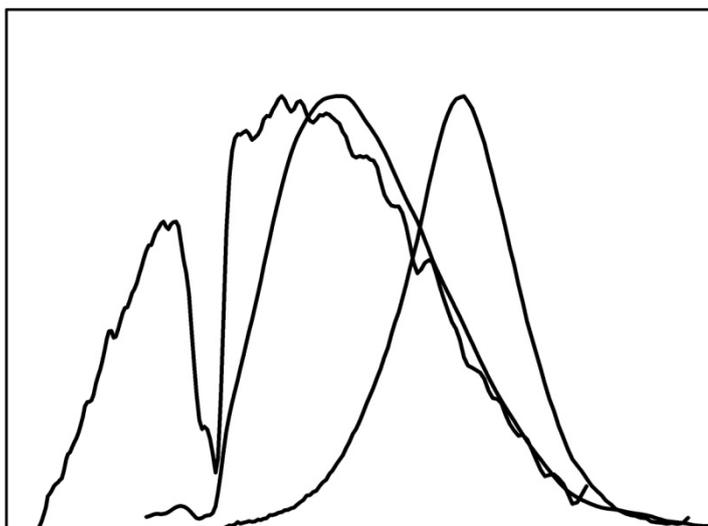


К.Д. Мынбаев

**ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИМЕНЕНИЯ
СВЕТОДИОДНЫХ УСТРОЙСТВ**



**Санкт-Петербург
2016**

Министерство образования и науки Российской Федерации

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

К.Д. Мынбаев

**ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИМЕНЕНИЯ
СВЕТОДИОДНЫХ УСТРОЙСТВ**

Учебное пособие

 **УНИВЕРСИТЕТ ИТМО**

Санкт-Петербург

2016

Мынбаев К.Д. Технические применения светодиодных устройств. Учебное пособие. – СПб: НИУИТМО, 2016. – 54 с. Рис. 12. Библ. 10.

Рассматриваются основные области применения светодиодов и устройств и систем на их основе в технике.

Учебное пособие предназначено для магистрантов, обучающихся по направлениям подготовки 12.04.02 «ОпTOTехника» и 16.04.01 «Техническая физика», и, в первую очередь, по образовательным программам «Светодиодные технологии» и «Физика и техника оптоэлектронных информационных систем». Материал может быть также рекомендован для студентов старших курсов физико-технических специальностей.

Рекомендовано к изданию Ученым советом факультета лазерной и световой инженерии (ЛИСИ), протокол № 12 от 13 декабря 2016 г.



Университет ИТМО – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 в 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Университет ИТМО, 2016

© Мынбаев К.Д., 2016

Оглавление

Введение.....	4
История применения светодиодов в технике	5
Раздел 1 Применение светодиодных систем в промышленном производстве и на транспорте	7
1.1 Промышленное светодиодное освещение.....	7
1.2 Светодиодные системы на железнодорожном транспорте.....	8
Особенности железнодорожных светофоров.....	10
Светильники для железнодорожного транспорта	11
1.3 Светодиодные системы на автомобильном транспорте	13
Применение светодиодов в салоне автомобиля	14
Применение светодиодов в задних фонарях.....	14
Сигнальные функции в передней части автомобиля	15
Функции основного освещения с применением технологии светодиодов	15
Светодиодное освещение автомобильных дорог	16
Светодиодные светофоры для автомобильных дорог.....	17
Раздел 2. Светодиодные системы подсветки.....	20
2.1 Светодиодная подсветка ЖК экранов.....	20
2.2 Интерьерная и архитектурная подсветка.....	22
2.3 Преимущества применения источников света на основе светодиодов..	23
Раздел 3. Индикаторные светодиодные устройства и оптопары	25
3.1 Светодиодные индикаторы	25
Системы обозначений светодиодов и знаков синтезирующих индикаторов	26
3.2 Физиологические аспекты восприятия излучения индикаторных устройств.....	28
3.3 Оптоны	30
Раздел 4 Ультрафиолетовые светодиоды в технике.....	33
3.1 УФ печать.....	34
3.2 Применение УФ светодиодов для технических устройств проверки подлинности денежных купюр и документов.....	36
3.3 Перспективы развития устройств на основе УФ светодиодов.....	38
Раздел 5 Инфракрасные светодиоды в технике	41
Раздел 6 Светодиоды в системах передачи информации.....	46
6.1 Светодиоды в волоконно-оптических линиях связи	46
6.2 Светодиоды в технологии Li-Fi.....	48
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ ЛИТЕРАТУРЫ.....	51

Введение

В последние годы проблема энергоэффективности приобретает особую актуальность из-за быстро растущего спроса на электроэнергию. Ожидается дальнейшее увеличение потребления энергии, вызванное интенсивным развитием производства, транспорта, строительства и т.д. Инженеры и исследователи ищут новые решения в области энергоэффективности, и светодиодные технологии предлагают такие решения, притом не только для целей общего освещения, но и в промышленных установках, сельском хозяйстве, медицине и т.п. И хотя экономические перспективы в части сбережения энергии в первую очередь связывают именно со светодиодным освещением, однако у светодиодов существует и множество технических применений, где эти источники света не только позволяют экономить электроэнергию, но благодаря своим уникальным характеристикам позволяют реализовать технические решения, недоступные при использовании других источников света. На рис. 1 представлены экспертные данные, отражающие существовавшее в 2008 г. и ожидаемое в 2020 г. состояние основных областей применения светодиодов. Как видно из этого рисунка, несмотря на значительный рост доли светодиодов, идущих на общее освещение, даже в 2020 г. эта доля достигнет в лучшем случае 20% (хотя фактически в 2015 г. она ещё оставалась на уровне 40%). Всё остальное, – это светодиоды, применяемые в технических целях. В настоящем пособии кратко рассматривается ряд ключевых применений светодиодов в различных технических устройствах, – начиная от специального освещения и до устройств беспроводной связи. Рассмотренный список применений светодиодов в технике является далеко не полным, и оставляет простор для самостоятельной работы студентов.

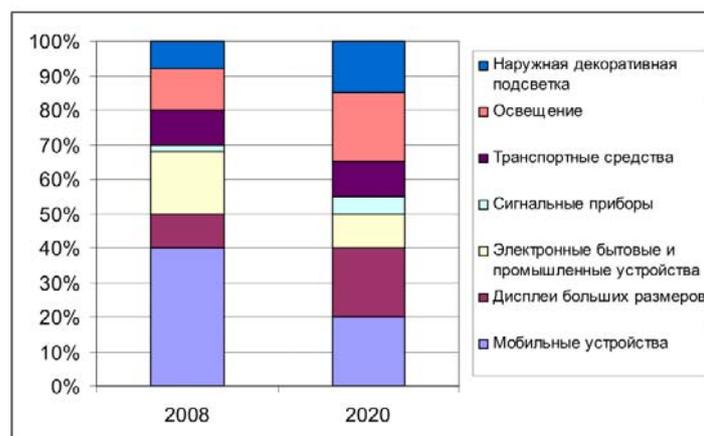


Рис. 1 Динамика развития применения светодиодов в мире в относительном выражении

История применения светодиодов в технике

Физической основой работы светодиодов является электролюминесценция, то есть излучения веществом фотонов при приложении внешнего напряжения и протекании электрического тока. Первые открытия в области электролюминесценции были сделаны в России. В 1923 году российский физик Олег Владимирович Лосев обнаружил слабое свечение кристаллов карборунда (современное название материала – карбид кремния) при пропускании через них электрического тока. Таким образом был открыт эффект прямого преобразования энергии электрического тока в энергию оптического излучения, то есть света. Необходимо отметить, что чуть менее чем за 20 лет до О.В. Лосева, в 1907 году, американский инженер Г. Дж. Раунд также обнаружил аналогичное свечение кристаллов карборунда, но не предложил физического объяснения его причин. Мощность излучения и КПД созданного в начале XX века источника света были настолько малы, что он представлял лишь научный интерес, хотя Лосев уже тогда предположил возможную область применения открытого им эффекта. Практическая же реализация твердотельных светоизлучающих приборов, представляющая коммерческий интерес, стала возможной лишь в 60–70-е годы XX века после обнаружения эффективной люминесценции полупроводниковых соединений типа АПВВ – фосфида и арсенида галлия (GaP и GaAs) и их твердых растворов. На основе этих материалов были созданы первые светодиоды, и таким образом был заложен фундамент нового направления науки и техники – оптоэлектроники.

Ирония судьбы заключается в том, что когда слово «светодиод» употребляется сегодня, то люди очень часто думают только о системах освещения, — общего или специального, — или подсветки. Однако исторически светодиоды возникли именно как объекты сугубо технического назначения. Первые светодиоды были столь неэффективны и дороги, что никто и подумать не мог, что когда-либо на их основе будут создаваться масштабные системы общего освещения или дешевые, но эффективные системы подсветки, которые люди будут использовать у себя на кухне. Новейшая история светодиодов началась в 60-х годах XX в. В 1961 году Роберт Байард и Гари Питтман из компании Texas Instruments открыли и запатентовали технологию инфракрасного светодиода. Первый в мире практически применимый светодиод, работающий в видимом (красном) диапазоне, разработал Ник Холоньяк в компании General Electric в 1962 году. В 1976 году Т. Пирсол создал первый в мире высокоэффективный светодиод высокой яркости для телекоммуникационных применений, специально адаптированный к передаче данных по волоконно-оптическим линиям связи.

Важным направлением использования светодиодов стало их применение в качестве индикаторов. Так, первые светодиоды, излучавшие в видимой области спектра, и созданные на основе твердых растворов GaAsP,

использовались в качестве индикаторов на монтажных платах. Светодиоды отображали состояние электронной схемы и выполняемые устройством функции (подобные светодиодные индикаторы до сих пор можно увидеть, например, на материнских платах настольных компьютеров).

Другими областями применения светодиодов стали цифровые дисплеи для карманных калькуляторов и наручных часов. Первые часы с цифровым дисплеем были выпущены в 1972 г. Светодиоды GaAsP красного цвета стали использовать в калькуляторах, тогда их недостатком было затрудненное считывание информации в условиях яркого внешнего освещения, поскольку свечение светодиодов было очень слабым. Кроме того, такие дисплеи потребляли довольно большую электрическую мощность. Те же проблемы были и у наручных часов. Жидкокристаллические дисплеи, разработанные в конце 1970-х годов, требовали гораздо меньшей мощности, поэтому к началу 1980-х они практически полностью вытеснили дисплеи на светодиодах.

Наиболее известной сегодня, вероятно, является история создания светодиодов на основе GaN. Работы в этой области были начаты в США в конце 1970-х годов, но приостановились после 1982 г. по причине технологических трудностей получения материала *p*-типа проводимости. Однако в Японии в 1989 году Исаму Акасаки и Хироши Амано с коллегами продемонстрировали первый светодиод на основе GaN со слоем *p*-типа проводимости. В 1992 году они опубликовали статью о создании первого светодиода на основе GaN с гомогенным *p-n*-переходом. Данный светодиод излучал в ультрафиолетовом и синем спектральном диапазонах. В 1990 году разработкой светодиодов на основе GaN занялся Суджи Накамура, сотрудник компании Nichia Chemical. Результатом его работы стали первые светодиоды голубого и зелёного свечения, созданные на основе двойных гетероструктур InGaN/GaN с квантовыми ямами, выращенных методом газовой эпитаксии из металлорганических соединений. Также результатом работы Накамуры стали первые светодиоды белого свечения с использованием люминофора, преобразующего длину волны синего излучения кристалла в жёлто–зелёное свечение. Именно со второй половины 90-х годов прошлого века, когда были созданы первые светодиоды синего и зелёного свечения на основе гетероструктур из GaN и его твёрдых растворов, о светодиодах заговорили как о перспективных источниках света для освещения. Сегодня светодиодные системы освещения распространены уже повсеместно. В 2014 году Накамура, Асаки и Амано за разработку физических основ светодиодов получили Нобелевскую премию по физике. Оптоэлектронные устройства на основе GaN и его твердых растворов сегодня активно применяются и в технике, – например, в устройствах записи информации, работающих по технологии Blue Ray.

Раздел 1 Применение светодиодных систем в промышленном производстве и на транспорте

1.1 Промышленное светодиодное освещение

Очень кратко упомянем особенности применения светодиодного освещения на промышленных предприятиях, поскольку в целом этот предмет относится скорее к категории освещения, нежели технического применения светодиодов. Очевидно, что помимо светотехнических характеристик и экономической стороны вопроса (включая энергоэффективность) важными параметрами в определении источников света для промышленных объектов являются:

- их устойчивость к возможно агрессивной производственной среде;
- удобство в эксплуатации и дальнейшей утилизации;
- экологическая безопасность;
- время выхода на рабочий режим;
- уровень освещенности;
- срок службы;
- габариты и вес.

Важно, что правильно выполненный проект освещения промышленных помещений способствует повышению производительности труда, в том числе, оказывает положительное психофизиологическое воздействие; способствует повышению эффективности и безопасности труда; снижает утомление и травматизм и обеспечивает высокую работоспособность.

Преимущества светодиодных светильников в сравнении с традиционными ламповыми светильниками отражают данные, приведенные в Таблице 1. В ней приняты следующие обозначения: ЛН – лампы накаливания, КЛЛ – катодолуминесцентные лампы, СД – светодиоды, ИК – инфракрасное излучение, УФ – ультрафиолетовое излучение.

Таблица 1. Сравнение светодиодных и ламповых светильников

Рейтинг	Категории сравнения					
	Начальная стоимость	Расходы за период эксплуатации	Жизненный цикл источника	Яркость	ИК	УФ
Лучшие	ЛН	СД	СД	СД	СД	СД
Средние	КЛЛ	КЛЛ	КЛЛ	ЛН	КЛЛ	ЛН
Худшие	СД	ЛН	ЛН	КЛЛ	ЛН	КЛЛ

Современные промышленные светодиодные светильники, благодаря направленному свету светодиодов, также способны решить проблему светового загрязнения, вызванную неоптимальной и неэффективной конструкцией многих систем освещения. Световое загрязнение является одной из многочисленных проблем, порожденных глобализацией и промышленным развитием человечества. Оно ведет к расточительству энергии и нарушению равновесия устоявшихся экосистем, в том числе влияет и на здоровье человека, нарушая циркадный ритм. Также важной характеристикой светодиодов, как источников света для промышленного освещения, является их полная интеграция в интеллектуальные системы управления освещением.

1.2 Светодиодные системы на железнодорожном транспорте

Светодиодные системы на железнодорожном транспорте используются как для освещения, так и в различных сигнальных устройствах. Железные дороги представляют собой один из самых больших рынков для светодиодной продукции, и ОАО «РЖД» является лидером по темпам внедрения светодиодной продукции среди крупнейших российских корпораций. Основными направлениями использования светодиодов на железных дорогах являются системы специального освещения (вокзалы, станции, депо, мосты и тоннели) и светодиодные светосигнальные устройства (маршрутные указатели и светофоры). Целью постоянно проводимой ОАО «РЖД» модернизации является повышение эффективности и надежности светосигнальных приборов железнодорожного транспорта, улучшение их светотехнических параметров (дальность видимости и различимость сигнальных показаний) и повышение, таким образом, безопасности движения и улучшение условий труда машинистов.

Так, например, традиционные *сигнальные устройства и маршрутные указатели* на лампах накаливания имеют следующие существенные недостатки:

- высокое энергопотребление (1400 Вт) из-за применения до 35 ламп накаливания мощностью 40 Вт;
- низкую надежность ламп накаливания, недостаточную пыле- и влагозащищенность, приводящую к окислению контактов, загрязнению внутренних поверхностей линз, загрязнению защитного стекла, снижению видимости и различимости сигнального показания;
- небольшой нормативный срок службы (10 лет).

Предлагаемые на рынке светодиодных устройств маршрутные указатели имеют гораздо более высокие технико-экономические показатели:

- энергопотребление снижено в 4 раза в дневном режиме и в 10 раз в ночном за счет снижения потребляемой мощности светодиодных ячеек до 10 Вт;

- эксплуатационные расходы снижены в 10 раз за счет исключения ряда технических операций периодического обслуживания, таких, как проверка внутреннего состояния указателя, измерение напряжения на лампах и их замена, чистка переднего стекла и внутренних поверхностей линз, ликвидация последствий проявления вандализма;
- срок службы увеличен в 2 раза – до 20 лет, за счет применения современных высокопрочных полимерных материалов и покрытий, высоконадежных светодиодов со сроком службы на весь период эксплуатации, повышенной защиты от проявлений вандализма;

Лучшие светотехнические параметры – дальность видимости и различимость сигнального показания, – обеспечивают улучшение условий труда машинистов. Средний срок окупаемости светодиодных маршрутных указателей составляет 2,6 года, светодиодных маршрутных указателей положения – 3,3 года.

Применяемые в настоящее время на железных дорогах *светофорные головки* на лампах накаливания, в свою очередь, обладают следующими недостатками:

- малый срок службы светофорных ламп, не превышающий 2000 часов;
- низкая надежность лампы накаливания;
- достаточно высокая трудоемкость замены ламп накаливания, обуславливающая значительные эксплуатационные расходы;
- слабая защита от проявлений вандализма;
- вероятность появления разрешающего сигнала при повреждении светофильтра.

Светодиодные светофорные головки обеспечивают:

- снижение эксплуатационных расходов в 10 раз за счет исключения из числа технических операций периодического обслуживания и регламентной замены ламп накаливания за счет применения высоконадежных светодиодов со сроком службы на весь период эксплуатации;
- снижение затрат на ремонтно-восстановительные работы за счет применения современных высокопрочных полимерных материалов и покрытий, обеспечивающих повышение коррозионной стойкости и защиты от проявлений вандализма;
- улучшение светотехнических параметров, таких, как различимость и дальность видимости, повышение достоверности контроля сигнального показания за счет внедрения фотометрического контроля, контроль отказов и предотказных состояний, повышение безопасности движения;
- возможность монтажа на существующие несущие конструкции.

Так, например, светодиодная головка мачтового светофора с токовым контролем обеспечивает:

- снижение эксплуатационных расходов в 12 раз;

- снижение энергопотребления в 1,5 раза за счет снижения потребляемой мощности до 9–10 Вт вместо 15 Вт, потребляемых лампой накаливания;
- улучшение светотехнических параметров, таких как дальность видимости и различимость сигнального показания светофоров, что ведет к повышению безопасности движения, улучшению условий труда машинистов;
- возможность монтажа на существующие несущие конструкции.

Особенности железнодорожных светофоров

В качестве источников света в железнодорожных светофорах светодиоды уже используют наравне с лампами накаливания. Светофоры применяются линзовые или прожекторные; по расположению они подразделяются на мачтовые и карликовые, а также устанавливаемые на мостиках, консолях, фермах мостов, стенах тоннелей, а на железнодорожных путях не общего пользования – также на стенах производственных помещений. По эксплуатационным свойствам основное отличие типичного железнодорожного светофора от большинства светофоров на автомобильных дорогах — это более узкая направленность основного луча (в России и постсоветском пространстве угол расхождения составляет 3°), поскольку в большинстве случаев показание светофора предназначено только для машиниста подвижного состава, находящегося на одном участке пути. В зарубежных странах норма расхождения луча по вертикали и горизонтали составляет $5\text{--}6^\circ$. Ещё одно важное отличие заключается в том, что однозначное восприятие показания светофора на железной дороге должно происходить на больших расстояниях — порядка 0,8–1,5 км, что практически исключает использование каких-либо фигур или силуэтов в пределах одного огня. Как правило, в любой железнодорожной светофорной сигнализации требуется достаточно много различных показаний. При этом количество возможных для применения цветов может достигать пяти–шести. На железных дорогах мира применяются светофоры, отображающие сигнал либо только взаимным расположением огней, либо только их цветом (и часто также миганием), либо как цветами, так и расположением, причем системы сигнализации могут быть как простыми, так и очень сложными для изучения и восприятия. Например, в России основное значение имеет цвет огней и мигание, их относительное расположение, при этом все огни светофора, горящие одновременно, располагаются всегда на одной вертикальной линии. Цвета, применяемые в светофорной сигнализации России: красный, жёлтый, зелёный, лунно-белый (такие также используются для регулирования движения трамваев) и синий. На РЖД используются светодиодные светофоры различных систем. К первой можно отнести светофоры, подобные уличным. В них каждый сигнальный комплект представляет собой плоскую матрицу со светодиодами, фокусировка луча происходит для каждого

светодиода отдельно встроенной в светодиод линзой. Достоинства такого светофора — очень хорошая устойчивость к проявлениям вандализма (так как матрица защищена прочным прозрачным материалом), резкость и четкая видимость показаний начиная со средних расстояний. В некоторых случаях (например, для крутых кривых железнодорожного полотна) достоинством является довольно широкий угол видимости. Основной же недостаток такой конструкции, — это яркий и часто даже слепящий эффект матрицы на близких расстояниях. Также используются линзовые светодиодные светофоры. Конструктивно такие устройства отличаются от ламповых линзовых светофоров только тем, что имеют бесцветные линзы. Светофоры данного типа наиболее экономичны и практически не требуют обслуживания, кроме мытья загрязненных и запыленных линз.

Цветные светодиодные железнодорожные светофоры изготавливают на основе светодиодов AlInGaP и InGaN. Цвет (хроматичность) светофоров регулируется соответствующими стандартами. Исполнение по степени защищенности от воздействия внешней среды обычно составляет IP54. Для трехцветных светофоров используются светодиоды с доминантной длиной волны 630 нм (красный), 595 нм (желтый) и 505 нм (зеленый) со световым потоком на уровне 150–180 Лк. С учетом разницы в яркости светодиодов различных диапазонов длин волн, в зеленых светофорных огнях устанавливается около 30 светодиодов, а в желтых и красных — около 80.

Среди недостатков, присущих светодиодным сигнальным устройствам, можно отметить «фантомы» (кажущиеся сигналы, появляющиеся вследствие отражения солнечного света или света от прожектора локомотива) либо «размывы» (сигналы с кажущимися белыми точками, возникающими из-за воздействия прямого солнечного света). Эти недостатки устраняются разработчиками по итогам испытаний и исследований.

Светильники для железнодорожного транспорта

На рис. 2 приведены примеры светодиодных светильников для железнодорожного транспорта, выпускаемых ОАО «Светлана–Оптоэлектроника». При создании номенклатуры осветительных приборов компанией изначально реализовывался принцип, при котором каждый осветительный прибор позиционировался как аналог по выполняемой светотехнической функции традиционного лампового осветительного прибора. В частности, исходно для железных дорог были разработаны светильники наружного освещения типа РКУ-125/250 с лампой ДРЛ-125 или 250 Вт соответственно. В качестве альтернативы серийно выпускается целое семейство светильников типа ТИС-Х-40, которые различаются вариантами установки, монтажа, исполнения (в том числе для использования в агрессивных средах), а также вариант этого изделия СУС-2, который является аналогом по выполняемой светотехнической функции светильнику РКУ-250 при освещении платформ пригородного сообщения.

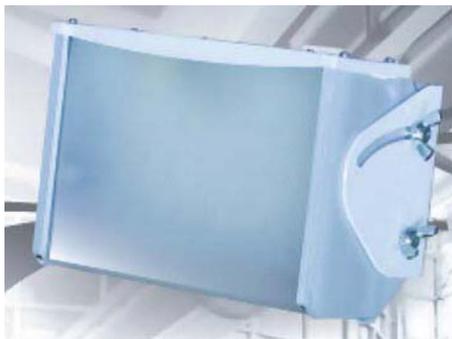


Рис. 2 Примеры светильников для железных дорог: РКУ-250 (а), модификация светильника ТИС-3 (б), светильник для смотровых канав (в), мачтовый светильник (г), светильник СУС-2 (д), светильники ТИС-Х-40 (е)

Сейчас всё чаще создаются специальные светильники, в которых в полной мере используется такое достоинство светодиодов, как направленность излучения и формирование за счет этого специфических пространственных распределений силы света — в частности, светильник для смотровых канав ТИС-В-30. Данный светильник при установке в боковой

нише смотровой ямы способен создавать одинаковые уровни освещенности как на дне ямы, так и на днище расположенного над ней вагона без ослепления работающего персонала. Кроме того, система питания светильника ТИС-В-30 оптимизирована под питание от трехфазной сети 36 В, являющееся безопасным в данных условиях. Другим примером является семейство осветительных приборов для ригельного освещения, т.е. светильников, монтируемых на жесткие поперечины осветительных ригелей. По выполняемой светотехнической функции они являются аналогами светильников РКУ-250 или прожекторов РО-400 (в зависимости от расстояния между жесткими поперечинами). В этих светильниках эффективно используются такие особенности светодиодов, как направленность излучения и эффективность вывода светового потока в заданном направлении.

Специально для решения задач ригельного освещения был разработан и освоен в серийном производстве светодиод со специальным пространственным распределением силы света. Именно этот светодиод и лег в основу создания энергоэффективного светильника типа ТИС-Р. Это семейство насчитывает четыре типа светильников, предназначенных для монтажа на высоты 10–12 м с шагом поперечин 60–120 м. Специфика ригельного светильника заключается в том, что он должен выдавать излучение с узкой полосой (шириной около 5 м), но на большую дистанцию, поскольку расстояние между двумя осветительными ригелями может составлять 60–150 м. Соответственно, два светильника, расположенных друг напротив друга, должны перекрывать эту дистанцию. При этом от них требуется светить не только вперед, но и вниз, чтобы освещать пространство под ригелем. Поэтому в одной плоскости такой светильник довольно узкий, а в другой – наоборот, широкий. Для светодиодной светотехники это довольно непростая задача, но она была успешно решена.

1.3 Светодиодные системы на автомобильном транспорте

Светодиодное освещение может сделать использование автомобиля более экономным и экологичным. В контексте ужесточения экономии топлива и сокращения выбросов в атмосферу загрязняющих веществ, надлежащее освещение существенным образом может сократить расход топлива современных транспортных средств. Применение светодиодов приводит к значительной экономии бензина и уменьшению объемов выбросов диоксида углерода, и светодиодные системы весьма востребованы на автомобильном транспорте. В 2015 г. светодиоды для автомобильного транспорта занимали около 13% всего рынка светодиодов (в денежном выражении).

Светодиоды применяются для освещения салона автомобиля, а также в передней и задней светотехнике. Ввиду больших различий в технологиях монтажа модулей для освещения в салоне, внешнего переднего и заднего

освещения разработаны всевозможные технологии монтажа светодиодов в автомобиле — от монтажа светодиодов на штампованной решетке и технологии поверхностного монтажа на гибких платах до матриц светодиодов с монтажом по технологии CoB («чип-на плате»).

Применение светодиодов в салоне автомобиля

Сегодня светодиоды широко применяются используются для подсветки приборной панели и комбинаций приборов. Светодиоды также используются в фонарях для чтения и фонарях подсветки дверей, для основного освещения и дополнительной внутренней и внешней подсветки освещения салона.

Ученые Гамбургского университета и специалисты-разработчики немецкой компании Hella на основании серии экспериментов доказали, что применение светодиодного освещения салона автомобиля существенно повышает уровень комфорта как водителя транспортного средства, так и его пассажиров. По результатам исследований, проведенных специалистами Hella, стало понятно, что применение осветительных светодиодных приборов оказывает положительное влияние на уровень комфорта пассажиров и водителя благодаря способности этих источников освещения плавно изменять оттенки свечения и цветовую температуру. Данный факт важен для улучшения общей эргономики салонов автомобилей, ведь современный водитель проводит за рулем в среднем до четырех часов в день, а если речь идет о водителях коммерческого и общественного транспорта, то и больше. С учетом того, что светодиодные технологии позволяют осуществлять контролируемое смешивание цветовых оттенков трех основных цветов (красный, зеленый, синий), в перспективе каждый автомобилист сможет настроить освещение с индивидуальными параметрами наиболее соответствующее его эмоциональному настрою. В настоящее время многие модели автомобилей уже позволяют изменять цвет подсветки приборной панели, а более дорогие модели позволяют регулировать цвет и интенсивность и других источников света в салоне.

Применение светодиодов в задних фонарях

Первое использование светодиодных стоп-сигналов датируется 1984 годом. Светодиоды лучше всех других видов освещения подходят для стоп-сигналов, так как загораются практически моментально. Это дает больше времени на реакцию водителям, следующим позади такого автомобиля, и помогает избежать аварии при внезапной остановке машины. Разница в 0,2 секунды между временем включения светодиодов и ламп накаливания может показаться незначительной, но при скорости в 120 км/ч это дает 53 см дополнительного тормозного пути для автомобилей, следующих позади. Таким образом, в стоп-сигналах переход от ламп накаливания к светодиодам является не просто вопросом стиля, а и важной мерой безопасности. В современных автомобилях светодиодные стоп-сигналы стали практически стандартным оборудованием (третий, центральный, стоп-сигнал всегда

является светодиодным). В некоторых автомобилях сегодня установлены стоп-сигналы, которые становятся все ярче по мере повышения давления в тормозной системе, или же светодиоды начинают быстро мигать, когда торможение происходит экстренно. Наряду с уже названными преимуществами технологии светодиодов их внедрению в автомобильные системы способствуют новые возможности внешнего оформления задней части автомобиля. Наиболее перспективными здесь являются технологии органических светодиодов, которые позволяют создавать большие по площади, сверхкомпактные (плоские), заметные, яркие, но не слепящие других водителей стоп-сигналы. В комбинации с инновациями в производстве светопроводящих элементов и систем отражения также будет возможно практическое осуществление идей, целью которых в первую очередь будет создание характерного внешнего вида автомобиля определенной марки.

Сигнальные функции в передней части автомобиля

К сигнальным функциям относятся: фонари указателей поворотов, позиционные фонари, боковые габаритные огни, ходовые огни и дневные фары. При включенных дневных фарах, которые бесспорно значительно увеличивают надежность восприятия автомобиля другими участниками дорожного движения, наиболее полно используются новые возможности технологии светодиодов. Максимально важны при этом долгий срок эксплуатации и высокая световая эффективность светодиодов. Несмотря на то, что пробег автомобиля днем обычно значительно превышает пробег в ночное время, полностью отпадает необходимость замены лампы на протяжении всего срока эксплуатации автомобиля. Использование светодиодов при дневном свете характеризуется очень низким потреблением энергии, 2×4 Вт на автомобиль, по сравнению с галогенным ближним светом с расходом энергии около 2×60 Вт. В настоящее время практически все автомобили класса «премиум» оснащены светодиодными фарами с сигнальными функциями. Для сигнальных функций в фарах обычно используются светодиоды со средней ($0,5-1$ Вт) и высокой (>1 Вт) мощностью. Автомобильное светодиодное освещение будет играть еще большую роль по мере развития гибридных автомобилей и появления на рынке полностью электрических транспортных средств.

Функции основного освещения с применением технологии светодиодов

К функциям основного освещения относятся ближний и дальний свет, а также дополнительные функции такие, как, например, освещение в поворотах, освещение при движении на автомагистрали и т. д. Яркость светодиодов уже давно достигла того уровня, который позволяет использовать их в осветительных приборах автомобиля, к которым выдвигаются очень серьезные требования. Поскольку цена на светодиоды

медленно, но уверенно идет вниз, то можно ожидать, что светодиодные фары однажды навсегда заменят лампы накаливания. Однако можно отметить, что светодиодным фарам уже готовится замена в лице твердотельных источников света, использующих не светодиодные, а лазерные чипы. Пример тому – фары уже доступного на рынке гибридного спорткара BMW i8, в которых используются лазерные чипы синего света (по 3 чипа в каждой из двух секций фары, всего 12), которые возбуждают свечение желтого люминофора, производя в итоге белый свет.

С развитием светодиодных технологий, снижением цены на светодиоды и появлением доступных сверхъярких светодиодов, используемых для головного освещения, меняется и общая ситуация на рынке. Так, на рынке светодиодов для внутреннего освещения (в салоне автомобиля) ожидается замедление роста и падение выручки. Если в 2015 г. объем этого рынка составил около 605 млн. долларов США, то в 2020 г., по прогнозам, объем рынка упадет до 603 млн. долларов. За тот же промежуток времени рынок светодиодов для внешнего освещения в денежном выражении вырастет с 1,2 до 2,3 млрд. долларов США. Именно сверхъяркие светодиоды и станут основной движущей силой для развития рынка автомобильных приложений. В количественном выражении этот рынок, «поглотивший» в 2015 г. 2,8 млрд. штук светодиодов, расширится к 2020 г. до 3,7 млрд. штук. С 2015 по 2020 гг. рынок светодиодов, используемых в головном освещении (фар, габаритных и ходовых огней) будет расти с показателем CAGR (*англ.* Compound Annual Growth Rate — термин, который означает среднегодовой темп роста) более чем 15% (по некоторым оценкам, до 20%). При этом рынок светодиодов для фар ближнего и дальнего света, как ожидается, покажет CAGR около 23%¹.

Светодиодное освещение автомобильных дорог

С каждым годом интенсивность автомобильного движения возрастает. Качественное освещение автомобильных дорог напрямую влияет на безопасность дорожного движения, создает более комфортную обстановку для управления автомобилем, снижает утомляемость водителя. По оценкам, полноценное, грамотно спроектированное и реализованное освещение дорожного покрытия снижает количество ДТП как минимум на 30%.

Качественное освещение традиционными светильниками с лампами ДРЛ (дуговая ртутная лампа) и ДНаТ (дуговая натриевая трубчатая лампа) требует не только большого количества электроэнергии, но и значительных затрат на сервисное обслуживание. Преимущество светодиодов очевидно – они в три раза энергоэффективнее светильников на основе ламп ДРЛ и в два раза эффективнее натриевых ламп (таблица 2).

¹ Здесь и далее примерные оценки экономических показателей приведены для общего сведения и базируются на данных компаний Yole Development (www.yole.fr), LED Inside (www.ledinside.com), Strategies Unlimited (www.strategies-u.com) и др. Оценки различных источников могут отличаться.

Часто устанавливаемое светодиодное освещение включает в себя адаптивную систему управления. Это позволяет обслуживающему персоналу удаленно контролировать ситуацию на дороге. В частности, при низком автомобильном трафике и подходящих погодных условиях можно временно отключать освещение на некоторых участках дороги, существуют и экспериментальные системы, сами включающие и выключающие освещение в зависимости от наличия автомобилей на дороге. Основная задача таких адаптивных систем заключается в экономии энергоресурсов и денежных средств. Эксперты Министерства транспорта США подсчитали, что замена натриевых ламп на светодиодные на 88 столбах плюс использование адаптивной системы управления за 15 лет только на эксплуатационных и оперативных расходах позволит сэкономить 75 000 долларов США, и кроме этого даст экономию в 1,7 млн. кВт электроэнергии.

Таблица 2. Сравнение светодиодных и ламповых светильников

	Лампы ДРЛ	Лампы ДНаТ	Светодиоды
Относительный коэффициент энергоэффективности	1	1,5	3
Срок службы, ч	1000–13000	15000–20000	45000
Мощность светильника для дорог класса «А», Вт	840 (ДРЛ-700)	480 (ДНаТ-400)	220
Мощность светильника для дорог класса «Б», Вт	480 (ДРЛ-400)	310 (ДНаТ-250)	160
Мощность светильника для дорог класса «В», Вт	310 (ДРЛ-250)	195 (ДНаТ-150)	110

Светодиодные светофоры для автомобильных дорог

Первый светофор, установленный в британской столице 10 декабря 1868 года на перекрестке возле здания Парламента, был сконструирован Джоном Пик Найтом – лондонцем, специалистом по железнодорожным семафорам. В нашей стране первые светофоры были установлены в начале 1930-х годов. Современные светофоры (транспортные и пешеходные) относятся к техническим средствам организации дорожного движения. В них встроены

ряд защит и опций, повышающих надежность работы устройства и безопасность дорожного движения.

Переход от ранее установленных светофоров, использующих лампы накаливания, на светодиодные аналоги обусловлен существенными недостатками ламповых моделей:

- повышенное энергопотребление;
- малый срок службы (наработка на отказ ламп накаливания составляет до 2000 часов);
- повышенный износ светотехнической арматуры из-за высокой рабочей температуры;
- образование «фантомного эффекта» от лучей солнца при восходе и закате, т.е. появление иллюзии у водителей транспортных средств и пешеходов включения всех сигналов светофора или определенной его секции.

Преимуществами светодиодных устройств являются:

- малая потребляемая мощность;
- увеличение срока службы в десятки раз
- высокая эксплуатационная надежность (средняя наработка на отказ составляет 50000 часов);
- исключение появления ложных сигналов дорожного светофора при отражении солнечных лучей из-за отсутствия цветных светофильтров;
- стандартное подключение светодиодных светофоров аналогично обычным, что позволяет быстро и безболезненно провести замену морально устаревших устройств без изменения временных диаграмм работы дорожных контроллеров;
- стойкость к перепадам температур от -40°C до $+60^{\circ}\text{C}$; в этом диапазоне температур светооптические свойства светофора остаются без изменений.
- повышенная механическая прочность за счет использования современных материалов (линзы рассеивателей и корпуса светофоров изготавливаются из ударопрочного поликарбоната).

Применение легких кожухов из алюминия и поликарбоната увеличивает долговечность устройства, одновременно снижая общий вес светофора, который не превышает 4–5 кг, что позволяет устанавливать его не только на стойках, но также на выносных штангах и растяжках. Кроме базового блока светофор может быть укомплектован дополнительными светооптическими компонентами с символами «стрелки» и «пешеход» и индикатором времени, предназначенным для информирования участников движения о времени, оставшемся до погасания красного или зеленого сигнала. Возможно оборудование нерегулируемых пешеходных переходов светодиодными светофорами, питающимися от солнечных батарей. Подобные светофоры, установленные над дорожными знаками «пешеходный переход», хорошо видны как водителям транспортных средств, так и пешеходам. Светодиодная

импульсная индикация (особенно в сумеречное и ночное время) позволяет с большого расстояния увидеть пешеходный переход. Применение новых светодиодных светофоров и светодиодных светоблоков для замены оптической системы в светофорах с лампами накаливания позволяет существенно снизить энергопотребление и эксплуатационные затраты на обслуживание светофорных объектов, а также повысить безопасность дорожного движения.

Нередко возникают ситуации, когда ремонтные, строительные или дорожные работы проводятся в местах большого скопления людей. Для того, чтобы предотвратить травматизм, на объектах данного типа применяются различные сигнальные устройства. Особенно актуальна в данном случае сигнальная разметка. В качестве сигнальной разметки используется светодиодные маячки, которые отличаются высокой степенью экономичности и эффективности, что обусловлено такими параметрами, как яркость свечения и широкая вариативность цветовой гаммы. Благодаря повышенной яркости и импульсному режиму работы, маячки прекрасно справляются со своими задачами не только в темное время суток, но и днем. На предприятиях для создания систем оповещения о возникновении чрезвычайных ситуаций также используются светодиодные маячки, вспышки, проблесковые маячки и комбинированные сигнальные устройства, состоящие из оптической и акустической части. Светодиодный маячок состоит непосредственно из светодиодного модуля и взрывозащитного корпуса, который изготавливается из силикатного стекла. Основной схемой подключения светодиодных маячков является параллельное подключение. Количество подключаемых маячков непосредственно зависит от типа системы оповещения и видов сигнальных устройств, которые в рамках этой системы используются.

Раздел 2. Светодиодные системы подсветки

Доля светодиодов для систем подсветки на общем рынке светодиодов, – вторая после освещения и составляет около 30%. В настоящее время существует два широко распространенных типа систем светодиодной подсветки для экранов: подсветка прямого типа и боковая подсветка. В связи с низкой световой эффективностью боковой системы подсветки, она обычно используется в случаях, когда толщина светотехнического устройства гораздо более важна, чем его яркость. Система подсветки прямого типа, напротив, имеет более высокую световую эффективность и позволяет контролировать освещенность отдельных частей подсвечиваемой области, что, например, используется в некоторых жидкокристаллических (ЖК) дисплеях компании Samsung. Прогресс в современных технологиях изготовления оптических элементов, и, как следствие, возможность миниатюризации вторичной оптики, позволяет использовать системы подсветки прямого типа даже в случаях, когда толщина светотехнического устройства также играет критическую роль.

Расчет вторичной оптики светодиодов для прямых систем подсветки является одной из наиболее сложных задач, возникающих в светотехнике. Это связано с большим количеством требований, одновременно предъявляемым к таким оптическим элементам:

- обеспечение высокой световой эффективности;
- минимальное расстояние от светодиода до освещаемой области при максимальном угловом размере освещаемой области;
- высокая равномерность формируемого распределения освещенности.

2.1 Светодиодная подсветка ЖК экранов

Система светодиодной подсветки, реализованная в ЖК телевизорах и мониторах, чаще всего состоит из индивидуальных белых светодиодов, установленных за жидкокристаллическим экраном телевизора, либо вверху и внизу экрана для подсвечивания изображения (рис. 3). Светодиодная подсветка потребляет меньше электроэнергии, чем обычная флуоресцентная лампа с холодным катодом, и позволяет делать корпус устройства тоньше. Светодиодная подсветка позволяет также обеспечивать очень высокую контрастность изображения, поскольку свет направляется только на те участки изображения, которые должны быть яркими. Светодиодная подсветка может быть из одноцветных диодов или с использованием трехцветных (красных, зеленых, синих) светодиодов. При использовании разноцветных диодов увеличивается цветовой охват, но из-за сложной схемы управления светодиодами возможны неестественное отображение цвета. На сегодня в основном используется подсветка из одноцветных белых светодиодов.

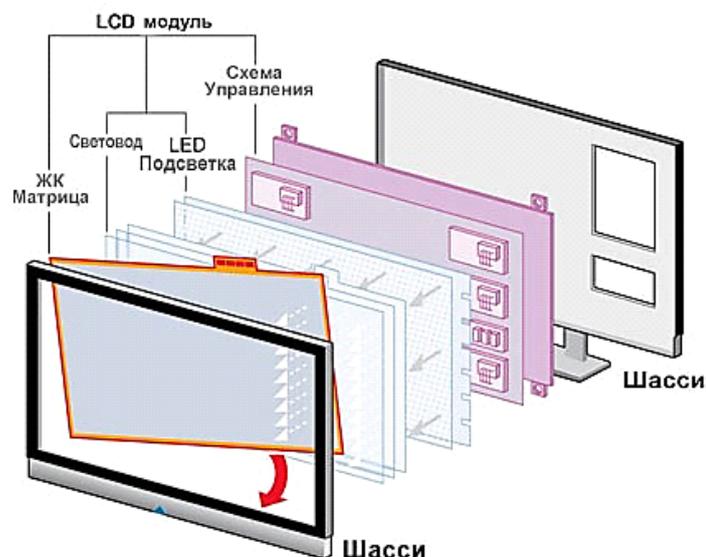


Рис. 3 Устройство ЖК телевизоров со светодиодной подсветкой

Существует три основных типа светодиодной подсветки (*Edge LED*, *Dynamic Edge LED* и *Intelligent Dynamic LED*):

- В телевизорах с подсветкой *Edge LED* телевизионная картинка подсвечивается белыми светодиодами, которые установлены сверху и внизу жидкокристаллического экрана. Специальная направляющая пластина направляет излучение так, чтобы оно «светило» сквозь экран. Поскольку непосредственно за экраном светодиодов нет, телевизоры с подсветкой *Edge LED* отличаются самым тонким экраном и малым весом.
- Подобно системе *Edge LED*, подсветка типа *Dynamic Edge LED* использует белые светодиоды, установленные вдоль верхнего и нижнего краев жидкокристаллического телеэкрана. Технология локального затемнения контролирует объем свечения отдельных групп светодиодов в зависимости от демонстрируемого изображения. Это дает высокую контрастность ярких и темных участков в рамках одного сюжета.
- В отличие от технологии *Edge LED*, в системе подсветки *Intelligent Dynamic LED* применяется намного больше белых светодиодов, расположенных прямо за телеэкраном и подсвечивающих изображение. Эту систему еще называют *Full LED* или *Direct LED*. Контролируя свечение отдельных блоков светодиодов, система может освещать конкретные участки изображения, оставляя другие темными. Таким образом, ваша телевизионная картинка получается и высоко контрастной – самые глубокие черные цвета остаются темными, при этом в них видны все детали.

- Наиболее перспективными, очевидно, являются системы подсветки на основе органических светодиодов, поскольку они обеспечивают подсветку не массивом точечных источников света, а однородной светящейся плоскостью. Со снижением цены на органические светодиоды и повышением их яркости эти системы будут вытеснять неорганические светодиоды, что мы наблюдаем уже сейчас в мобильных устройствах (прежде всего, смартфонах) и телевизорах высшего ценового сегмента.

2.2 Интерьерная и архитектурная подсветка

Применение сверхминиатюрных источников света позволяет создать альтернативные яркие световые образы для привычных предметов интерьера (рис. 4). Насыщенный цвет светодиодов позволяет использовать их для цветового зонирования пространства, создания цветовых акцентов. Заманчивой идеей для архитекторов является применение светодиодных линий для создания световых карнизов и для ландшафтного освещения. Холодный свет светодиодов не в состоянии растопить снег, поэтому их можно использовать для подсветки ледяных скульптур, и т.д.

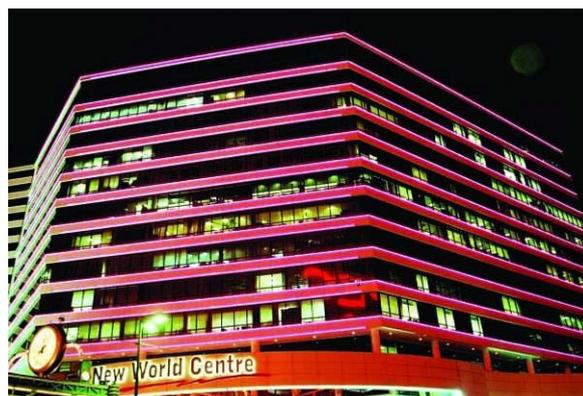


Рис. 4 Интерьерная подсветка и подсветка зданий

Как известно, архитектурное освещение зданий в настоящее время стало неотъемлемой частью практически всех крупных городов и даже небольших населенных пунктов. Приемы и методы подсветки, ее интенсивность и выбор оборудования определяются в соответствии с назначением объекта, его расположением, архитектурными особенностями. Основными приемами подсветки являются заливающее освещение, скользящая подсветка, локальная, зональная подсветка и скрытая архитектурная подсветка. Ранее основным способом создания архитектурной подсветки являлось использование систем, основанных на применении светильников прожекторного типа с различными лампами, в том числе и накаливания. Довольно широко до сих пор используются и неоновые светильники, однако их применение в основном ограничивается созданием светящихся рисунков и надписей.

Хотя решения с применением прожекторов на лампах известны достаточно давно, практика показала, что им свойствен целый ряд недостатков. Во-первых, сами по себе лампы накаливания достаточно неэкономичны. Так, у наиболее эффективных галогенных ламп КПД не превышает 10–12%, то есть большая часть энергии попросту рассеивается в воздухе в виде тепла. Мало того, что это не эффективно с точки зрения экономики, возможно, более важным является то, что для получения достаточно высокой освещенности требуются значительные мощности, нередко измеряемые десятками киловатт. В современных же условиях, когда большинство зданий буквально насыщены различного рода электротехническими и электронными устройствами, начинают сказываться ограничения, накладываемые распределительными сетями. В результате этого «повесить» на существующие сети дополнительную нагрузку, которая может исчисляться десятками киловатт, нередко является не только затруднительным, но и просто невозможным. Кроме того, сильное тепловыделение существенно снижает надежность системы. Во-вторых, достаточно малый срок службы (обычно не более 1–2 тыс. ч) ламп накаливания, а также сравнительная нестойкость к механическим воздействиям (толчкам, ударам и т.п.) делает такие системы подсветки достаточно сложными в обслуживании. Необходимость довольно частой замены ламп заставляет больше думать не столь об эффективном размещении подсветок, сколь об обеспечении удобного доступа к ним, особенно если они размещены на частях самого здания. В-третьих, основную массу среди подобных светильников составляют прожекторы и линейные светильники, рассчитанные на напряжение 220 В. Таким образом, при креплении их на стенах и архитектурных деталях приходится принимать дополнительные меры безопасности, чтобы предотвратить случайное повреждение проводки, например, при фасадных работах. И если ранее с этими недостатками приходилось мириться просто по причине отсутствия лучших альтернатив, то в настоящее время предпочтение отдается решениям, основанным на достижениях современных светодиодных технологий.

2.3 Преимущества применения источников света на основе светодиодов

Применение источников света, основанных на использовании светодиодов, в системах архитектурной подсветки, позволяет сразу решить целый ряд проблем. Во-первых, светодиодные светильники имеют очень высокий КПД, достигающий 75% и более, что позволяет значительно (в 4–5 и более раз) снизить потребляемые мощности, а значит нагрузку на сети. Соответственно уменьшаются затраты, связанные со стоимостью потребляемой электроэнергии. Во-вторых, высокая механическая стойкость и длительный срок службы (40–50 тыс. ч и более) светодиодов позволяют резко увеличить период между работами по обслуживанию и ремонту.

Поэтому удобство доступа уже не играет столь важной роли, как в случае светильников с лампами накаливания. В-третьих, светодиодные светильники, как правило, рассчитаны на безопасные напряжения от 12 до 24 В. Тем самым, облегчается устройство сетей с точки зрения обеспечения безопасности окружающих, что также упрощает систему и уменьшает расходы на создание и эксплуатацию систем архитектурной подсветки. Кроме того, эти светильники могут работать с солнечными батареями.

Важным обстоятельством является и то, что обычная лампа накаливания представляет собой точечный источник света. Создаваемое ею пятно всегда будет представлять собой срез конуса плоскостью, то есть правильную или деформированную окружность. Если возникает задача выделить те или иные архитектурные детали, то приходится вырезать часть светового пучка, например, при помощи диафрагмы, что ведет к дополнительным энергозатратам. Альтернатива – создавать пятно нужной формы путем комбинирования пятен небольшого размера, создаваемых при помощи небольших источников света, что значительно усложняет конструкцию и затрудняет ее обслуживание. Современный опыт архитектурного дизайна доказывает перспективность создания источников освещения на светодиодах, позволяющих получить световое пятно любой формы. В частности, существуют решения, позволяющие при помощи одного светодиодного осветителя выделить светом протяженные архитектурные детали, такие как колонны, фермы мостов и т.п. с минимальными потерями света на освещение тех мест, где это не требуется. Немаловажным является и то, что на основе светодиодов можно создать источники света с достаточно малым углом луча 5–10 градусов. Например, при помощи одного источника мощностью в 12 Вт можно вполне эффективно осветить деталь размером 3–7 м с расстояния от 25 до 70 м. Используя светодиоды разных конструкций, можно создавать и разноцветные источники света практически всех цветов радуги. Для источников на лампах это возможно только с использованием светофильтров, которые ведут к резкому снижению КПД из-за поглощения части световой энергии и, как следствие, значительному снижению светового потока. Справедливости ради следует заметить, что основным недостатком устройств подсветки на светодиодах является их достаточно высокая стоимость. Однако те преимущества, которые указаны выше, делают их применение в архитектурном освещении вполне оправданным уже сейчас. Концепция светового дизайна, активно развиваемая в настоящее время, и позволяющая перейти от пассивной подсветки архитектурных элементов к динамичным красочным цветовым представлениям, часто обыгрывающим особенности архитектуры того или иного объекта, стала возможной именно благодаря светодиодным системам.

Раздел 3. Индикаторные светодиодные устройства и оптопары

3.1 Светодиодные индикаторы

Светоизлучающие диоды видимого диапазона могут быть использованы для отображения визуальной информации в световых индикаторах (например, индикации включенного состояния электронных приборов, т.н. точечные индикаторы), а также для отображения более сложной информации (например, для индикации цифр, букв или более сложных изображений, часто используются матричные индикаторы, состоящие из матрицы единичных светодиодов). Полупроводниковые индикаторы изготавливаются на основе светоизлучающих диодов с конца 60-х годов и являются исторически первыми оптоэлектронными индикаторами. В них используется явление инжекционной электролюминесценции в прямосмещенных *p-n* переходах на основе таких полупроводников, как GaP, GaAsP, GaAlAs и InGaN. Выбор материала определяется необходимостью получения заданных цветов свечения. Расчет основных характеристик полупроводниковых индикаторов производится так же, как и для инжекционных излучающих диодов.

На практике используют различные конструкции излучающих диодов в зависимости от конкретных требований к аппаратуре. Наиболее простая конструкция – единичная – в виде точки, круга, квадрата, прямоугольника или другой формы. Более сложные конструкции излучателей позволяют отображать достаточно подробную информацию. Для отображения сложной графической информации в рамках этой классификации применяются индикаторы:

- мнемонические – для отображения информации в виде мнемосхем или их частей;
- графические – для отображения информации в виде букв различных алфавитов, цифр, знаков препинания, математических и других специальных знаков и символов, графиков и другой сложной информации.

По виду элементов отображения информации и способу формирования информационного поля излучатели подразделяются на: сегментные, элементы отображения которых являются сегментами, сгруппированными в несколько знакомест, и матричные, элементы которых являются кругами, квадратами, прямоугольниками и другими простейшими геометрическими фигурами, сгруппированными по строкам и столбцам. В отличие от экрана или дисплея, индикатор имеет ограниченное количество элементов индикации, либо предназначен для отображения одного или небольшого количества символов. Внешний вид некоторых индикаторных излучателей показан на рис. 5.



а



б



в



г

Рис. 5 Светодиодные единичные индикаторы (а), применение светодиодов в системе индикации ПК (б), светодиодные матричные индикаторы (в) и приложение для информационных графических изображений на табло (г)

Системы обозначений светодиодов и знаковосинтезирующих индикаторов

На практике могут встретиться две системы обозначений светоизлучающих диодов. По старой системе обозначения отечественных излучающих диодов и знаковосинтезирующих индикаторов на их основе могут состоять из семи (восьми) буквенных или цифровых элементов.

- 1) Первый элемент обозначения указывает на исходный материал:
 - (К) или (2) – кремний или его соединения,
 - (А) или (3) – соединения галлия (например, арсенид галлия).
- 2) Второй элемент обозначения определяет подкласс (группу) приборов:
 - (Л) – излучающие оптоэлектронные приборы,
 - (О) – оптопары (см. ниже).
- 3) Третий элемент обозначения указывает на количество однотипных элементов в одном корпусе. Если в одном корпусе собрано несколько элементов, не соединенных электрически или соединенных по одноименному выводу (матричные конструкции, многосегментные излучатели и др.), то добавляется буква «С» после второго элемента обозначения. Если же в

корпусе находится лишь один элемент (единичный точечный излучатель), то буква «С» отсутствует.

4) Четвертый элемент обозначения определяет назначение прибора:

- (1) – излучающие инфракрасные диоды,
- (2) – излучающие инфракрасные модули,
- (3) – светоизлучающие индикаторные диоды,
- (4) – знаковые индикаторы,
- (5) – знаковые табло,
- (6) – шкалы,
- (7) – экраны.

(Р) – резисторные оптопары,

(Д) – диодные оптопары,

(У) – тиристорные оптопары,

(Т) – транзисторные оптопары.

5) Пятый элемент обозначения, состоящий из двух или трех цифр, определяет порядковый номер разработки технологического типа и обозначаются числами от 01 до 999.

6) Шестой элемент – буква (от А до Я, кроме З, О и Ч, сходных по написанию с цифрами), определяющая классификацию по параметрам приборов. Примеры обозначений: излучающий диод 3Л103А: (3) – материал на основе галлия (арсенид галлия), (Л) – излучающий диод, (1) – инфракрасный излучающий прибор, (03) – порядковый номер разработки, (А) – определяет группу прибора по параметрам.

В настоящее время получила распространение усовершенствованная система обозначений излучающих приборов, состоящая из восьми элементов:

- Первый элемент обозначения – буква «И» – обозначает индикатор.
- Второй элемент обозначения – буква «П» – обозначает полупроводниковый излучатель.
- Третий элемент обозначения – буква, характеризующая отображаемую информацию: (Д) – единичная, (Ц) – цифровая, (В) – буквенно-цифровая, (Т) – шкальная, (М) – мнемоническая, (Г) – графическая.
- Четвертый элемент обозначения определяет номер разработки: – номера от (01) до (69) указывают, что прибор без схемы управления, номера от (70) до (99) – прибор со схемой управления.
- Пятый элемент обозначения – буква русского алфавита (кроме З, О, Ы, Ь, Ъ, Ш, Щ) – обозначает группу по параметрам.
- Шестой элемент обозначения – дробь или произведение, характеризующее информационное поле индикатора: для одноразрядных или многоразрядных сегментных индикаторов указывается дробь, числитель которой указывает число сегментов, а знаменатель – число разрядов. Седьмой элемент обозначения – буква, обозначающая цвет излучения: (К) – красный, (Л) – зеленый, (Г) –

голубой, (Ж) – желтый, (Р) – оранжевый, (С) – синий, (М) – многоцветный.

- Восьмой элемент обозначения добавляется, если прибор бескорпусной. Этот элемент – цифра от 1 до 8, определяющая модификацию конструктивного исполнения индикатора, то есть типы выводов, наличие или отсутствие кристаллодержателя и т. д.

Если прибор широкого общепромышленного назначения, то перед буквой «И» добавляется буква К.

3.2 Физиологические аспекты восприятия излучения индикаторных устройств

При выработке рекомендаций инженерно-психологического характера используют параметры и свойства, присущие некоторому идеализированному, статистически усредненному оператору — потребителю визуальной информации индикатора. Особенности зрения заключаются в том, что глаз человека природой оптимизирован для восприятия отраженного солнечного света с длиной волны от 380 до 760 нм ($h\nu \sim 1,6-3,2$ эВ). Солнце дает полный спектр излучения. В атмосфере Земли поглощается излучение с длиной волны $\lambda < 0,3$ мкм (УФ), доля ИК излучения увеличивается с 43 до 59%; УФ уменьшается с 5 до 1%, максимум интенсивности солнечного излучения на поверхности Земли соответствует 555 нм. Глаз является селективным приемником. Особенности светового восприятия заключаются в том, что одна и та же мощность в различных областях спектра вызывает различные зрительные ощущения яркости. Связь световой мощности, спектра излучения и субъективного зрительного ощущения показывает характеристика спектральной световой эффективности $V(\lambda) = \Phi_\lambda / P_\lambda$ (лм/Вт). Стандартная зависимость $V(\lambda)$ является среднестатистической (5% мужчин и 0.5% женщин имеют аномалии цветового зрения). $V(\lambda) = \max$ для $\lambda = 555$ нм. Относительная спектральная световая эффективность $K(\lambda) = V(\lambda) / V(555)$ носит название коэффициента видности.

Относительная чувствительность глаза обратно пропорциональна мощности монохроматического излучения, дающей одинаковое зрительное ощущение. $V(555) = 683$ лм/Вт – фотометрический эквивалент излучения; $1/V(555) = A = 0,00147$ Вт/лм – энергетический эквивалент света. Для широкополосного белого света $V \approx 360$ лм/Вт. Кривая $K(\lambda)$ довольно условна, в представленном виде она отражает восприятие для сравнительно высоких освещенностей (более 100 лк), в сумерках максимум восприятия смещается в область более коротких волн – эффект Пуркинье ($\lambda_{\max} = 510$ нм). Детский глаз способен воспринимать ультрафиолетовое излучение от $\lambda = 315$ нм. Увеличение яркости раздвигает границы видимости, так, концентрированное ИК излучение лазера GaAs с длиной волны $\lambda = 860$ нм может восприниматься глазом как красное. Цвета начинают различаться с освещенности $E \approx 1$ лк. Требования к яркости свечения изменяются в очень широких пределах в

зависимости от условий работы оператора, внешней освещенности, состояния фона, наличия других излучателей, требований к скорости считывания, утомляемости при продолжительной работе и др. Крайние значения яркости составляют 10–30 кд/м² в полумраке комнаты и $(2-5) \cdot 10^5$ кд/м² при прямой солнечной засветке индикатора.

Существенное значение при выборе индикатора имеет совместимость с используемыми схемами управления. Определяющим является деление индикаторов на устройства коллективного (информационное табло стадиона или вокзала), группового (экран телевизор или дисплея) и индивидуального пользования (циферблат часов или индикатор калькулятора). Основные требования к применяемым и разрабатываемым индикаторам можно сгруппировать по некоторым общим признакам.

- Качество восприятия: яркость свечения, контрастность, допустимый угол обзора, восприятие на свету и в темноте, минимальные и максимальные геометрические размеры элементов.
- Цветность: возможность генерации трех основных цветов (R, G, B) и получение любого цвета, чистота цвета, возможность управляемой перестройки цвета свечения и создание многоцветного и полноцветного информационного поля.
- Схемы управления: способ смены знака (механический, электронный), электрическая совместимость с элементной базой микроэлектроники, форма возбуждения сигнала (переменный или постоянный ток), значение напряжения или тока питания, возможность работы в мультиплексном режиме и микропроцессорного управления.
- Высокая информативность: возможность создания экранов с большим числом элементов разложения, простота реализации многоэлементных, матричных и мозаичных структур, воспроизведение градаций яркости, полутонов; высокая разрешающая способность и быстродействие элементов; простота развертки (сканирование) изображения; наличие встроенной памяти; возможность создания экранов большой площади.
- Эксплуатационные характеристики: диапазон рабочих температур, механическая прочность (вибрационная, ударная и т.д.), влагостойкость, радиационная стойкость, долговечность, надежность, малая потребляемая мощность, габаритные размеры и масса, малая толщина.
- Технологичность: обеспеченность необходимыми материалами со стабильными свойствами; возможность использования стандартных процессов планарной технологии (эпитаксии, диффузии, фотолитографии, напыления и др.) и групповых методов обработки; простота применяемых деталей конструкции; малое число деталей и внешних выводов; отсутствие вакуумных объемов; низкая стоимость.

3.3 Оптроны

Широкое применение светоизлучающие диоды нашли также в составе полупроводниковых оптопар (другое употребительное название – оптроны). Эти приборы представляют собой сочетание излучающего диода и приемника оптического излучения, которые конструктивно находятся в одном корпусе. В качестве приемников оптического излучения могут использоваться фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы или фототиристоры. Соответственно, такие оптопары называются резисторными, диодными, транзисторными или тиристорными. Оптопары применяются в основном тогда, когда необходимо обеспечить электрическую изоляцию отдельных узлов аппаратуры между собой.

Оптроны как взаимосвязанные пары «излучатель–приемник» и соответствующая схемотехника были предложены в 1955 Лебнером (E.E. Loebner), США. Первые образцы оптронов были созданы в 1961 г., промышленный выпуск для электрической развязки начат с 1965 г. Оптрон представляет собой прибор, содержащий источник и приемник излучения, которые оптически и конструктивно связаны. Источниками излучения могут быть лампы накаливания, неоновые лампы, электролюминесцентные излучатели, но чаще всего используются светодиоды. Среда оптического канала – воздух, стекло, пластмасса или другое прозрачное вещество. Элементарный оптрон содержит 1 источник и 1 приемник, поэтому носит название "оптопара". Особенность оптронов заключается в двойном преобразовании энергии, обычно электрической в оптическую и обратно, — с электрическим входом и выходом (рис. 6). Для согласования параметров оптронов с другими элементами электронных схем используются дополнительные входные и выходные устройства. Если источник и приемник электрически не соединены, то реализуется гальваническая развязка входа и выхода. Введение электрической и (или) оптической обратной связи существенно расширяет возможности генерирования, усиления оптических и электрических сигналов и др. Достоинствами оптронов являются: высокая помехозащищенность и однонаправленность передачи сигналов; широкая частотная полоса пропускания (возможность передачи как импульсных, так и постоянных сигналов); совместимость с другими изделиями микроэлектроники. К недостаткам приборов относятся: низкий КПД, связанный с двойным преобразованием энергии; чувствительность параметров к изменению температуры; высокий уровень собственных шумов.

Элементы оптопар должны быть согласованы по спектральным характеристикам, быстродействию, температурным свойствам, габаритам. Требования к источникам излучения включают высокий КПД, необходимое быстродействие, узкую направленность излучения для снижения потерь энергии, малые входные токи для согласования с микроэлектронными схемами управления, постоянство квантового выхода в широком диапазоне

входных токов. Для некоторых устройств в качестве источников можно использовать лазеры, которые могут иметь большие токи управления (но имеют более высокую стоимость). Для изготовления излучающих диодов в основном применяют такие материалы, как GaAs, GaAlAs, GaAsP и другие полупроводниковые соединения, позволяющие генерировать излучение с длиной волны 0,8–1,6 мкм. В отличие от светодиодов, применяемых в индикаторах, для источников в оптронах необходима малая площадь высвечивания для уменьшения потерь излучения и обеспечения согласования с приемным окном фотоприемника. Номинальное напряжение и мощность источников обычно составляют $V_{ном} \sim 1,2-1,7$ В, $P_{ном} \sim 1-50$ мВт.

Требования к материалу среды оптического канала: 1) минимальные потери света, т.е. спектральное согласование с излучателем и фотоприемником, 2) высокий уровень электрической изоляции между входом и выходом (сопротивление изоляции $\sim 10^{12}$ Ом). Материал оптического канала может выполнять дополнительные функции, такие, как конструкционная основа, защита от механических, климатических и радиационных воздействий.

Используется 3 варианта оптических сред:

1) полимерные оптические клеи, лаки, вязкие вещества (не засыхающие силиконовые составы), некоторые марки стекол (например, халькогенидные). Они имеют невысокую электрическую прочность изоляции с напряжением пробоя $V_{уз} \sim 100-500$ В.

2) воздушный канал, в котором дополнительно могут использоваться фокусирующие системы из стеклянных линз (в устройствах оптического считывания информации), $V_{уз} \sim 1-5$ кВ.

3) волоконные световоды, они имеют высокое сопротивление изоляции, $V_{уз} \sim 50-150$ кВ.

Как элемент электрической схемы оптрон характеризуется не излучателем, а типом используемого фотоприемника. Основным материалом при изготовлении фотоприемников — кремний, фоторезисторы часто изготавливаются из CdS, CdSe или других халькогенидов. Быстродействие оптопары ограничивается параметрами фотоприемника.

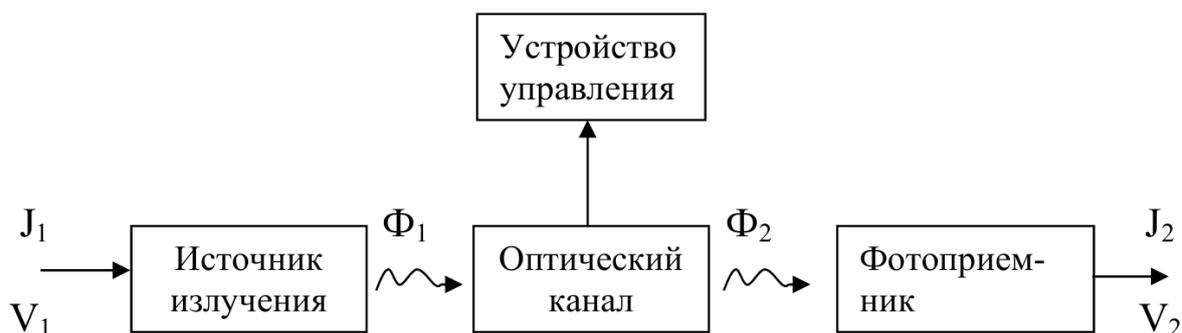


Рис. 6 Схема оптрона с электрическим входом и выходом

Условные графические и буквенные обозначения излучающего диода, семисегментного цифрового индикатора и оптронов различных видов приведены на рис. 7.

	<p>Цифровой семисегментный одnorазрядный индикатор с десятичной точкой. Входы А, В, С, D, Е, F, G, F служат для подачи управляющих сигналов</p>
	<p>Резисторный оптрон</p>
	<p>Диодный оптрон</p>
	<p>Тиристорный оптрон</p>
	<p>Транзисторный оптрон</p>

Рис. 7 Условные обозначения на схемах

Раздел 4 Ультрафиолетовые светодиоды в технике

Ультрафиолетовое (УФ) излучение – это вид излучения, который занимает промежуточное положение между рентгеновским и фиолетовой зоной видимого излучения. Такое излучение является невидимым для человеческого глаза. Принято выделять три поддиапазона УФ излучения:

- длинноволновое УФ излучение (УФ–А) 315–400 нм,
- УФ излучение средних длин волн (УФ–В) 280–315 нм,
- коротковолновое УФ излучение (УФ–С) 200–280 нм.

Основными источниками искусственного УФ излучения до недавнего времени являлись ртутные, дейтериевые и ксеноновые лампы (рис. 8). Так, например, для процессов УФ дезинфекции чаще всего использовались ртутные лампы низкого, среднего и высокого давления. Лампы низкого давления герметизированы при давлении <10 торр, содержат около 60 мг ртути, испускают монохроматичную линию на длине волны 253,7 нм. Оптимальная температура работы таких ламп 15°C, при других условиях мощность быстро падает. Эффективность 25–30%, время работы 8000 часов. Амальгамные лампы содержат ртуть в связанном состоянии – амальгаме (до 120 мг ртути, в свободном – 0,03 мкг на лампу), их срок службы 10000 часов. Лампы среднего давления полихроматические, испускают линии в диапазоне от 200 нм до видимого, давление внутри колбы около 1000 торр, мощность до 3,5 кВт, содержат около 300 мг ртути. Лампы высокого давления дополнительно излучают линию 185 нм, которая приводит к выработке озона. Светодиодные источники УФ излучения появились относительно недавно, однако уже показали ряд преимуществ по сравнению с традиционными источниками, – энергоэффективность, компактность, длительный срок службы, экологичность и ударопрочность.

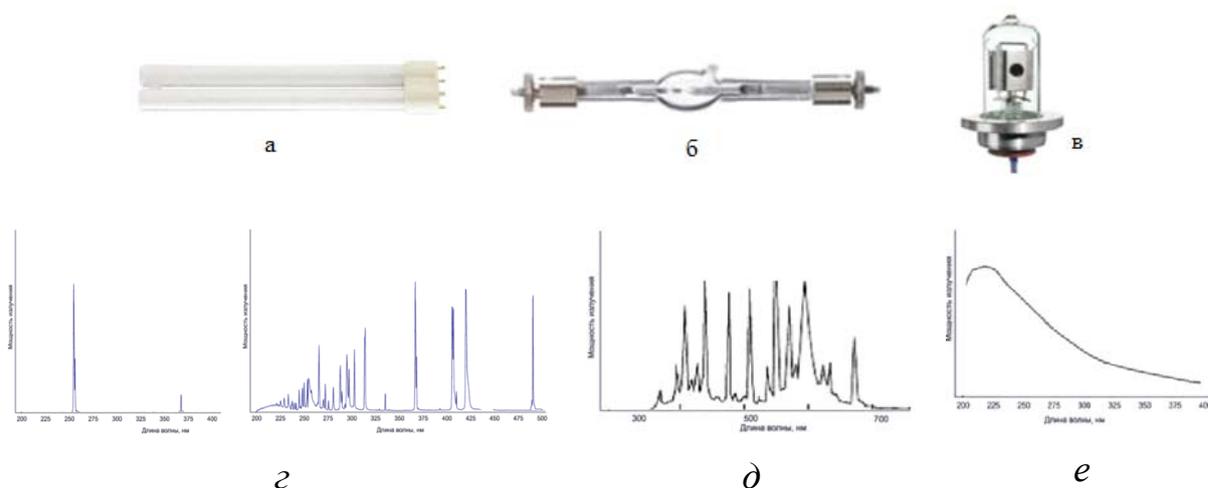


Рис. 8 Типичный вид ртутной (а), ксеноновой (б) и дейтериевой (в) лампы и их спектры (г, д, е)

У УФ приборов имеется множество областей применения (рис. 9), но в данном разделе рассматривается только несколько основных областей использования УФ светодиодов, — для УФ печати, для проверки подлинности денежных купюр и документов, и в криминалистике.

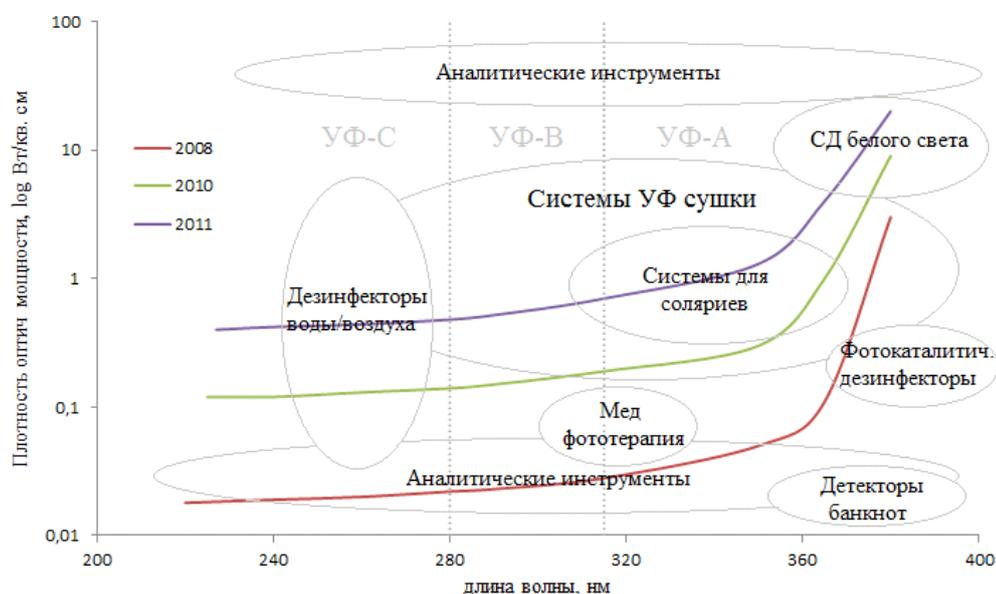


Рис. 9 Области применения УФ устройств

3.1 УФ печать

УФ печать представляет собой технологический процесс, при котором жидкое красящее вещество отверждается при помощи УФ излучения. Такая печать является разновидностью УФ «сушки» (*англ. curing*), при которой УФ излучение стимулирует реакции полимеризации химических компонентов исходного раствора (мономеры, олигомеры, фотоинициаторы). Система обычно представляет собой УФ лампу или модуль, заключенный в защитный корпус совместно с отражателем и источником питания. В ряде случаев система сушки является только частью прибора, например, в принтерах. На рынке УФ систем сушки доминируют системы, встраиваемые в принтеры (60 %). Вторую и третью позиции занимают системы сушки промышленных покрытий (30 %) и адгезивов (10 %). УФ сушка (UV curing) используется в промышленности с 1960-х годов, основные области применения: автомобилестроение, электроника, печать. Около 4% наносимых промышленно покрытий в настоящее время формируются с помощью УФ «сушки», и рынок этих приложений растёт на 10% в год, вытесняя обычную тепловую сушку благодаря более высокой производительности, улучшению качества нанесения покрытий и более безопасной и экологичной технологии производства.

Печать отверждаемыми УФ излучением красками (чернилами) с использованием светодиодов имеет целый ряд преимуществ по сравнению с

более распространенной технологией, использующей краски на основе масел, отверждаемых с помощью дуговых ртутных и галогенных ультрафиолетовых ламп. Среди них:

- большой ресурс источников света. Если срок службы обычных (весьма дорогостоящих) УФ ламп, используемых в широкоформатных УФ принтерах, оценивается в диапазоне от 800 до 1000 часов, ультрафиолетовые светодиоды способны эффективно проработать от 4000 до 10 000 часов;
- отсутствие в спектре света, генерируемого УФ светодиодами, инфракрасных лучей, что делает возможным печать на материалах, чувствительных к нагреву;
- повышение производительности печатного цеха: перед запуском принтера в работу система отверждения чернил в традиционных УФ принтерах требует разогрева до 40 минут; в случае, если система фиксации краски построена на основе светодиодов, необходимости в разогреве источников света нет;
- более высокая энергоэффективность ультрафиолетовых светодиодов по сравнению с ртутными УФ лампами;
- надежность светодиодных УФ ламп (их невозможно разбить, в отличие от колб ртутных ламп) и повышенная безопасность при эксплуатации (при работе они не выделяют озона в атмосферу).

Первой успешной моделью планшетного УФ принтера, в котором закрепление чернил на носителе осуществлялось с помощью светодиодов, была система Inca Spyder 150, анонсированная компанией Inca Digital Printers еще в 2004 году. Аппарат печатал на листовых материалах форматом 1×1,5 м и толщиной до 30 мм с разрешением в диапазоне от 400 до 1000 dpi со скоростью до 50 кв. м/ч. Спустя несколько лет эта модель была снята с производства. В 2007 году российская компания «САН» (Новосибирск) представила широкоформатный принтер NEO UV-LED. В результате активного продвижения УФ принтеров NEO на крупных специализированных выставках по всему миру, включая страны Азии и Африки, ведущие мировые производители оборудования для широкоформатной печати иначе взглянули на потенциал технологии УФ печать, прежде казавшейся для многих не столь перспективной. В 2008–2009 годах свои первые разработки в этой области, рассчитанные на производство коммерческой графики, представили компании Mimaki и Roland.

На ранних этапах развития УФ печати имели место сложности, препятствовавшие массовому внедрению этой технологии. Одной из причин, в силу которой темпы развития и распространения технологии УФ печати не отличались динамичностью, является природа ультрафиолетовых светодиодов. Эти источники света, в отличие от традиционных ртутных УФ ламп, излучают свет в очень узком диапазоне длин волн. Поэтому фотоинициаторы, которые при поглощении УФ излучения запускают в ход

процесс формирования слоя из УФ чернил на поверхности материала (то есть процесс отверждения краски), должны быть рассчитаны на работу с очень ограниченным диапазоном длин волн. Отсутствие глубоких исследований и наработок в этой области не позволяло производителям чернил предложить разработчикам оборудования для печати готовое решение, – чернила, специально рассчитанные на отверждение УФ светодиодами. Специальную серию отверждаемых УФ чернил, рассчитанных на фиксацию с помощью светодиодов, в июле 2010 года представил производитель альтернативных красителей для печати, корпорация INX Digital International. Данная разработка привела к настоящему буму широкоформатной диодной УФ печати в период 2010–2011 годов. В настоящее время разработаны принтеры, в том числе и отечественные, способные печатать на любой поверхности, включая двери, чугунные радиаторы и т.п. В том, что светодиодная УФ печать является одним из наиболее перспективных направлений дальнейшего развития струйной цифровой печати, сомневаться уже не приходится.

3.2 Применение УФ светодиодов в технических устройствах проверки подлинности денежных купюр и документов

В целях предотвращения появления на финансовом рынке поддельных денежных знаков государство (эмитент) вкладывает в разработку уникальных защитных свойств банкнот огромные средства. Однако этот факт не является препятствием для фальшивомонетчиков и их деятельность постоянно совершенствуется. Для проверки банкноты на подлинность можно провести пальцем по шрифту банкноты, посмотреть через банкноту на свет, провести анализ с помощью увеличительного стекла, и т.д. Но современный мир диктует свои условия, и в настоящее время проверить валюту на подлинность без специального оборудования невозможно. Детекторы банкнот, в зависимости от способа проверки купюр на подлинность, разделяют на две основные категории: просмотровые и автоматические.

Просмотровые детекторы валют предназначены для визуального контроля подлинности купюр. Этот вид детекторов позволяет проводить проверку подлинности валюты любой страны мира, любого года эмиссии и номинала. Качество проверки банкноты напрямую зависит от квалификации и опыта непосредственно того, кто проводит исследование защищенных документов, либо банкнот. Просмотровые детекторы способны лишь помочь увидеть те или иные защитные метки, а вывод о том, подлинная купюра или фальшивая, проверяющий принимает самостоятельно. В зависимости от типа осветителя и способа контроля подлинности, просмотровые детекторы валют разделяются на три категории – ультрафиолетовые, инфракрасные и универсальные.

Ультрафиолетовые детекторы валют позволяют обнаружить люминесцирующие изображения, нити и волокна денежных знаков в свете УФ ламп. Ультрафиолетовая защита банкнот обеспечивается вводом в состав

бумаги специальных веществ и красок, которые обладают свойствами свечения (люминесценции) в ультрафиолетовом диапазоне. При проверке банкноты в ультрафиолетовом излучении, благодаря особым свойствам краски, оригинальная купюра будет светиться, а фальшивка нет. Возможен и обратный вариант – нанесение на купюру краски, не светящейся под действием ультрафиолета, и отображающейся в свете УФ источника как черный объект.

Практика показала и доказала, что УФ детектор сам по себе не следует рассматривать как основной способ проверки денег. Ультрафиолетовая защита для фальшивомонетчиков уже давно не является серьезным препятствием, поэтому приборы данного вида способны «отфильтровать» лишь самые грубые (некачественные) подделки. Вместе с тем, на рынке существует достаточно большое количество так называемых универсальных детекторов. Данные приборы, помимо источника УФ излучения, имеют в своем арсенале встроенные и выносные оптические увеличительные линзы и лупы, датчики для контроля ферромагнитных меток, а также лампы нижнего и верхнего белого свечения. Комплексный анализ банкнот по основным признакам защиты, вкупе с УФ детектированием, дает безошибочный результат определения их подлинности. Кроме того, УФ излучение применяется в автоматических детекторах валют, а также в счетных машинках для денег, играя роль первого – самого грубого фильтра.

Помимо тестирования бумажных денежных купюр, УФ светодиодные матрицы с доминантной длиной волны 365 нм используются в детекторах, позволяющих определить подлинность документов. Излучение УФ светодиодов может возбуждать в веществе бумаги и элементах оформления видимую люминесценцию, спектр, интенсивность и распределение которой по полю листа может проявлять признаки подлинности или подделки документа. Проверка проводится при прямом наблюдении невооруженным глазом. Среди признаков, выявляемых в виде люминесценции, можно указать следующие:

- наличие и распределение скрытых типографских или рукописных защитных меток;
- следы взаимодействия с бумагой вытравливающих и смывающих реагентов;
- следы клея;
- наличие и различия в интенсивности и цвете люминесценции наполнителей и защитных волокон в бумаге, обнаруживающие замену отдельных листов документа, воспринимаемых одинаковыми при беглом просмотре в видимом свете.

Кратко перечислим ряд применений УФ светодиодов в криминалистике:

- УФ/синие светодиоды позволяют обнаружить в судебно-медицинских лабораториях скрытые отпечатки на месте преступления и отпечатки пальцев, а также следы крови и других

биологических жидкостей, которые под воздействием УФ излучения имеют яркое свечение;

- При выявлении поджогов пожарные инспекторы могут видеть остаточные следы веществ, которые привели к возгоранию: следы от химического топлива на стенах, мебели и коврах;
- При исследованиях на предмет угона автомобилей под действием УФ облучателя легко выявляются следы от незаконно снятых этикеток с VIN номером автомобиля;

3.3 Перспективы развития устройств на основе УФ светодиодов

Принято считать, что первый цикл развития устройств на основе УФ светодиодов был обусловлен интересом к разработке устройств очистки и дезинфекции. Этот период относится к 2010–2015 гг., и в течение этого времени показатель CAGR увеличивался примерно на 20%. Современный цикл развития УФ светодиодных технологий обусловлен всё возрастающими потребностями в устройствах УФ «сушки». Прогнозируется, что этот период продлится с 2015 по 2021 гг., и CAGR будет составлять около 200%. Интенсивное развитие рынка устройств УФ сушки началось в 2012 г., и с тех пор в этот сегмент пришли более 50 новых компаний. Кроме того, быстро развивающийся рынок УФ светодиодов стал привлекательным для инвесторов и компаний, ранее успешно работавших на рынке светодиодов видимого диапазона, где процесс развития сейчас несколько замедлился из-за частичного насыщения рынка. В 2015 г. на рынке УФ светодиодов уже работали такие известные компании как Nichia, Lumileds, Seoul Semiconductor/Seoul Viosys, Everlight, LG Innotek и Lumens.

Большинство систем УФ сушки работает на основе фотоинициаторов, активирующихся излучением средневолнового и коротковолнового УФ диапазонов (200–400 нм). Это обстоятельство дополнительно подстегивает развитие УФ светодиодов на коротковолновый УФ диапазон, где движущей силой ранее были в основном приложения, связанные с дезинфекцией и очисткой воды и воздуха с наиболее востребованными длинами волн 260–265 нм. В 2012 г. УФ светодиоды занимали в денежном выражении около 12% всего рынка УФ излучателей, в 2014 г. – уже около 15%, а к в 2020 г., как ожидается, они будут занимать уже 60% рынка! При этом доля УФ светодиодных излучателей коротковолнового диапазона в 2014 г. оставалась очень малой, всего около 2–3% рынка УФ светодиодов (90% рынка занимали длинноволновые УФ светодиоды). Однако в ближайшее время следует, по-видимому, ожидать резкого увеличения количества светодиодов УФ–С диапазона и устройств на их основе на рынке. Так, в 2016 г. цены на светодиоды УФ–С диапазона упали в 8–10 раз по сравнению с 2015 г. Это произошло благодаря развитию промышленного производства этих светодиодов (эффект «масштаба») и улучшению характеристик светодиодов. Как считают эксперты, при цене 1–4 доллара США за 1 мВт произойдет

массовый выход этих светодиодов на рынок и долгожданный «бум» УФ–С светодиодов. Следует отметить, что эти изменения во многом вызваны тем обстоятельством, что многие разработчики УФ светодиодов и устройств на их основе в настоящее время сконцентрировались на разработке эффективных УФ систем, а не на попытках улучшить формальные показатели эффективности светодиодных гетероструктур, чем они занимались без большого успеха в предыдущие годы. Таким образом, в этом сегменте рынка сейчас складывается ситуация, когда разработка устройств и систем «подтягивает» за собой развитие полупроводниковых светодиодных технологий, а не наоборот, как это было в случае светодиодов видимого диапазона.

Кратко отметим основные особенности светодиодов УФ диапазона. Как известно, они изготавливаются на основе твердых растворов AlGaN, и основными проблемами технологии являются:

- Отсутствие подложек для гомоэпитаксии нитридов металлов III группы большого диаметра. Считается, что для изготовления чипов, излучающих на длине волны 350 нм и менее, необходима гомоэпитаксия на подложке из AlN. В настоящее время подложки из AlN, имеющиеся на рынке, как правило, имеют диаметр не более 2 дюймов и чрезвычайно дороги. При производстве светодиодных чипов коротковолнового УФ диапазона стоимость подложки составляет около 60% от стоимости гетероструктуры. Можно надеяться, что развитие технологии подложек на основе альтернативных материалов, таких, например, как оксид галлия, позволит исправить эту ситуацию.
- Высокая плотность дислокаций в эпитаксиальных слоях AlGaN на подложках AlN. Даже при малом рассогласовании по параметру кристаллической решетки между слоем и подложкой плотность дислокации в слое может оказаться больше, чем в подложке.
- Трудность получения материала AlGaN *p*-типа проводимости с большим содержанием AlN. Чем больше запрещенная зона полупроводника, тем, как правило, прочнее химические связи между атомами, которые нужно разорвать, чтобы легировать материал. Кроме того, в широкозонных полупроводниках сильны эффекты электрической компенсации, не позволяющие получать материал с высокой концентрацией свободных носителей даже при сильном легировании. Именно за преодоление этой трудности при разработке светодиодов на основе GaN и получили Нобелевскую премию И. Акасаки и Х. Амано. Применительно к AlN эту проблему ещё предстоит решить.
- Проблемы с выводом света через материал *p*-типа проводимости. Из-за трудностей с акцепторным легированием AlN дырочную область гетероструктур коротковолнового УФ диапазона изготавливают из материала с низким содержанием AlN и, соответственно, меньшей шириной запрещенной зоны. Этот материал поглощает коротковолновое

излучение активной области, поэтому изготовителям чипов приходится прибегать к т.н. «флип-чип» технологии с выводом излучения через слои электронного типа проводимости и подложку. Это усложняет изготовление гетероструктур.

Внешний квантовый выход УФ светодиодов УФ–А диапазона в настоящее время составляет 20%, УФ–С диапазона – не более 5 %. Считается, что основной причиной этого является очень высокая плотность дислокаций в материале с большим содержанием AlN. Моделирование предсказывает, что уменьшив плотность дислокаций с текущего уровня $\sim 8 \times 10^{10} \text{ см}^{-2}$ до $\sim 10^7 \text{ см}^{-2}$, можно будет добиться увеличения внешнего квантового выхода с 5 до 95%.

Раздел 5 Инфракрасные светодиоды в технике

Инфракрасное (ИК) излучение, — это электромагнитное излучение в области спектра между красной областью видимого спектра (начиная с длины волны 0,74 мкм) и микроволновым излучением (заканчивая длиной волны 1–2 мм). ИК излучение было открыто в 1800 г. английским астрономом У. Гершелем при исследовании излучения солнца. Сейчас весь диапазон ИК излучения условно подразделяют на три области: коротковолновая область: 0,74–2,5 мкм; средневолновая область: 2,5–6 мкм; длинноволновая область: 6–50 мкм, в различных источниках эти границы могут отличаться. Последнее время т.н. сверхдлинноволновую часть ИК излучения (100 мкм и более) выделяют в отдельный, независимый диапазон электромагнитных волн – терагерцовое (субмиллиметровое) излучение.

ИК излучение также называют «тепловым» излучением, так как все тела, нагретые до определенной температуры, излучают энергию в инфракрасной области спектра. При этом излучаемые длины волн зависят от температуры тела: чем выше температура, тем короче длина волны и выше энергия излучения. Спектр излучения абсолютно чёрного тела при невысоких температурах (до пятисот градусов) лежит в ИК диапазоне. При дальнейшем нагревании тела оно начинает излучать энергию в видимой области спектра и можно увидеть сначала темно-красное, а затем яркое белое свечение.

Способность полупроводниковых материалов испускать ИК излучение была впервые замечена в 1955 году Р. Браунштейном из компании RCA (США). Браунштейн исследовал ИК излучение диодной полупроводниковой структуры на основе антимонида галлия (GaSb), арсенида галлия (GaAs), фосфида индия (InP) и кремниево–германиевого сплава (SiGe) при прохождении электрического тока. В 1961 году Р. Бард и Г. Питман из компании Texas Instruments получили патент на ИК полупроводниковый светодиод на базе арсенида галлия. В 1976 году Т. Пирселл, исследуя новые полупроводниковые материалы, получил первый сверхъяркий ИК светодиод для оптоволоконных линий связи.

ИК светодиоды и фотодиоды повсеместно применяются в пультах дистанционного управления (телевизора или табло часов), системах автоматики, охранных системах и т.д. Такое применение объясняется тем, что ИК излучатели не отвлекают и не привлекают внимание человека вследствие невидимости. Немаловажной является и низкая стоимость светодиодов ближнего ИК диапазона, – технология таких устройств давно развита, а для указанных выше применений обычно не требуются светодиоды большой мощности.

ИК устройства также применяют в промышленности для сушки лакокрасочных покрытий. ИК метод сушки имеет преимущества перед традиционным конвекционным методом. Скорость и затрачиваемая энергия

при ИК сушке существенно меньше тех же показателей при традиционных методах.

ИК излучение также обладает стерилизующим эффектом, что применяется при обработке продуктов питания. Преимущество использования ИК метода обработки продуктов в пищевой промышленности, обусловлено способностью проникновения электромагнитного излучения в капиллярно–пористые продукты, такие как зерно, крупа, мука и т.д. на глубину до 10 мм. Величина проникновения зависит от свойств объекта воздействия и частотной характеристики излучения. Электромагнитная волна определенного частотного диапазона оказывает не только термическое, но и биологическое воздействие на продукт, способствует ускорению биохимических процессов в продуктах. Конвейерные сушильные транспортеры с успехом используются в зернохранилищах и в мукомольной промышленности.

ИК излучение применяется в медицинских целях. Некоторые исследования позволяют считать, что неинтенсивное инфракрасное излучение повышает кровоток, усиливать обмен веществ. Инфракрасные светодиоды уже активно внедряются в устройства медицинского назначения.

Светодиоды (как правило, среднего ИК диапазона) также используются в лидарах. Лидар (*англ.* LIDAR – Light Detection And Ranging, – световое обнаружение и определение дальности) — технология получения и обработки информации об удалённых объектах с помощью активных оптических систем, использующих явления отражения света и его рассеяния в прозрачных и полупрозрачных средах. Исходно лидар как прибор представлял собой активный дальномер оптического диапазона. Сканирующие лидары в системах машинного зрения формируют двумерную или трёхмерную картину окружающего пространства. «Атмосферные» лидары способны не только определять расстояния до непрозрачных отражающих целей, но и анализировать свойства прозрачной среды, рассеивающей свет. Разновидностью атмосферных лидаров являются доплеровские лидары, определяющие направление и скорость перемещения воздушных потоков в различных слоях атмосферы. Слово «лидар» часто интерпретируют как «лазерный радар», что не вполне корректно, так как в системах ближнего радиуса действия (например, предназначенных для работы в помещениях), главные свойства лазера, – когерентность, высокая плотность и мгновенная мощность излучения – не востребованы, излучателями света в таких системах как раз и служат светодиоды. В других сферах применения технологии (метеорология, геодезия и картография) с радиусами действия от сотен метров до сотен километров требуется применение лазеров.

Атмосферные лидары используют то обстоятельство, что в средней ИК области спектра (2500–6000 нм) находятся характеристические полосы поглощения таких важных химических веществ, как CH_4 , H_2O , CO_2 , CO ,

C_2H_2 , C_2H_4 , C_2H_6 , CH_3Cl , OCS , HCl , $HOCl$, HBr , H_2S , HCN , NH_3 , NO_2 , SO_2 , глюкоза. Это также позволяет создавать на основе светодиодов ИК диапазона оптические сенсоры (датчики) для нужд экологии и медицины. Так, например, в экологии основные области применения ИК датчиков, это:

- измерение концентрации углекислого газа в помещениях;
- измерение концентрации углекислого газа на улицах городов;
- контроль выхлопных газов машин;
- контроль состава биогаза на свалках;
- контроль утечек бытового природного газа;
- контроль выбросов вредных газов в атмосферу;
- контроль загрязнения вод углеводородами.

В медицинской диагностике:

- измерение углекислого газа в выдыхаемом воздухе;
- измерение ацетона в выдыхаемом воздухе;
- неинвазивный анализ содержания глюкозы в крови.

В нефтегазовой и угольной промышленности:

- измерение содержания воды в нефти;
- измерение содержания сероводорода в нефти;
- контроль утечек метана.

В химической промышленности:

- непрерывный контроль за технологическими процессами.

В целлюлозно-бумажной промышленности:

- непрерывный контроль влажности бумаги в процессе производства.

В пищевой промышленности и сельском хозяйстве:

- измерение влажности зерна и других продуктов;
- измерение содержания клейковины и других веществ в зерне.

Внешний вид светодиодов среднего ИК диапазона на основе полупроводниковых соединений АІІІV и их твердых растворов представлен на рис. 10, здесь же представлены примеры спектров ИК светодиодов с характерной полосой поглощения. Приборы на основе светодиодов среднего ИК диапазона обычно используют различие в сигналах от референсного светодиода и измерительного светодиода (рис. 11). Светодиод излучает на определенной длине волны, которая соответствует полосе поглощения исследуемого вещества. Фотодиод с соответствующим спектром фоточувствительности детектирует излучение и дает выходной электрический сигнал. Присутствие исследуемого вещества в среде вызывает ослабление сигнала, по степени которого можно судить о концентрации вещества.

Такие светодиоды обычно изготавливаются на основе соединений $InAs$, $InSb$, $GaSb$, $AlAs$ и их твердых растворов. Основные технологические проблемы здесь связаны с подбором подложки для уменьшения рассогласования по параметру кристаллической решетки между ней и эпитаксиальными слоями. Также существует проблема уменьшения темпа

безызлучательной рекомбинации, негативно влияющей на эффективность светодиодов. Дело в том, что у данных полупроводников ширина запрещенной зоны близка к энергии спин-орбитального отщепления, поэтому при инжекции носителей оказывается эффективен канал безызлучательной рекомбинации, при котором энергия рекомбинирующей электронно-дырочной пары передается дырке с переходом последней в спин-орбитально отщепленную зону. Для преодоления этой проблемы разрабатываются более сложные, четырёх- и даже пятикомпонентные твердые растворы, для которых энергию спин-орбитального отщепления удастся изменить так, чтобы она не совпадала с шириной запрещенной зоны.

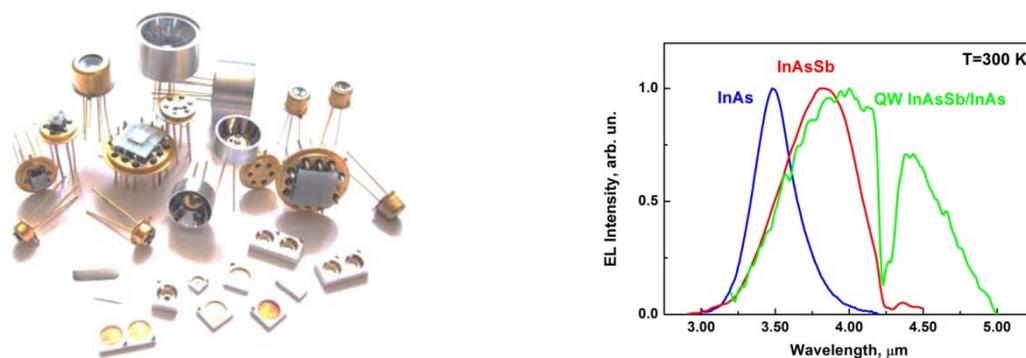


Рис. 10 Внешний вид ИК светодиодов на основе полупроводниковых соединений АПВV (слева) и пример спектра, записанного в ИК области (справа): ясно виден «провал», обусловленный полосой поглощения детектируемого газа

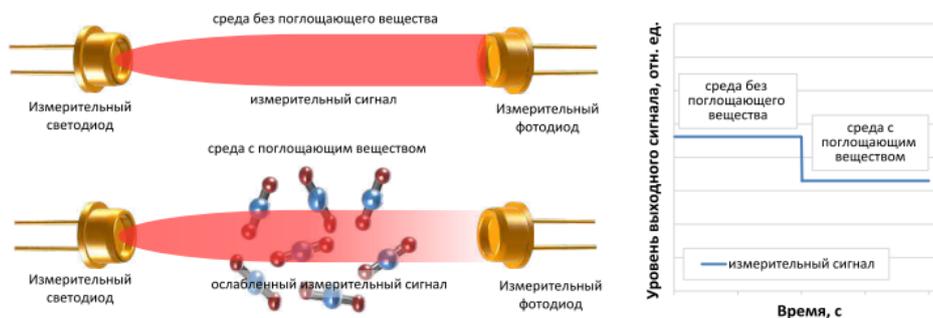


Рис. 11 Измерительная схема оптического датчика на основе светодиода

С целью обеспечения защиты человеческих глаз от воздействия излучения для оптических передатчиков введен параметр — максимальная мощность излучения. На длине волны 870 нм оптическая мощность обычно ограничена несколькими милливаттами. На других длинах волн, например 1500 нм, допускаются большие мощности излучений. Диапазон длин волн в районе 1500 нм считается безопасным для глаз, поскольку такое излучение поглощается роговицей глаза и не достигает его сетчатки.

ИК светодиоды используют и в системах беспроводной связи. При передаче сигналов на короткие расстояния воздух можно считать средой, не вносящей никаких дополнительных потерь. Но в случае источников неколлимированного света из-за расхождения лучей интенсивность оптических сигналов будет снижаться даже в воздухе. Для изотропных излучателей интенсивность падает пропорционально квадрату расстояния. Снижение интенсивности излучения в беспроводных системах дистанционного управления сильно отличается от ее падения в волоконно-оптических системах связи. Скорость снижения интенсивности определяет пределы использования систем дистанционной связи. В случае коллимированных лучей этой проблемы не существует и организация передачи сигналов на несколько километров в хороших атмосферных условиях (без тумана и осадков) не является неразрешимой задачей. Однако в таких системах в качестве источника коллимированного излучения обычно всё-таки используют полупроводниковые лазеры, обеспечивающие генерацию лучей с очень малой пространственной расходимостью.

Что касается рынка для светодиодов ИК диапазона, то в 2016 г. основная его доля традиционно приходилась на устройства дистанционного управления и системы безопасности. В целом данный рынок является весьма консервативным и, согласно прогнозам, будет расти до 2023 г. с CAGR около 9%. Основные устройства, использующие светодиоды ИК диапазона на сегодняшнем рынке, – это датчики движения, фотопрерыватели, датчики дистанции, датчики положения, биометрические приборы, устройства оксиметрии (измерения уровня содержания кислорода в биологических объектах), и т.п. Хотя ИК системы уже несколько лет не встраиваются в мобильные телефоны для систем передачи данных по ИК каналу, в настоящее время ИК светодиоды снова находят применение в мобильных устройствах, – прежде всего, в системах безопасности при передаче информации, модулях для контроля за состоянием здоровья, и т.п. В целом для рынка ИК светодиодов характерен хотя и не бурный, но устойчивый рост, и приложения, связанные с вопросами безопасности, становящиеся всё более актуальными во всех областях человеческой деятельности, будут в обозримом будущем поддерживать его и далее.

Раздел 6 Светодиоды в системах передачи информации

6.1 Светодиоды в волоконно-оптических линиях связи

Передача информации на большие расстояния с высокой скоростью стала возможной благодаря использованию волоконно-оптических линий связи (ВОЛС), в которых данные передаются в ближнем инфракрасном диапазоне. Современное оптоволокно, применяемое в таких линиях связи, представляет собой прозрачные «стеклянные» (на самом деле, кварцевые) нити. Свет распространяется от одного конца до другого практически без потерь благодаря эффекту полного внутреннего отражения от поверхности такой нити. Затухание сигнала происходит в основном в результате рассеяния в материале волокна. Оптоволокно состоит из ядра, оптической и защитной оболочки. Ядро и оптическая оболочка обычно выполнены из кварцевого стекла или из пластика, защитная оболочка изготавливается из пластика. Ядро проводит световой сигнал, а оптическая оболочка обеспечивает полное внутреннее отражение света на границе ядра и оболочки. Защитная оболочка требуется для защиты волокна от механических повреждений и воздействия окружающей среды. Диаметр ядра обычно составляет десятки микрометров.

Существует два основных вида оптоволокна: одномодовое (имеет одну траекторию распространения света) и многомодовое (траекторий несколько). Мномодовое волокно имеет большее затухание сигнала и используется на небольшие расстояния. Одномодовое волокно стоит дороже, но обеспечивает значительно большую дальность передачи.

Окна прозрачности оптического волокна представляют собой область длин волн светового излучения, в котором волокно имеет наименьшее затухание сигнала. Первое окно прозрачности – от 800 до 900 нм. Традиционно для передачи сигнала в этом окне используются лазерные диоды и светодиоды на основе GaAs/AlGaAs, для приема сигнала используют кремниевые фотодиоды. Потери в этом окне достаточно высоки и оно подходит для связи на короткие расстояния. В частности, передача информации в этом диапазоне организована внутри data-центров, где расстояния небольшие, а объемы передаваемой информации, наоборот, очень велики.

Второе окно прозрачности находится на длине волны 1,3 мкм. Потери здесь гораздо ниже и это окно используется для передачи на большие расстояния. Третье окно прозрачности находится на длине волны 1,5 мкм, потери в этой области самые низкие.

В качестве передатчиков в системах волоконно-оптической связи используются полупроводниковые твердотельные источники, излучающие в ближнем или среднем диапазонах ИК излучения, также используется красная область видимого света. Используются светодиоды поверхностного и торцевого излучения, лазеры поверхностного излучения с вертикальным

резонатором (*англ.* Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser, VCSEL), обычные лазеры с резонатором Фабри–Перо или с распределенной обратной связью.

На ранних этапах развития технологии ВОЛС, когда стоимость полупроводниковых лазеров была высокой, светодиоды использовались очень широко. Светодиоды, применяемые в волоконно-оптических системах, значительно отличаются от осветительных светодиодов. У светодиодов для систем связи важным параметром является эффективность ввода излучения в оптическое волокно. Здесь полезным считается излучение, исходящее только от одной поверхности кристалла светодиода, граничащей с оптическим волокном. Поэтому в светодиодах, предназначенных для работы в ВОЛС, стремятся получить максимальное излучение со стороны именно этой поверхности. Очевидно, что для таких светодиодов важной характеристикой является *мощность излучения единицы поверхности*, тогда как для светодиодов в других системах определяющим параметром считается *полная мощность излучения светодиодов*.

Чтобы получить максимальную эффективность ввода излучения светодиода в оптическое волокно, область излучения светодиодов должна быть намного меньше диаметра сердцевины волокна. Для работы с многомодовыми волокнами, как правило, используют светодиоды с круговыми областями излучения диаметром 20–50 мкм. Диаметр сердцевины многомодовых кварцевых волокон обычно равен 50–100 мкм. Полимерные световоды могут иметь диаметры больше 1 мм, поэтому для работы с ними могут применяться светодиоды с большей областью излучения.

Как отмечено выше, в ВОЛС применялись как светодиоды с торцевым излучением, так и поверхностно-излучающие светодиоды. Одна из первых структур светодиодов, пригодных для работы в ВОЛС, была разработана Чарльзом Баррасом из компании AT&T Bell Laboratories (США). Светодиод Барраса состоял из двойной гетероструктуры с активной областью из GaAs, выращенной на согласованной по параметрам решетки с эпитаксиальными слоями подложке GaAs. Для соединения волокна со светодиодом применялась эпоксидная смола.

В ВОЛС на основе кварцевых световодов с градиентным профилем показателя преломления, позволяющих передавать информацию с высокой скоростью, использовали светодиоды, излучающие свет на длине волны 1,3 мкм, например, с активной областью InGaAsP, согласованной по параметрам решеток с подложкой InP. Свет, генерируемый в активной области, проходил сквозь прозрачную подложку. Поперечные размеры области излучения определялись в этом случае областью инъекции носителей тока под круговым омическим контактом диаметром 20 мкм. В подложке методом травления формировалась линза с антиотражающим покрытием, направляющая луч света. Соединение светодиода с оптическим волокном осуществлялось при помощи эпоксидной смолы. В точке вывода света формировалась оптическая линза, улучшающая эффективность ввода

излучения светодиода в оптическое волокно. Линза вытравливалась в подложке InP по фотоэлектромеханической технологии. Спектр излучения, направленного к торцам светодиода, обладал меньшей шириной из-за самопоглощения, при котором происходит перепоглощение фотонов, в основном обладающих большой энергией.

Светодиоды, работающие на длине волны 650 нм, как правило, используют совместно с полимерными оптическими волокнами. Такие волокна обладают минимальными потерями и сравнительно низкой дисперсией на длине волны 650 нм. Светодиоды, излучающие свет в диапазоне длин волн 600–650 нм, изготавливают на основе системы материалов (AlGa)InP на подложках GaAs. Это, как правило, устройства с верхней излучающей поверхностью, что вызвано непрозрачностью подложек GaAs для требуемой длины волны.

С удешевлением лазеров светодиоды стали замещаться лазерными диодами, которые гораздо мощнее и излучение которых легче ввести в волновод благодаря малой апертуре. Ещё раз отметим, что для кварцевых световодов, передающих данные на большие расстояния, особый интерес представляет длина волны 1,5 мкм. Такие световоды должны быть одномодовыми с малым диаметром сердцевины, что необходимо для исключения межмодовой дисперсии. Поэтому светодиоды с длиной волны излучения 1,5 мкм нельзя применять в системах связи на основе кварцевых световодов. С учетом всех этих факторов можно прогнозировать, что, скорее всего, в ближайшее время произойдет окончательное вытеснение светодиодов из технологии ВОЛС.

6.2 Светодиоды в технологии Li-Fi

Отдельным путем развития для применения светодиодов стала возможность передачи информации путем генерации модулированного оптического сигнала.

Впервые устройства, способные установить между собой достаточно быстродействующую связь с помощью видимого света, были сконструированы в 1880 году в Вашингтоне, когда Александр Белл изобрел фотофон, который мог передавать речь за счет модулируемого солнечного света, на несколько сотен метров. Интересно отметить, что это событие предшествовало передаче речи по радио.

В 2003 г. Япония начала работу с использованием светодиодов видимого диапазона длин волн для передачи данных. С тех пор появились многочисленные научные исследования, сосредоточенные на этой технологии. В 2006 г. исследователи из Университета в штате Пенсильвания предложили сочетать линии электропередач и светодиоды белого света для предоставления широкополосного доступа внутри помещений. В январе 2010 года группа исследователей из компании Siemens и института Фраунгофера для телекоммуникаций (Институт Генриха Герца в Берлине) добилась

передачи данных со скоростью 500 Мбит/с с использованием белых светодиодов на расстояние 5 метров.

В июле 2011 в реальном времени было продемонстрировано видео высокого качества, которое передавалось с помощью стандартной светодиодной «лампы». Это сделал Харальд Хаас из Эдинбургского университета в Великобритании, он же предложил термин «Li-Fi». Значительное послесвечение люминофора в люминофорных светодиодах ограничивает скорость передачи данных с их помощью мегагерцовым диапазоном (рис. 12), однако использование специальных схем модуляции позволяет увеличить скорость почти на порядок. Можно значительно повысить скорость передачи данных, если отфильтровывать и использовать только синюю составляющую излучения люминофорного светодиода. И всё же с точки зрения передачи данных лучше всего использовать белый свет, получаемый путем смешения излучения светодиодов трех основных цветов, каждое из которых можно модулировать со своей собственной частотой. К октябрю 2011 года компании, принимавшие участие в развитии технологии, сформировались в единый консорциум, для того чтобы объединить усилия. Технология была представлена в 2012 году, она имеет общий термин VLC (*англ.* Visible Light Communication, что дословно означает «связь посредством видимого света»). VLC связь моделирует протоколы связи согласно стандарту IEEE 802 (общие стандарты локальных и городских сетей). Стандарт способен обеспечить достаточную скорость для передачи аудио, видео и других мультимедиа данных. Скорость может быть снижена из-за помех от окружающего освещения. Стандарт определяет три РНУ слоя с различной скоростью: 1. РНУ I был создан для наружного применения и работает с 11,67 кбит/с до 267,6 Кбит/с, 2. РНУ II позволяет достичь скорости передачи данных от 1,25 Мбит/с до 96 Мбит/с, 3. РНУ III скорость от 12 Мбит/с до 96 Мбит/с. Данные скорости были актуальны до августа 2013 года, когда скорость передачи данных в лабораторных условиях превысила 1 Гбит/с. На 2016 г. в лабораторных условиях были достигнуты скорости передачи данных на уровне 10 Гбит/с. Первые системы Li-Fi появились на рынке систем связи в 2014 г. и коммерческие системы, доступные в продаже в 2016 г., предлагали скорости загрузки и выгрузки данных с индивидуальных устройств на уровне 40 Мб/с. Такая система включает в себя трансмиттер, подключающийся к проводной сети передачи данных, и USB-адаптер, снабженный фотоприемником и излучателем и подключающийся к устройству потребителя. Достоинством таких систем является их широкополосность и безопасность, т.к. видимое излучение не выходит за пределы помещения (если в нем нет окон) и в целом гораздо более направленно, чем радиосигнал, распространяющийся изотропно. Это обстоятельство используется не только в гражданских, но и военных приложениях. Так, например, для военно-морского флота США в 2016 г. начата разработка системы передачи данных между кораблями на основе

технологии Li-Fi, во многом подобно тому, как ранее использовалась передача данных при помощи прожекторов и азбуки Морзе. Основная цель данной разработки – предотвратить возможный перехват сигнала противником, что трудно сделать, если использовать для связи радиосигналы.



Рис. 12 Концепция Li-Fi (слева) и частотная характеристика современного люминофорного светодиода (Cree, XLamp XR-E LED)

Однако основной рынок устройств, использующих технологию Li-Fi, находится в гражданском секторе экономики. При внедрении технологии передачи данных с помощью светодиодов видимого спектра излучения интернет станет более легкодоступен, так как «обычные» лампы смогут выступить в роли «хот-спотов». Справочные службы современного освещенного города могут стать доступны в любой его точке. Витрины современных магазинов станут источником огромного потока эффективной цифровой рекламы. Технология может быть успешно использована в пределах одного здания, в корпоративных офисных сетях для ближней связи, или в местах, где использование радиоволн затруднено. Компания Philips разработала систему VLC для покупателей в супермаркетах. Покупатель должен загрузить на свой смартфон специальное приложение, и затем система VLC помогает ему ориентироваться в магазине, находить нужные товары и загружать купоны на скидки. Также одним из приоритетных направлений является внедрение оптической беспроводной связи в пассажирских самолётах. Известно, что использование радиоприборов во время посадки и взлета запрещено из-за существования вероятности возникновения помех для навигационного оборудования. Еще одним потенциальным направлением по внедрению данной технологии является медицина. В связи с существованием реальных сложностей при одновременном использовании радиологического оборудования и электромагнитного излучения использование для передачи информации от томографов с помощью оптического сигнала будет наиболее эффективно. В настоящее время для этого требуются специальные кабели с усиленной экранировкой.

Японская компания Nakagawa Laboratories работает над подводной системой связи для дайверов. В созданных уже опытных образцах речь перекодируется в свет и в форме модулированного луча передаётся на приемник другого аквалангиста, где снова преобразуется в звуковую информацию.

Оптическая передача данных может быть использована в автомобильной системе освещения, для создания связи между водителями и/или электронными системами автомобилей. При экстренном торможении впереди идущий автомобиль может при помощи системы VLC, совмещенной со стоп-сигналами, передать информацию о состоянии своих систем автомобилю, следующему сзади, и электронная система этого автомобиля выберет оптимальные параметры торможения, чтобы, с одной стороны, избежать столкновения, а с другой, сделать его максимально комфортным для водителя и пассажиров.

Аналитики предсказывают, что рынок устройств Li-Fi будет расти до 2018 г. с CAGR 82% и достигнет в 2018 году величины 6 млрд. долларов США.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ф.Е. Шуберт. Светодиоды. М.: Физматлит, 2008.
2. А.М. Юшин. Современные светодиоды. Справочник. М.: Радиософт, 2013. 384 с.
3. Т. Оокоси. Оптоэлектроника и оптическая связь: пер. с яп. А. А. Генина; под ред. канд. физ.-мат. наук М.И. Беловолова. М.: Мир, 1988. 95 с.
4. Ю. Айхлер, Г.И. Айхлер. Лазеры. Исполнение, управление, применение (учебное пособие), пер. с нем. Л.Н. Казанцевой. М.: Техносфера, 2012. 495 с.
5. О. Ермаков. Прикладная оптоэлектроника. М.: Техносфера, 2004. 416 с.
6. А.Н. Игнатов. Оптоэлектроника и нанофотоника. СПб.: Лань, 2011. 538 с.
7. Н. Розеншер, Б. Винтер. Оптоэлектроника: пер. с фр. под. ред. О. Н. Ермакова. М.: Техносфера, 2004. 592 с.
8. Л.Н. Курбатов. Оптоэлектроника видимого и инфракрасного диапазонов спектра. М.: Физматгиз, 2013. 400 с.
9. Ю.Г. Шретер, Ю.Т. Ребане, В.А. Зыков, В.Г. Сидоров. Широкозонные полупроводники. СПб.: Наука, 2001. 125 с.
10. M. Kneissl, T. Kolbe, C. Chua, V. Kueller, N. Lobo, J. Stellmach, A. Knauer, H. Rodriguez, S. Einfeldt, Z. Yang, N.M. Johnson, M. Weyers. Advances in group III-nitride-based deep UV light-emitting diode technology // Semiconductor Science and Technology. 2011. V. 26. Art. 014036.

Миссия университета – генерация передовых знаний, внедрение инновационных разработок и подготовка элитных кадров, способных действовать в условиях быстро меняющегося мира и обеспечивать опережающее развитие науки, технологий и других областей для содействия решению актуальных задач.

КАФЕДРА СВЕТОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ОПТОЭЛЕКТРОНИКИ

Кафедра световых технологий и оптоэлектроники (СТО) организована в 2015 году и является преемницей кафедры твердотельной оптоэлектроники (ТТОЭ) и базовой магистерской кафедры светодиодных технологий (СТ). Заведующий кафедрой – Бугров В.Е., доктор физ.-мат. наук, лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники 2013 года, директор Мегафакультета фотоники.

Кафедра ТТОЭ была организована в 1988 году в период активного развития оптоэлектроники как научной базы для разработки высокоскоростных систем передачи и обработки информации. Заведующий кафедрой с 1988 по 2015 гг. – доктор техн. наук, заслуженный деятель науки РФ профессор Прокопенко В.Т.

Кафедра СТ была основана в октябре 2011 года и осуществляла свою деятельность в рамках программы стратегического партнерства Университета ИТМО и компании ЗАО «Оптоган», а затем ЗАО «Светлана-Оптоэлектроника». В разные годы кафедрой заведовали доктор физ.-мат. наук Бугров В.Е. и доктор физ.-мат. наук Романов А.Е.

Кафедра СТО реализует программы подготовки бакалавров и магистров. Программа подготовки бакалавров:

- Направление подготовки 12.03.05 Лазерная техника и лазерные технологии, профиль «Лазеры для информационно-коммуникационных систем».

Программы подготовки магистров:

- Направление подготовки 12.04.02 Оптотехника, профиль «Светодиодные технологии»;
- Направление подготовки 16.04.01 Техническая физика, профиль «Физика и техника оптоэлектронных информационных систем».

Основные направления научной деятельности сотрудников кафедры СТО сосредоточены в области спектроскопии твердого тела, разработки светодиодных модулей различного применения и исследования их свойств, разработки и оптимизации параметров различных (рефрактометрических, волоконно-оптических и др.) датчиков измерения физических величин.

Мынбаев Карим Джафарович

Технические применения светодиодных устройств

Учебное пособие

В авторской редакции

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Зав. РИО

Н.Ф. Гусарова

Подписано к печати

Заказ №

Тираж

Отпечатано на ризографе

Редакционно-издательский отдел
Университета ИТМО
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49