температурный режим определяется конструкцией светильника. Поэтому более корректным будет говорить не о сроке службы светодиодов, а о сроке службы светового прибора с интегрированным в него светодиодами. К сожалению, в рекламных материалах производители зачастую указывают именно срок службы светодиодов, когда в светильнике из-за перегрева светодиоды могут работать меньше заявленного производителем срока (при нормальных условиях работы сроки службы светодиодов и всего светильника могут совпадать).

Наряду с обеспечением отвода тепла, важна роль драйверов, управляющих питанием светодиодов. Целесообразно в драйверах предусмотреть обратную связь с температурой р-п- перехода. В этом случае если обнаруживается, что светодиоды перегреты, а система охлаждения не обеспечивает должного температурного режима, драйверы должны уменьшать подаваемую на светодиоды мощность. Это снизит эффективность светового прибора, но позволит сохранить работоспособность осветительной установки в целом [5].

## Вывод

1. Наиболее оптимальным является создание интеллектуальных систем освещения входящих в общую СКС дома, которая позволит не только эффективно управлять светом, но и обеспечивать наиболее длительную эксплуатацию светодиодного освещения за счет снижения деградации люминофора.
2. Необходимо выработать унифицированный модуль на несколько кристаллов дабы при выходе из строя одного кристалла светодиода (или снижения эксплуатационных характеристик) не пришлось менять весь светильник целиком.
3. Значительный прогресс в области разработки мощных светодиодов делает, сегодня выпускаемые светильники, морально устаревшими уже завтра. В проектируемых светильниках должна быть предусмотрена возможность отверточной замены устаревших кристаллов светодиодов на более современные с более высоким КПД.
4. Малые размеры светодиодов позволяют их размещать практически в любом месте, что ре-

шает практически любую дизайнерскую задачу по освещению или подсветке. Кроме того комбинирование светодиодов различного цвета и интенсивности позволяет создавать характерные особенности дизайна и придавать индивидуальность любому объекту начиная от квартиры, дома, района заканчивая крупным мегаполисом.

### Литература

1. Алферов Ж. И. История и будущее полупроводниковых гетероструктур // ФТП. 1998. Т. 32. № 1.
2. Светодиоды-долгожители: правда или мистификация? (Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.magazine-svet.ru/analytics/62889/>- Загл. с экрана.
3. А. В. Микрюков, А. Д. Старостин, В. О. Сушков «Развитие полупроводниковой светотехники», Журнал «Полупроводниковая светотехника», №2, 2010г.
4. Д. А. Николаев, А. К. Феопентов: «Основы теплового менеджмента при конструировании ПСП.», «Полупроводниковая Светотехника», №1 2010г.
5. Андреас Поль «Особенности расчета систем отвода тепла при использовании светодиодов в корпусах PLCC», «Полупроводниковая светотехника», №5, 2010г.
6. Туркин А. Применение светодиодов в светотехнических решениях: история, реальность и перспективы // СТА 2011, №2.
7. Плотников В.В., Сидорова Ю. С., Плотникова Л.В. Анализ энергетической эффективности технологической схемы полимеризации этилена // Вестник Казанского технологического университета: Т. 15. №3

---

© **В. В. Плотников** – канд. техн. наук, доц. каф. автоматизированных систем сбора и обработки информации КНИТУ, carpenter\_wowa@mail.ru; **Л. Ф. Курамшина** – магистрант КГЭУ; **А. Р. Вахитов** – инж. КГЭУ.