

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
“Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники”

Кафедра сетей и устройств телекоммуникаций

А.Л. Гурский, А.А. Борискевич

**КОММУТИРУЕМЫЕ МАТРИЦЫ СВЕТОДИОДОВ ВЫСОКОЙ ЯРКОСТИ.
ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

**МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
по курсу “Коммутационные системы”
для студентов специальности 45 01 03
“Сети телекоммуникаций”
всех форм обучения**

Минск 2004

УДК 004.353 (075.8)
ББК 32.97 я 73
Г 95

Рецензент:

доцент кафедры систем телекоммуникаций БГУИР, канд.техн.наук
О.А. Хацкевич

Гурский А.Л.

Г 95 Коммутируемые матрицы светодиодов высокой яркости. Принцип действия и основные характеристики: Метод. пособие по курсу “Коммутационные системы” для студ. спец. 45 01 03 “Сети телекоммуникаций” всех форм обуч./ А.Л. Гурский, А.А. Борискевич.– Мн.: БГУИР, 2004. – 20 с.: ил.
ISBN 985-444-666-2

В данном пособии приводится краткая информация об основных понятиях светотехники, о физических принципах функционирования и устройстве новых элементов оптоэлектроники - светодиодов высокой яркости. Даны их основные особенности как объектов коммутации и источников информации для визуального восприятия, что необходимо знать при проектировании микропроцессорных коммутационных устройств систем телекоммуникаций с применением таких светодиодов.

УДК 004.353 (075.8)
ББК 32.97 я 73

ISBN 985-444-666-2

© Гурский А.Л., Борискевич А.А., 2004
© БГУИР, 2004

СОДЕРЖАНИЕ

Введение

1. Основные понятия и определения, применяемые в светотехнике

1.1. Основные светотехнические величины

1.2. Важнейшие особенности человеческого зрения

1.3. Колориметрия и цветовой график

2. Принципы действия и особенности конструкции СВЯ

3. Основные электрические и светотехнические параметры СВЯ

3.1. Определение основных параметров СВЯ

3.2. Особенности характеристик и параметров СВЯ

4. СВЯ как объекты коммутации

4.1. Схемотехника драйверов СВЯ

4.2. Управление яркостью СВЯ

Контрольные вопросы

Литература

ВВЕДЕНИЕ

Создание в последние 5 – 7 лет полупроводниковых светодиодов высокой яркости (СВЯ) открыло новые перспективы их применения в телекоммуникационных системах в качестве выходных устройств отображения визуальной информации. Это произошло по двум причинам. Во-первых, резко возросла световая отдача, что позволило улучшить ряд эксплуатационных параметров светодиодных источников света, например экономичность. Во-вторых, были созданы светодиоды, излучающие в сине-зеленом, синем, фиолетовом и ультрафиолетовом спектральных диапазонах. Последний тип диодов явился основой создания светодиодов белого свечения, которые могут применяться для подсветки шкал, жидкокристаллических индикаторов и в качестве самостоятельных источников освещения. СВЯ красного, зеленого и синего свечения кроме их традиционного использования в качестве индикаторов позволяют создать полностью полупроводниковые полноцветные устройства отображения информации матричного типа - дисплеи и панно. Схемотехнически такие устройства представляют собой коммутируемые матрицы светодиодных излучателей, управляемые контроллерами на основе микропроцессоров по относительно сложным алгоритмам, позволяющим регулировать яркость свечения каждого из элементов матрицы в отдельности и независимо от остальных элементов. Светодиодные устройства отображения визуальной информации (знаки, дисплеи и панно) занимают значительную часть рынка СВЯ (рис.1), имеющего устойчивую тенденцию роста (рис.2), что определяет необходимость изучения основ проектирования таких систем уже в настоящее время.



Рис.1. Структура рынка СВЯ

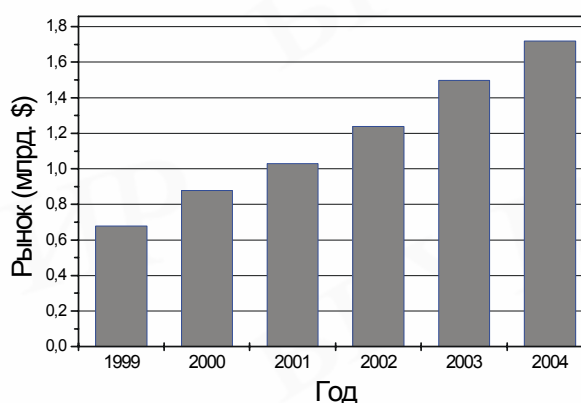


Рис. 2. Развитие рынка СВЯ

Для успешного проектирования микропроцессорных коммутационных систем полноцветных светодиодных матриц на основе СВЯ при отсутствии общепринятых стандартов необходимо знание основных свойств и характеристик СВЯ как объектов коммутации. Наряду со знанием чисто электрических характеристик необходимо знание их светотехнических и оптических характеристик, что предполагает краткое знакомство с

соответствующими понятиями и определениями светотехники и фотометрии, а также сведениями о формировании цветных изображений. Необходимо также знание особенностей СВЯ по сравнению с обычными светодиодами. Поскольку конечным приемником информации в таких системах является глаз человека, требуется также знание основных особенностей человеческого зрения. Ниже в краткой форме приводится информация об основных понятиях светотехники, об устройстве СВЯ, их основных особенностях как объектов коммутации и как источников информации для визуального восприятия.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В СВЕТОТЕХНИКЕ

В светотехнике существует ряд понятий, характеризующих свойства источников излучения в стандартизированных единицах измерения. Важнейшие из них приводятся ниже в кратком изложении.

1.1. Основные светотехнические величины

Светом называется электромагнитное излучение, вызывающее в глазу человека зрительное ощущение. При этом речь идет об излучении в диапазоне от 396 до 760 нм, называемом видимым диапазоном и занимающим небольшую часть всего спектра электромагнитного излучения.

Количество света измеряется **энергией** световой волны в джоулях или **мощностью** в ваттах. Мощность света определяет его **силу**. В качестве эталона силы света используется излучение тела со свойствами, максимально приближенными к свойствам абсолютно черного тела, при температуре затвердевания платины. Сила света одного квадратного сантиметра такого эталона при температуре 2042 К принята равной 60 канделам (кд). От канделы образованы другие фотометрические единицы. Обычно за основную единицу принимают не силу света, а **световой поток**.

Световым потоком Φ называется вся мощность излучения источника света, оцениваемая по световому ощущению глаза человека. Точечный источник, излучающий равномерно во все стороны и имеющий силу света I , создает в телесном угле 4π световой поток Φ , который вычисляется по формуле $\Phi = 4\pi I$, а в любом другом телесном угле $d\omega$ — поток $d\Phi = Id\omega$. Единица измерения светового потока — люмен (лм). 1 лм — это световой поток, который создает равномерный источник света силой в 1 кд в телесном угле в 1стерадиан (ср). Размерность люмена кд·ср. Для монохроматического (одноцветного) излучения в узком интервале длин волн $d\lambda$ световой поток определяется по формуле $d\Phi = K_m V(\lambda) P(\lambda) d\lambda$, где $P(\lambda)$ — спектральная плотность мощности излучения $dP/d\lambda$, а K_m — максимальная спектральная эффективность, т.е. световой поток, создаваемый одним ваттом излучения с длиной волны, для которой $V(\lambda) = 1$. Экспериментально найдено, что $K_m = 683$ лм/Вт для желто-зеленого света с длиной волны λ , равной 555 нм.

Для белого цвета с равномерным распределением энергии в видимой части спектра принимают, что энергия излучения в 1 Вт соответствует $\Phi = 220$ лм.

Сила света. В общем случае источник света излучает световой поток Φ в разных направлениях с различной интенсивностью. Интенсивность излучаемого в определенном направлении света называется силой света I . Сила света I характеризует световой поток Φ в телесном угле ω , т.е. это пространственная плотность светового потока: $I = d\Phi / d\omega$, где $d\Phi$ – световой поток внутри телесного угла $d\omega$. Сила света измеряется в канделах и имеет размерность лм/ср.

Яркость источника света V – это интенсивность свечения его поверхности, непосредственно воспринимаемая глазом. Яркость характеризует силу света по отношению к площади, которая этот свет излучает: $V = I / S$. Единица измерения яркости – нит (нт) = кандела на квадратный метр (кд/м²). Яркость светового пучка Солнца $1,5 \cdot 10^9$ нт, лампы накаливания (100 Вт) – $5 \cdot 10^6$ нт, системы СВЯ (20 Вт) — $9,5 \cdot 10^4$ нт.

Освещенность E — это плотность светового потока по освещаемой площади: $E = d\Phi / dS$. Единица измерения освещенности – люкс (1 лк = 1 лм/м²). Освещенность экрана в кинотеатре, например, составляет приблизительно 200 лк. Солнце создает на поверхности Земли освещенность (в зависимости от облачности) 10^4 – 10^5 лк, Луна – до 0,25 лк, система СВЯ (20 Вт) – 10^4 лк на расстоянии 30 см.

Если свет падает на удаленную от источника на расстояние r поверхность площади ΔS по нормали, $\Delta S = r^2 \Delta\omega$. С другой стороны, $\Delta\Phi = I \Delta\omega$ и с учетом вышеизложенного $E = I/r^2$, т.е. освещенность поверхности, поставленной перпендикулярно к лучам света, обратно пропорциональна квадрату расстояния до источника света.

Световая отдача электрического источника света показывает, с какой эффективностью электрическая энергия преобразуется в световую, и представляет собой отношение светового потока к потребляемой электрической мощности. Единица измерения лм/Вт. Этот параметр для ламп накаливания 8–23 лм/Вт, люминесцентных ламп – 50–100 лм/Вт, СВЯ – до 60 лм/Вт.

При наблюдении предметов или их изображений существенную роль играет диапазон яркостей в поле зрения, который принято называть **контрастностью** K и представлять в виде отношения яркости наиболее светлого элемента изображения V_{\max} к яркости темного элемента V_{\min} , $K = V_{\max} / V_{\min}$. Контрастность объектов в яркий солнечный день достигает 10^6 , ночью $K \approx 100$.

1.2. Важнейшие особенности человеческого зрения

Субъективно воспринимаемый **цвет** предмета или излучения формируется в глазу человека преобразованием сигналов, поступающих от

колбочек (светоощущающих элементов - приемников и преобразователей света), которые по степени восприятия электромагнитных волн той или иной частоты делятся на три вида. Часть колбочек сильнее реагирует на колебания низкочастотной (красной) части световой волны, часть – на колебания среднечастотной (желто-зеленой) части, а часть – на колебания высокочастотной (синей) части. Можно условно назвать колбочки разных видов приемниками красного, зеленого и синего цветов. Другой тип светоощущающих элементов глаза - палочки - не имеют такого деления, но имеют большую чувствительность и ответственны в основном за сумеречное зрение.

Чувствительность глаза способна меняться в значительных пределах (до ста тысяч раз), частично за счет изменения величины зрачка (в 16 раз), а в основном за счет механизма изменения чувствительности светоощущающих элементов. **Световая чувствительность** глаза – возникновение зрительных ощущений под воздействием светового излучения минимальной интенсивности. Наиболее высокая световая чувствительность достигается при полной темновой адаптации и колеблется в пределах от 10^{-17} до $5 \cdot 10^{-19}$ Дж/с, что соответствует освещенности на зрачке 10^{-9} лк. При длине световой волны около 500 нм субъективные ощущения могут возникать при воздействии всего лишь нескольких световых квантов (их энергия $4 \cdot 10^{-19}$ Дж). **Контрастной чувствительностью** глаза называется его способность различать яркость смежных поверхностей. Контрастная чувствительность зависит от условий освещения, яркости фона и размеров различаемой детали. Эта величина определяет порог заметности разброса яркости отдельных излучателей в составе, например, матричного светодиодного дисплея. Яркостный контраст K , при котором глаз может обнаружить на некотором поле объект с другой яркостью, определяется из выражения $K = (V - V_f) / V_f$, где V - яркость предмета; V_f - яркость фона. Наименьший контраст, воспринимаемый глазом, называют **пороговым**. Контрастная чувствительность определяется как V_f / V , т.е. это величина, приблизительно обратная пороговому контрасту. При увеличении яркости фона контрастная чувствительность возрастает и достигает максимума при $V_f = (130 - 1300) \text{ кд/м}^2$. За пределами этих величин контрастная чувствительность понижается. В области максимальной чувствительности глаз способен обнаружить отличия в яркости объектов около 1,3% (рис.1.1).

Спектральная зависимость чувствительности глаза, называемая относительной спектральной эффективностью света, или **кривой видности** $V(\lambda)$, показана на рис. 1.2. Наибольшую эффективность имеют волны с длиной 555 нм, воспринимаемые глазом как желто-зеленый цвет. Для ночного зрения кривая сдвинута влево примерно на 50 нм.

Важной характеристикой зрения с точки зрения проектирования систем визуализации изображений является способность различать мелкие детали, называемая **разрешающей способностью**. Она характеризуется минимальным

угловым размером предмета, при котором глаз еще отличает этот предмет от других. Разрешающая способность глаза составляет примерно 1 угловую минуту и максимальна примерно в центре поля зрения.

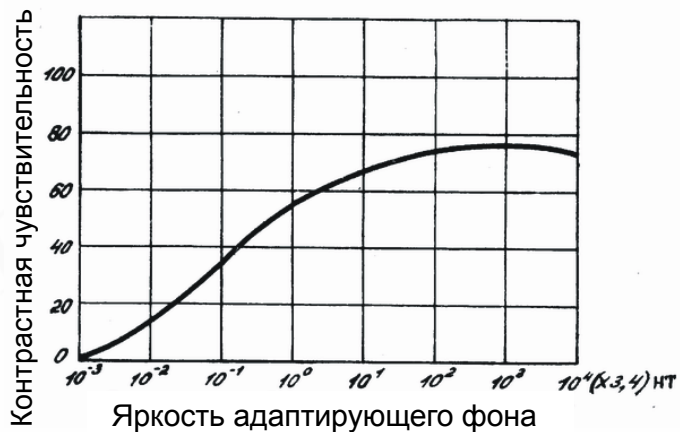


Рис. 1.1. Зависимость контрастной чувствительности глаза от яркости фона

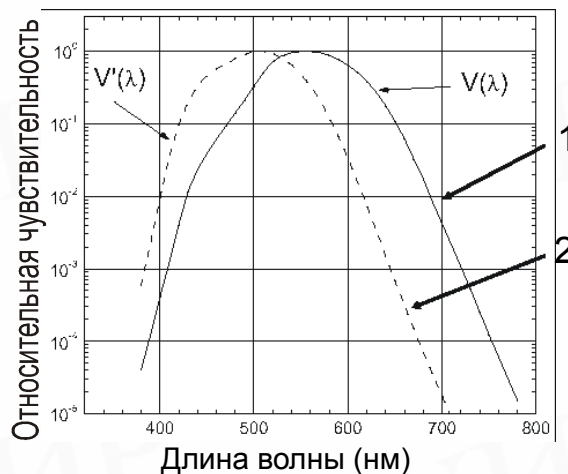


Рис. 1.2. Кривые видности для дневного (1) и сумеречного зрения (2)

Зрение обладает **инерционностью**: изображение на сетчатке не исчезает сразу после того, как исчезло световое воздействие, а сохраняется некоторое время. Инерционность глаза составляет от 0,01 с (ощущение последствия как самого действия) до 0,35 с (полное отсутствие последствия). Благодаря инерционности глаза цветовая картинка, формируемая на сетчатке, может сглаживаться и представляться нам непрерывно изменяющей свой цвет и интенсивность. Это свойство глаза широко используется в технике передачи движущихся изображений.

1.3. Колориметрия и цветовой график

Колориметрия (цветоведение) – это наука об измерении цвета. базирующаяся на законах смешения цветов. Глаз способен различать до 150–180 оттенков каждого из трех спектральных цветов (цветовых тонов) - красного, синего и зеленого и около 40 пурпурных цветовых тонов (сиреневый, вишневый и т.п.), которые не являются спектральными, а образуются в результате смешения красного и синего цветов. Если на глаз одновременно воздействуют все спектральные цвета, имеющие примерно равные энергии, то создается ощущение белого цвета. Такое же ощущение может быть получено при воздействии на глаз только двух определенных цветов. Эти два цвета, создающие при смешении ощущение белого цвета, называют дополнительными. Для каждого данного цвета существует свой дополнительный цвет, например для желтого дополнительным служит синий.

Цветовой тон — свойство светового потока, которое позволяет отличить его по цвету от других. Характеризуется преобладающей (доминирующей) в данном световом потоке длиной волны λ_d . Например, для светового потока красного спектрального цвета принято $\lambda_d = 700$ нм, зеленого — 546 нм, синего — 436 нм. При смешении двух разных спектральных цветов (не являющихся дополнительными) образуется новый цвет, расположенный на шкале спектральных цветов между смешиваемыми цветами. Например, при смешении красного и зеленого цветов образуется желтый цвет, при смешении зеленого и синего — голубой. Как сказано выше, белый цвет, а также все остальные цвета можно получить в результате смешения трех взаимонезависимых основных цветов, т.е. таких, каждый из которых нельзя получить путем смешения двух других. Эта закономерность определяет возможность передавать по каналу связи информацию об основных цветах и восстанавливать на приемной стороне всю гамму цветов изображения передаваемого объекта.

Для задания цвета в колориметрии используются цветовые координаты m' , n' , l' , а цвет представляет собой вектор. В качестве начала системы координат выбирается точка, представляющая собой черный цвет (рис. 1.3).

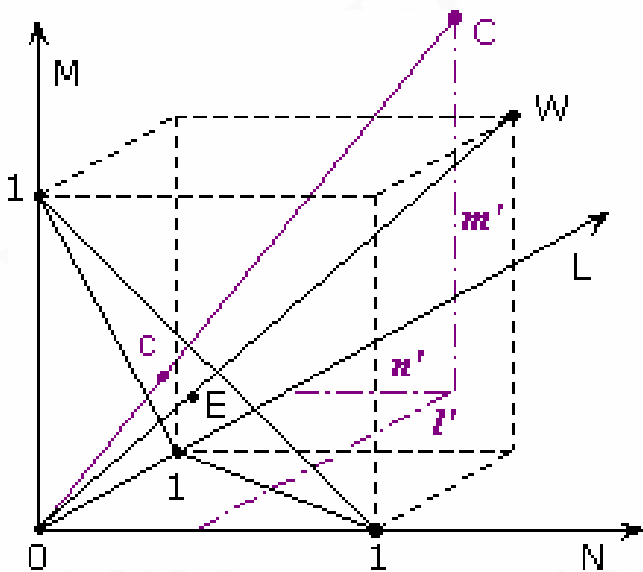


Рис. 1.3. Цветовое пространство

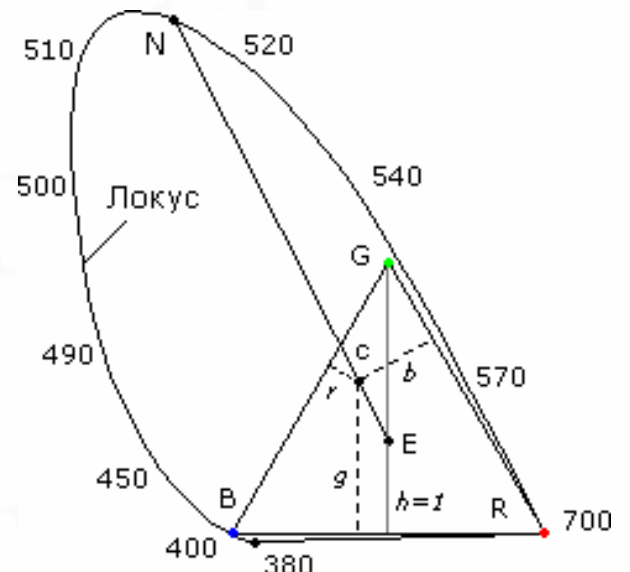


Рис. 1.4. Пример цветового треугольника RGB внутри локуса

Координатные оси задаются единичными точками, в качестве которых выбирают три основных цвета. Масштабы координатных осей в общем случае не являются одинаковыми и задаются косвенно при помощи четвертого опорного для данной цветовой системы цвета, называемого исходным (точка W). Это цвет, получающийся при сложении трех основных с единичными количествами (белый цвет). Плоскость, проходящая через единичные точки координатных осей, образует единичную плоскость, для которой сумма координат равна 1. Вектор цвета C пересекает единичную плоскость в точке «с», которая определяет цветность. Яркость определяется длиной вектора и

равна сумме координат. Координаты на линии OW соответствуют множеству серых тонов. Эту линию называют ахроматической осью.

Для колориметрических расчетов используют единичную плоскость, перпендикулярную ахроматической оси. Представление единичной плоскости называют цветовым треугольником. В нем представлены все цветности при данной яркости. На рис. 1.4 приведен цветовой график, в котором в качестве основных выбраны красный (R – от англ. Red), зеленый (G – Green) и синий (B – Blue) цвета. Кривая, проходящая через монохроматические цвета и соответствующая 100% насыщенным спектральным цветам, называется **локусом**.

Любой цвет C может быть представлен в виде суммы трех основных цветов, взятых в определенных количествах: $C = rR + gG + bB$, где координаты r, g, b определяют относительные количества основных цветов, а R, G, B являются единичными векторами основных цветов. Координаты цвета рассчитываются как отношения отрезков r, g, b к высоте h , которая принимается за единицу. Для определения доминирующей длины волны N цвета C нужно провести прямую из точки E через точку “с” до пересечения с локусом (см. рис. 1.4). Положение точки “с” на прямой EN определяет чистоту цвета. Каждой единице цвета соответствует своя яркость, определяемая ее яркостным коэффициентом. Для получения относительной яркости цвета нужно сложить яркости составляющих основных цветов: $L = LRr + LGg + LBb$, где яркостные коэффициенты находятся в соотношении $LR : LG : LB = 1 : 4,5907 : 0,0601$, определяемом на основе кривой видности. Как следует из цветового графика на рис.1.4, большая область цветов в системе RGB может быть задана, только если одна или две координаты являются отрицательными, поэтому система RGB имеет неполный цветовой охват. Для его увеличения в различных стандартах устанавливают длины волн для цветовых тонов R, G, B таким образом, чтобы увеличить цветовой охват (система XYZ–1931, улучшена затем в 1960 г.). На ней основано большинство действующих стандартов и имеющая 2 координаты $u = 4X/(X+15Y+3Z)$ и $v = 6Y/(X+15Y+3Z)$). На рис. 1.5 приведены цветовые координаты основных цветов, принятые в различных стандартах.

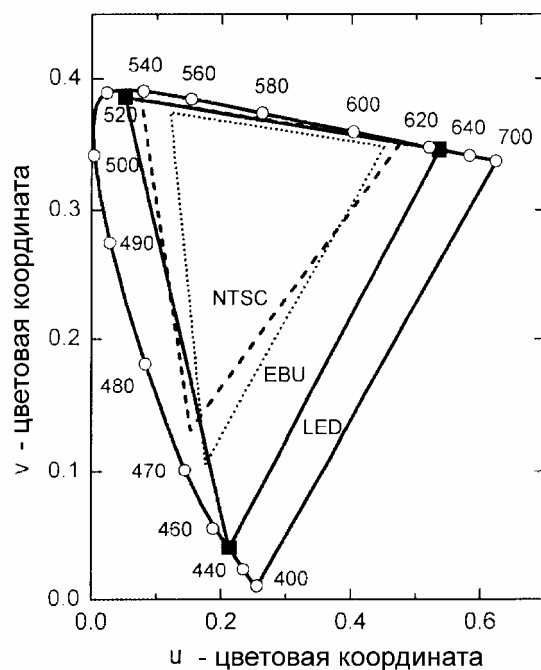


Рис.1.5. Цветовой график для трехцветных систем NTSC (США, Япония), EBU (Европа) и Tricolor-LED

2. ПРИНЦИПЫ ДЕЙСТВИЯ И ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ СВЯ

Физической основой работы полупроводниковых светодиодов всех типов является явление электролюминесценции при инжекции тока через р-п - переход, смещенный в прямом направлении. Рабочим участком вольт-амперной характеристики светодиода является ее прямая ветвь. При протекании через диод прямого тока происходит инжекция неосновных носителей заряда (электронов или дырок) в базовую область диодной структуры. Возникающая при этом электролюминесценция обусловлена излучательной рекомбинацией электронов и дырок в области р-п-перехода. Электроны переходят с более высоких энергетических уровней в зоне проводимости (или вблизи нее) на более низкие в валентной зоне или рядом с ней, а избыточная энергия выделяется в виде кванта света.

Длина волны излучения λ (энергия кванта света ΔE) при этом в большинстве случаев определяется шириной запрещенной зоны полупроводника E_g . Величины λ и ΔE связаны соотношением $\lambda = hc/\Delta E$, где h - постоянная Планка, c - скорость света. Заметная излучательная рекомбинация характерна, как правило, для прямозонных полупроводников, т.е. таких, у которых переход из максимума дисперсионной кривой валентной зоны в минимум такой кривой для зоны проводимости является вертикальным в k -пространстве. К их числу относится ряд соединений A^2B^6 (ZnSe, ZnO, ZnS, ZnTe, CdS, CdSe и др.) и A^3B^5 (GaAs, GaN и др.), при этом в их обобщенных обозначениях индексы – это номера столбцов (групп) периодической таблицы

Д.И.Менделеева, в которых расположены соответствующие химические элементы. Широко используются также твердые растворы этих соединений (например, InGaAsP , ZnMgSSe , AlInGaN), применение которых позволяет подбирать E_g для получения заданных длин волн излучения и создания варизонных структур. Кремний и германий, не будучи прямозонными, не являются эффективными излучателями.

Первые светодиоды строились на так называемых гомопереходах, где p- и n-области были сформированы из одного и того же материала различного типа проводимости, получаемого путем легирования донорными либо акцепторными примесями. В числе их недостатков были весьма малая излучательная эффективность и низкий КПД, что привело к созданию излучающих структур на основе гетеропереходов и гетероструктур - структур, состоящих из материалов, имеющих различную величину E_g . Различают одиночные (SH) и двойные (DH) гетероструктуры. В DH-структуре слой материала с меньшей величиной $E_g = E_{g2}$ ограничен с двух сторон обкладками из материала с большим значением $E_g = E_{g1}$. При этом область с меньшим значением E_g образует потенциальную яму для носителей заряда, которые могут в ней накапливаться, увеличивая тем самым излучательную способность прибора (явление суперинжекции). Излучение может при этом выходить, не поглощаясь, через более широкозонные обкладки (эффект широкозонного окна). Обычные светодиоды выполнялись, как правило, на основе DH-структур, хорошо описанных во многих учебниках по физике полупроводниковых приборов.

Дальнейшее улучшение свойств гетероструктур, приведшее к созданию СВЯ, связано с использованием эффектов размерного квантования - формирования дискретного энергетического спектра носителей заряда, замкнутых в ограниченном пространстве. Этот эффект проявляется, если носители заряда (электроны) локализованы в потенциальной яме, размеры которой сопоставимы с длиной волны де Бройля (в полупроводнике это значение порядка единиц нанометров). Квантовая яма (QW – англ. Quantum Well) представляет собой частный случай DH, в которой область с меньшим значением $E_g = E_{g2}$ имеет толщину a порядка нанометра (до нескольких нанометров, рис.2.1). В пространстве такой слой может считаться плоскостью, поскольку электроны “не чувствуют” его толщины. Электроны в такой плоскости образуют двухмерный электронный газ (2DEG). Энергетический спектр носителей заряда в квантовой яме характеризуется уровнями, обозначаемыми квантовым числом n (см. рис.2.1).

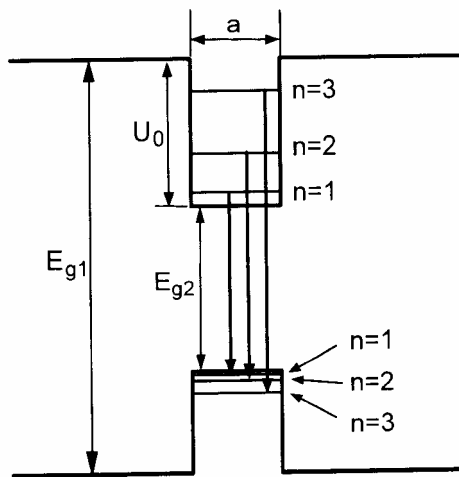


Рис.2.1. Энергетическая диаграмма гетероструктуры с квантовой ямой

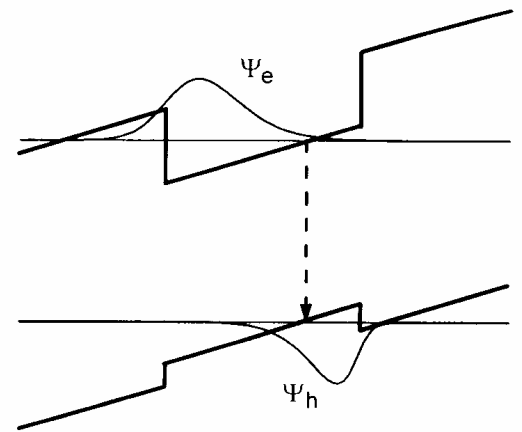


Рис. 2.2. Квантовая яма в электрическом поле. ($\Psi_{e(h)}$ - огибающие волновых функций электронов (дырок))

В электрическом поле энергетическая диаграмма структуры искажается (рис.2.2), при этом форма потенциальных ям становится треугольной или близкой к ней, а также происходит смещение положения уровней в ямах. Это приводит к уменьшению интенсивности рекомбинации из-за пространственного разделения носителей заряда разных знаков и увеличению длины волны излучения (квантовый эффект Штарка). Возможно создание структур на основе одиночной квантовой ямы (SQW) и серии квантовых ям (MQW).

Квантовая яма представляет собой двухмерную структуру для носителей заряда – плоскость. Если разделить ее на нити толщиной порядка длины волны де Бройля, получим одномерную структуру - квантовую проволоку (QW – Quantum Wire). Наконец, разделив нити на короткие отрезки (размером порядка длины волны де Бройля), получим нуль-мерные объекты - квантовые точки (QD -- Quantum Dots). В квантовых точках энергетический спектр носителей заряда является линейчатым и полностью подобен энергетическому спектру электронов в атомах. Излучательная эффективность квантовых точек теоретически не уменьшается с температурой (для достаточно глубоких потенциальных ям), а излучательные свойства отдельной точки подобны излучательным свойствам атома. Высокая излучательная эффективность систем с QD обусловлена тем, что из-за малых размеров в QD безызлучательная рекомбинация через дефекты (почти всегда это основной канал рекомбинации в полупроводниках) практически исключается, так как большинство квантовых точек из-за своих малых размеров просто не содержат дефектов. Это определяет очень высокую излучательную эффективность структур на основе QD. СВЯ сине-зеленого диапазона представляют собой именно такие структуры. Их КПД доходит до 30%, в то время как у обычных светодиодов его величина порядка 1%. Рекомбинация в квантовых точках придает излучению СВЯ на их основе специфические особенности: Во-первых, излучение имеет

большую ширину спектральной полосы из-за разброса размеров квантовых точек и соответственно энергетических уровней в них. Во-вторых, существует зависимость положения максимума полосы от тока через диод, определяемая вкладом эффекта Штарка и эффекта заполнения низших энергетических состояний, приводящего к коротковолновому смещению максимума излучения с ростом тока. СВЯ красно-желтого диапазона представляют собой структуры на основе квантовых ям (без квантовых точек).

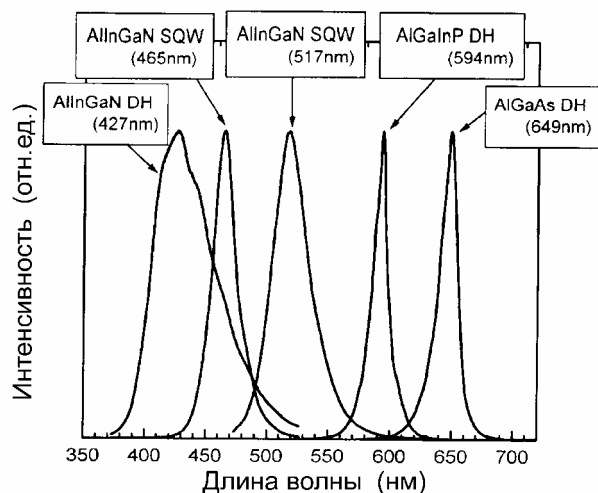


Рис.2.3. Спектры излучения светодиодов различных длин волн

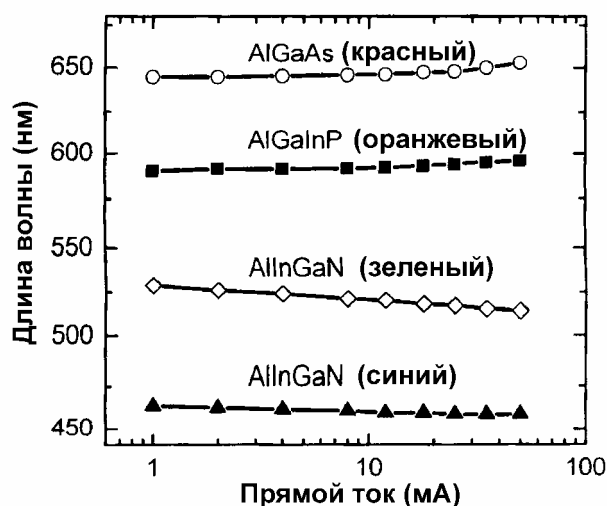


Рис. 2.4. Зависимость положения максимума спектров излучения СВЯ от прямого тока

На рис. 2.3 приведены типичные спектры излучения СВЯ на основе различных материалов, а на рис. 2.4 - зависимости максимумов излучения от величины прямого тока. Узкие спектры излучения светодиодов на 649, 594 и 495 нм определяются рекомбинацией инжектированных носителей заряда по механизму “зона - зона”, при этом полуширина полосы $\Delta\lambda$ определяется выражением $\Delta\lambda(\text{нм})=1,25 \cdot 10^{-7} \lambda^2 T(\text{К})$, что очень точно соответствует теоретическому значению полуширины в энергетическом представлении $\Delta E=1,8k_B T$, где k_B - постоянная Больцмана, T - абсолютная температура. Зависимости положения максимума полосы от тока через диод различны для светодиодов разных цветов: для красных и оранжевых наблюдается длинноволновой сдвиг с ростом тока, для зеленых и синих - коротковолновой (рис.2.4).

СВЯ на различные участки спектра изготавливаются из различных материалов. Для зеленых, синих, фиолетовых и ультрафиолетовых диодов применяются структуры на основе AlInGaAs, энергетические диаграммы которых схематически показаны на рис. 2.5, а, б. Для красного, желтого и оранжевого диапазона используются структуры на основе твердых растворов AlGaAs и AlInGaP (рис. 2.5, в, г).

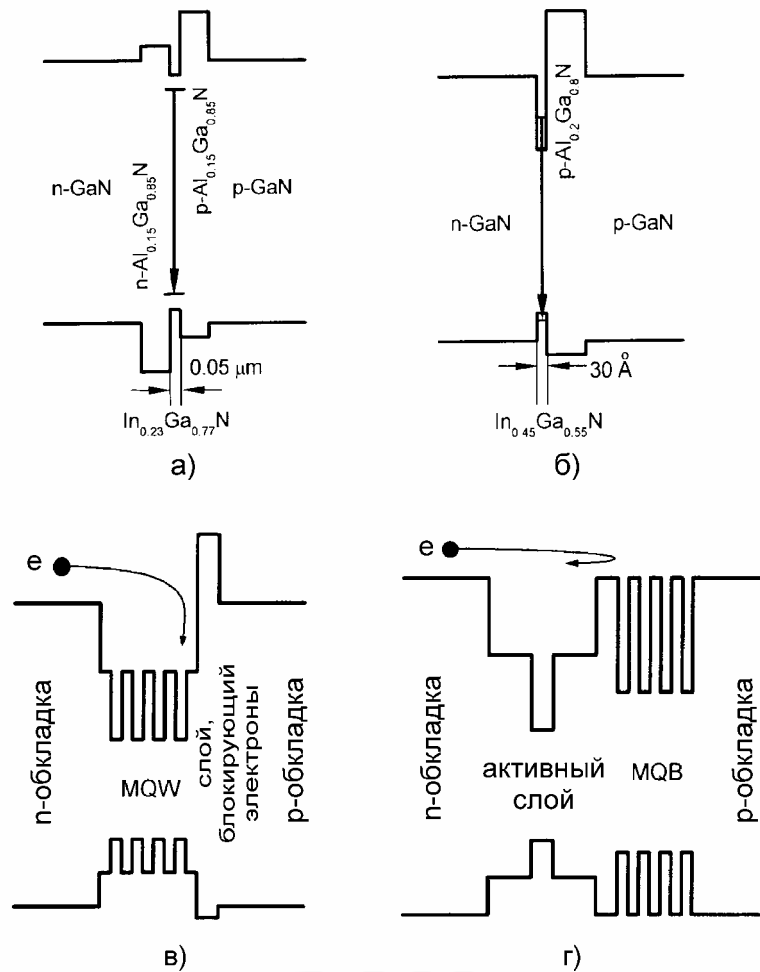


Рис. 2.5. Энергетические диаграммы светодиодных структур на основе AlInGaP (а, б) и AlInGaP (в,г) при отсутствии приложенного напряжения

Во всех показанных на рис.2.5 структурах применяются отражающие барьеры для электронов в зоне проводимости, препятствующие их пролету в р-область, минуя квантовые ямы. Они выполнены в виде слоев с большой величиной E_g по сравнению с n- и р-областями (а – в) либо в виде сверхрешетки (MQW), создающей отражающее поле (г).

Особенностью структур с квантовыми ямами на основе InGaP (см. рис.2.5, а,б) является то, что в твердом растворе InGaP наблюдается эффект фазовой сегрегации, в результате чего твердый раствор становится неоднородным по составу и включает в себя кластеры, богатые индием. Эти кластеры играют роль квантовых точек внутри квантовых ям, чем и обусловлены особенности спектров свечения соответствующих светодиодов. Различие зависимостей максимума полосы от тока (см. рис. 2.4) вызвано тем, что в светодиодах на основе квантовых ям доминирует длинноволновый сдвиг из-за разогрева структуры протекающим током. В структурах на основе квантовых точек этот эффект тоже присутствует, но более сильным является эффект заполнения низкоэнергетических состояний в квантовых точках, что приводит в результате к коротковолновому сдвигу излучения. Эти эффекты необходимо учитывать при разработке полноцветных светодиодных дисплеев,

поскольку они могут приводить к искажению цветопередачи в зависимости от яркости изображения.

Конструктивное исполнение СВЯ подобно исполнению обычных светодиодов. СВЯ изготавливаются в прозрачных корпусах на основе бесцветных эпоксидных компаундов с двумя гибкими выводами. Особенностью СВЯ коротковолновой части спектра (начиная с зеленой области) и белого свечения является наличие фиолетового и ультрафиолетового излучения из обкладочных слоев гетероструктуры. Это излучение может приводить к помутнению полимерного материала корпусов светодиодов (такой эффект наблюдался в приборах первых выпусков, а также возможен в дешевых типах светодиодов) и постепенному уменьшению яркости их свечения в процессе наработки, что также необходимо учитывать при проектировании и определении ресурса приборов. В современных типах СВЯ ведущих фирм (Nichia, Lumileds, Agilent и др.) этот недостаток уже устранен. Именно поэтому корпус СВЯ является прозрачным и не содержит красителей в отличие от корпусов обычных светодиодов.

3. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СВЯ

3.1. Определение основных параметров СВЯ

Основные параметры СВЯ определяются особенностями их конструкции, описанными выше. К числу электрических параметров относятся:

- **постоянное прямое напряжение** $U_{пр}$ - значение напряжения на светодиоде при протекании постоянного прямого тока $I_{пр}$;
- **максимально допустимый постоянный прямой ток** $I_{пр. max}$ - максимальное значение постоянного прямого тока, при котором обеспечивается заданная надежность при длительной работе диода;
- **максимально допустимое обратное постоянное напряжение** $U_{обр. max}$ - максимальное значение обратного постоянного напряжения, приложенного к диоду, при котором обеспечивается заданная надежность при длительной работе;
- **максимально допустимое обратное импульсное напряжение** $U_{обр. имп. max}$ - максимальное пиковое значение обратного напряжения на светодиоде, включая как однократные, так и периодически повторяющиеся выбросы;
- **быстродействие** диода, характеризующееся временами включения и выключения. Светодиоды, включая СВЯ, обладают довольно высоким быстродействием: излучение нарастает и спадает за время порядка 1 нс. Для устройств отображения информации быстродействие не является критичным, так как его хватает с большим запасом. Важно, однако, что по сравнению с люминофорами электронно-лучевых трубок светодиоды практически не обладают послесвечением.

Светотехнические параметры являются характеристиками светодиодов как источников света. К ним относятся:

– **сила света** I_V (кд) - излучаемый светодиодом световой поток в единичном телесном угле в направлении, перпендикулярном к плоскости излучающего кристалла. Указывается при заданном значении прямого тока;

– **яркость** L (кд/м²) - отношение силы света к площади светящейся поверхности при заданном значении прямого тока;

– **максимум спектрального распределения** λ_{\max} - длина волны светового излучения, соответствующая максимуму спектральной характеристики излучения светодиода; с этой величиной связан цвет свечения светодиодов;

– зависимость яркости излучения от прямого тока $L = f(I_{\text{пр}})$ (**яркостная характеристика**), или зависимость силы света от прямого тока $I_V = f(I_{\text{пр}})$ (**световая характеристика**);

– **диаграмма направленности излучения** светодиода (определяется материалом и параметрами излучающей структуры, параметрами материала прозрачного корпуса диода, наличием линзы, свойствами поверхности корпуса диода).

3.2. Особенности характеристик и параметров СВЯ

Светодиоды, в том числе СВЯ, имеют сравнительно большой **разброс параметров** и характеристик от образца к образцу. В технических условиях обычно указывают граничные значения параметров, являющихся критерием годности приборов при их производстве. На графиках приводятся характеристики для средних значений и (иногда) границы 95%-ного разброса параметров. Наличие разброса электрических и оптических параметров необходимо учитывать при проектировании больших светодиодных дисплеев и панно, поскольку эти параметры тесно взаимосвязаны между собой, а результирующий разброс выходных оптических параметров значительно превышает пороги контрастной и цветовой чувствительности глаза.

Вольт-амперные характеристики (ВАХ) СВЯ аналогичны характеристикам обычных выпрямительных диодов, однако имеют свои особенности. В общем случае прямая ветвь ВАХ описывается выражением

$$I(U) = I_D(U) + I_R(U) + I_t(U),$$

где I_D - диффузионный ток, I_R - рекомбинационный ток (для излучательной и безызлучательной рекомбинации), I_t - туннельный ток, не зависящий от температуры. При токах порядка миллиампер обычно основной вклад в общий ток вносит рекомбинационный ток I_R , определяемый как

$$I_R = I_{R0} \left[\exp\left(\frac{e(U - IR_S)}{\gamma k_B T}\right) - 1 \right],$$

где e – элементарный заряд, R_S – внутреннее сопротивление областей гетероструктуры, где рекомбинация отсутствует; I - общий ток через диод; γ - параметр неидеальности, лежащий в диапазоне от 0 до 2; I_{R0} - подгоночный

параметр. При создании устройств, включающих диоды разного цвета свечения, необходимо учитывать, что их ВАХ значительно отличаются друг от друга (рис. 3.1). Поэтому, например, для СВЯ красного свечения $U_{пр} = 1,5-1,7$ В при $I_{пр} = 10$ мА, для СВЯ зеленого и синего свечения $U_{пр} = 3,5-4$ В при $I_{пр} = 10$ мА. Эта разница, а также разброс величин $U_{пр}$ влияют на схемотехнику драйверов диодов и диодных линеек. Величина “ступеньки” ВАХ U_F , определяющей начало быстрого роста тока с возрастанием напряжения U , определяется шириной запрещенной зоны материала, из которого изготовлен диод, и приближенно оценивается соотношением $U_F = E_g/e$, где значение E_g берется в электрон-вольтах.

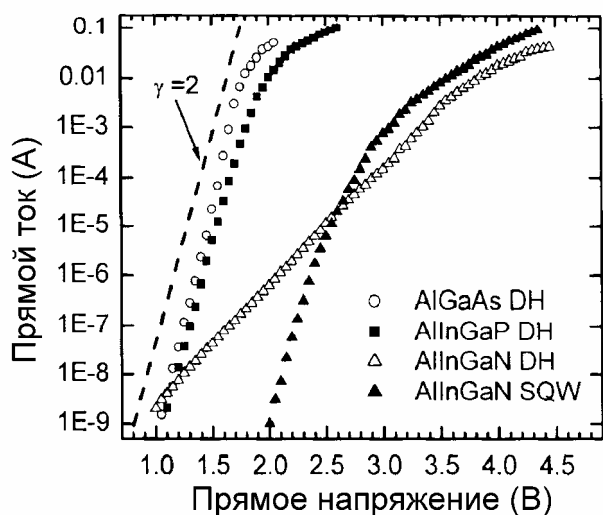


Рис.3.1. ВАХ различных СВЯ в логарифмическом масштабе

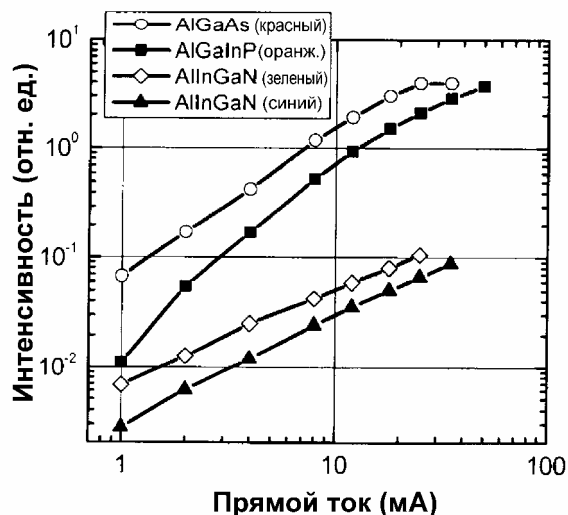


Рис.3.2. Световые характеристики СВЯ разных цветов свечения в сопоставимых относительных единицах

Световые характеристики (зависимости интенсивности свечения от тока) также отличаются для разных типов диодов (рис.3.2). Это обуславливает дополнительные трудности при создании полноцветных дисплеев, поскольку необходимо обеспечить баланс белого цвета для всего диапазона яркостей элементов, которые в силу этого должны управляться драйверами с различными регулировочными характеристиками.

Диаграммы направленности (ДН) светодиодов, и СВЯ в частности, отличаются от ДН ламп накаливания. Последние имеют практически круговую ДН. СВЯ имеют ДН в виде лепестка с углом раствора $20-40^\circ$, что накладывает ограничения на угол обзора дисплеев и панно, выполненных на основе светодиодов.

4. СВЯ КАК ОБЪЕКТЫ КОММУТАЦИИ

4.1. Схемотехника драйверов СВЯ

Под драйвером СВЯ будем понимать усилительный или ключевой каскад, управляющий током СВЯ. ВАХ СВЯ, как и других диодов, описываются

экспоненциальными функциями, для которых характерны сильные изменения прямого тока при малых изменениях прямого напряжения. С другой стороны, величины $U_{пр}$ при заданном $I_{пр}$ имеют значительный разброс. Так, несколько образцов СВЯ фирмы Nichia имели разброс $U_{пр}$ от 3,5 до 3,9 В при $I_{пр}=10$ мА. Отметим, что световые характеристики СВЯ при токах, близких к номинальным (обычно 20 мА), достаточно линейны (рис.3.2). Выходное оптическое излучение СВЯ определяется именно величиной проходящего через гетероструктуру тока, поэтому управляющие каскады должны регулировать ток через светодиоды.

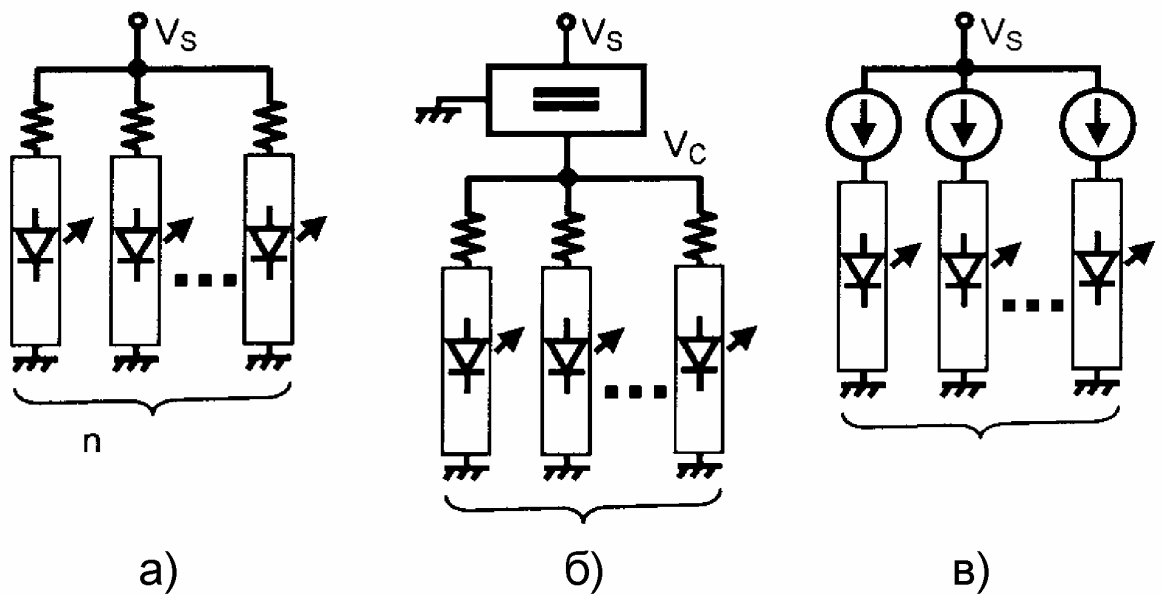


Рис.4.1. Управление током через светодиоды с помощью:

а - балластных резисторов; б - регулятора напряжения; в - источников тока

Существует три основных пути задания постоянного тока через СВЯ (рис.4.1): применение балластных резисторов (а); регулируемых источников напряжения (б) и источников тока (в). Наиболее простыми являются схемы с балластными резисторами. Для стабилизации тока падение напряжения на резисторе должно быть больше, чем разброс значений $U_{пр}$ для данного типа диода (или суммарного разброса для последовательно соединенных диодов). В тех случаях, когда матрица светодиодов работает в условиях значительных колебаний температур (наружная реклама и т.д.), к технологическому разбросу $U_{пр}$ добавляется также температурная зависимость $U_{пр}$. В температурном интервале 100 К (от -40 до +60 °С) изменения $U_{пр}$ могут достигать 0,5 В. Все это приводит к тому, что балластный резистор должен рассеивать мощность, сравнимую с потребляемой самим светодиодом (линейкой диодов). Ясно, что КПД такой схемы невысок, поэтому обычно применяют драйверы диодов по схеме источников тока (рис. 4.1, в).

В случае, если матрицы светодиодов являются составной частью схем, содержащих реактивные компоненты, требуется их защита от импульсов

напряжения. Некоторые типы светодиодов содержат встроенные элементы защиты от превышения уровней допустимых напряжений, однако в общем случае требуются меры по защите диодов от превышения напряжения. Типичная схема защиты приведена на рис. 4.2.

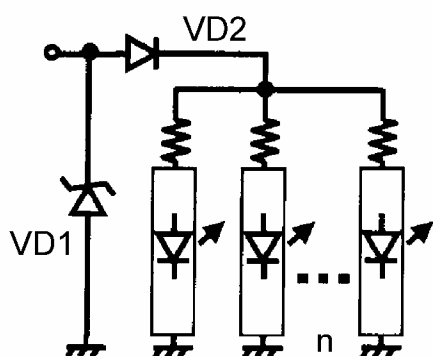


Рис. 4.2. Схема защиты СВЯ от перегрузок по напряжению

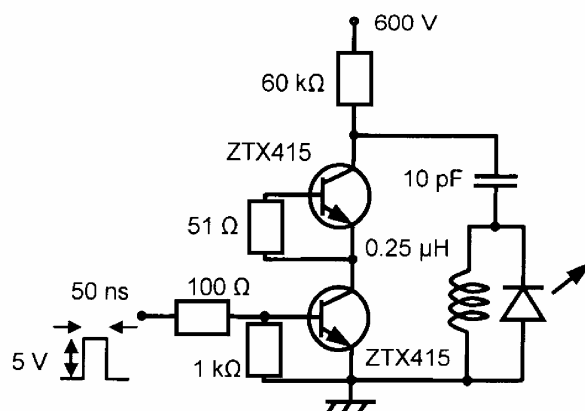


Рис. 4.3. Схема формирователя наносекундных световых импульсов с помощью СВЯ

Иногда требуется получение коротких световых импульсов или импульсных последовательностей с помощью светодиодов. Возможная схема формирователя коротких импульсов тока через СВЯ для генерации наносекундных световых импульсов приведена на рис. 4.3.

4.2. Управление яркостью СВЯ

Вышеизложенные особенности ВАХ, световых характеристик и зависимостей длин волн излучения от тока через СВЯ делают нецелесообразным управление яркостью СВЯ (димминг) путем изменения величины I_{np} по крайней мере при построении полноцветных устройств отображения видеoinформации. Такая регулировка привела бы к неконтролируемому изменению цветности в зависимости от яркости изображения и увеличенному разбросу яркостей отдельных элементов матрицы диодов. Кроме этого, относительно линейные регулировочные характеристики получаются только для яркостей, превышающих 10% от максимальной. Поэтому единственной возможностью управления яркостью элементов матриц СВЯ является применение широтно-импульсной модуляции (ШИМ), при этом яркостью диодов управляют путем изменения скважности подаваемых импульсов при стабильном токе через диоды. В этом случае динамический диапазон регулировки яркости может достигать 3-4-х порядков (до 60-80 дБ), что вполне отвечает потребностям визуализации изображений.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите основные светотехнические величины. Дайте их определения.

2. Что такое основные и дополнительные цвета? Какими способами можно получить белый цвет?

3. Что такое цветовой график и цветовые координаты?

4. Что такое квантовые ямы, квантовые проволоки и квантовые точки? Какие физические явления лежат в основе работы СВЯ? Каковы особенности СВЯ на основе квантовых точек?

5. Назовите основные электрические, оптические параметры и характеристики СВЯ.

6. Каковы особенности выходных каскадов схем коммутации СВЯ? Какими способами может быть выполнена стабилизация тока СВЯ?

7. Каким способом можно осуществить управление яркостью светодиодов в широких пределах, не нарушая цветового баланса изображения матрицы светодиодного видеодисплея?

ЛИТЕРАТУРА

1. Степанов Б.И. Введение в современную оптику: Фотометрия. О возможном и невозможном в оптике. - Мн.: Наука и техника, 1989. - 254 с.

2. Zhukauskas A., Shur M.S., Gaska R. Introduction to Solid-State Lighting. - New York.: Wiley and Sons, 2002. - 207 p.

3. Телевидение: Учеб. пособие для вузов /Р.Е.Быков, В.М.Сигалов, Г.А.Эйсенгардт; Под ред. Р.Е.Быкова. - М.: Высш. шк., 1988. - 248 с.

4. Иванов В.И., Аксенов А.И., Юшин А.М. Полупроводниковые опто-электронные приборы: Справочник / Под ред. Н.Н.Горюнова. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 184 с.

5. Зи С.М. Физика полупроводниковых приборов: В 2 кн. Кн. 2: Пер. с англ. 2-е изд. - М.: Мир, 1984. - 456 с.

Св. план 2004, поз.111

Учебное издание

**Гурский Александр Леонидович,
Борискевич Анатолий Антонович**

**КОММУТИРУЕМЫЕ МАТРИЦЫ СВЕТОДИОДОВ ВЫСОКОЙ ЯРКОСТИ.
ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

**МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
по курсу “Коммутационные системы”
для студентов специальности 45 01 03
“Сети телекоммуникаций”
всех форм обучения**

Редактор Н.А. Бебель
Корректор Е.Н. Батурчик

Подписано в печать 20.10.2004.

Бумага офсетная.

Уч.-изд.л. 1,2.

Печать ризографическая.

Тираж 70 экз.

Формат 60x84 1/16.

Усл.печ. л. 1,4.

Заказ 229.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования

«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Лицензия на осуществление издательской деятельности №02330/0056964 от 01.04.2004.

Лицензия на осуществление полиграфической деятельности №02330/0133108 от 30.04.2004.

220013, Минск, П. Бровка, 6