

Лекция №4. Органические электролюминесцентные устройства (продолжение).

В лекции рассмотрены основные технические характеристики ЭЛУ (раздел 4), обсуждаются их достоинства и недостатки по сравнению с традиционными источниками излучения (раздел 5), а также области применения технологии создания ЭЛУ в различных устройствах (раздел 6).

4. Характеристики ЭЛУ.

Для устройств, применяемых в качестве источников излучения, существуют следующие технические характеристики:

1. *Эффективность использования энергии* [%] – это отношение мощности потока излучения в видимой области электромагнитного спектра на единицу мощности электрической энергии. Измерение этой величины проводится с использованием интеграционной сферы. Так, эффективность использования энергии для лампы накаливания составляет 5%, для галогеновой лампы – 8–10%, а в случае энергосберегающей лампы может достигать 16%.

2. *Эффективность излучения* [Лм·Вт⁻¹] – это отношение силы излучения к мощности электрической энергии.

Люмен (от лат. *lumen* – свет) [Лм] – единица СИ светового потока; 1 Лм – световой поток, испускаемый точечным источником в телесном угле в 1 стерадиан при силе света в 1 канделу.

Кандела (от лат. *candela* – свеча) [Кд] – единица силы света, одна из основных в СИ; равна силе света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц, энергетическая сила света которого в этом направлении $1/683 \text{ В} \cdot \text{ср}^{-1}$.

При измерении силы излучения необходимо учитывать, что эта величина пропорциональна числу фотонов, испускаемых источником в единицу времени. При этом *поток* определяется по формуле:

$$\Phi_e = \frac{dW}{dt} [\text{Дж} \cdot \text{с}^{-1} = \text{Вт}], \quad (2-19)$$

плотность излучения:

$$D_e = \frac{d\Phi_e}{dA} [\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}], \quad (2-20)$$

спектральная плотность:

$$L_e = \frac{dD_e}{d\lambda} [Вт \cdot м^{-2}]. \quad (2-21)$$

Например, энергия излучения солнца равна $1.35 \text{ кВт} \cdot \text{м}^{-2}$ и эта величина называется солнечной константой.

Счет фотонов производится исходя из следующих соображений:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}, \quad (2-22)$$

$$h\nu_{550} = 4 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}, \quad (2-23)$$

$$1 Вт = 2.5 \cdot 10^{18} \text{ фотонов} \cdot \text{с}^{-1}. \quad (2-24)$$

Фотометрические единицы делятся на две основные категории: *интегральные* и *угловые*.

Интегральные единицы: *сила света* ($\Phi = \frac{\Phi_e}{M_0} [Лм]$, $M_0 = 0.00146 \text{ Вт} \cdot \text{Лм}^{-1}$) и *освещенность* ($E = \frac{d\Phi}{dA} [Люкс]$).

Люкс равен освещённости поверхности площадью 1 м^2 при световом потоке падающего на неё излучения, равном 1 Лм .

Угловые единицы: *световой поток* ($I = \frac{d\Phi}{d\Omega} [Кд]$) и *яркость* ($L = \frac{dI}{dA} \cdot \cos \gamma [Кд \cdot \text{м}^{-2}]$).

Яркость – это поверхностно-пространственная плотность светового потока, исходящего от поверхности. Кроме того, можно сказать, что *яркость* – это соотношение силы света элемента поверхности к площади его поверхности, перпендикулярной рассматриваемому направлению. Или, *яркость* – это отношение освещенности в точке плоскости, перпендикулярной направлению на источник, к элементарному телесному углу в котором заключен поток, создающий освещенность. В табл. 2-2 приведены примеры величин яркости некоторых источников излучения.

Таблица 2-2.

Яркость некоторых источников излучения.

<i>Источник излучения</i>	<i>Яркость [Кд·м⁻²]</i>
Солнце	$1.5 \cdot 10^9$
Газоразрядная лампа	$2.0 \cdot 10^8 - 1.0 \cdot 10^9$
Электрическая лампочка (прозрачная)	$2.0 \cdot 10^6 - 2.0 \cdot 10^7$
Электрическая лампочка (матовая)	$5.0 \cdot 10^4 - 5.0 \cdot 10^5$
Люминесцентная лампа	$4 \cdot 10^3 - 1.4 \cdot 10^4$
Свеча	$7.5 \cdot 10^3$
Голубое небо	$3 \cdot 10^3 - 5 \cdot 10^3$
Луна	$2.5 \cdot 10^3$
Экран телевизора	$5 \cdot 10^2$

Из всех световых величин яркость наиболее непосредственно связана со зрительными ощущениями, так как освещенности изображений предметов на сетчатке глаза пропорциональны яркости этих предметов.

3. Для того, чтобы создавать источники излучения того или иного цвета, а тем более дисплеи, которыми современный человек пользуется ежедневно, необходимо учитывать чувствительность его глаза к восприятию различных цветов. На рис. 2-7 изображены функции соответствия цветов, которые были получены *Райтом* (1928 г.) и *Гилдом* (1930 г.)

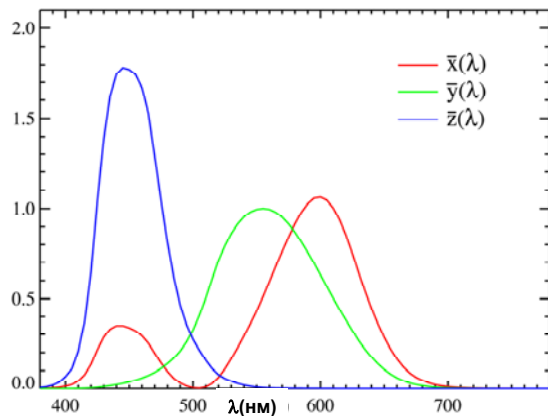


Рис. 2-7. Функции распределения восприятия трех основных цветов глазом здорового человека.

на основании множества экспериментов по восприятию цветов среди большого количества людей. Восприятие человеком различных цветов основано на трех основных составляющих – синего, зеленого и красного. Они должны присутствовать, чтобы здоровый человек со средним зрением мог воспринимать все цвета и оттенки видимого спектра. Этим трем первичным составляющим были поставлены в соответствие координаты X, Y и Z.

В 1931 г. впервые на основании соотношений X, Y, Z Международной комиссией по освещению (*Commission internationale de l'éclairage 1931*) было построено первое математически обоснованное определение цветов, названное *CIE XYZ* (или *CIE 1931*) (рис. 2-8).

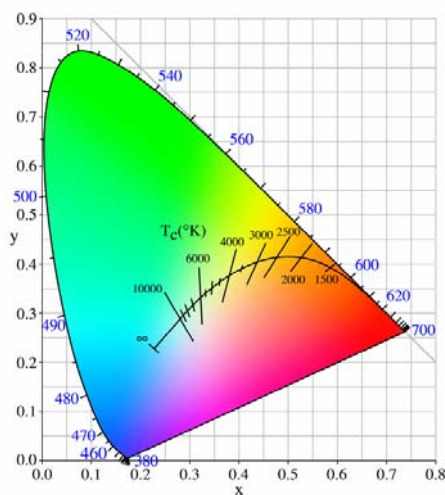


Рис. 2-8. Пространственная диаграмма цветности (*CIE 1931*) и излучение абсолютно черного тела.

Внешняя граница на рис. 2-8 – это спектральное (или монохроматическое) расположение координат точек различных цветов с длинами волн, указанными в нанометрах.

Понятие *цвета* может быть разделено на две составляющие: яркость и монохроматичность. *Монохроматическое излучение* (от греч. *mónos* – один и *chróma* (род. падеж *chromatos*) – цвет) – электромагнитное излучение одной определенной и строго постоянной частоты. Например, белый цвет –

яркий, тогда как серый считается менее ярким вариантом белого цвета. Другими словами белый и серый цвета отличаются друг от друга только по яркости. Пространство цветов *CIE*

XYZ было сознательно создано таким образом, что параметр Y является мерой яркости или свечения для каждого цвета. Положение цвета излучения ЭЛУ определяется координатами в пространстве CIE. Кроме того, необходимым является указание температуры излучения.

4. *Цветовая температура* – это характеристика видимого света, которая определяется сравнением монохроматичности его излучения с излучением нагретого абсолютно черного тела. На рис. 2-8 в цветовом пространстве CIE показано излучение абсолютно черного тела, нагретого до определенных температур.

5. *Индекс цветопередачи (Color Reflection Index, CRI)* – показывает воспроизводимость передачи цвета для источников света по отношению к стандартным цветам.

Измерение этой характеристики представляет собой сравнение отражений от 8 или 14 панелей при излучении исследуемого источника по сравнению с лампой накаливания; шкала $0 < CRI < 100$. В случае монохроматического источника излучения $CRI = 0$, в случае источника с широкой полосой излучения $CRI = 100$. Например, для газоразрядной натриевой лампы $CRI = 0$, тогда как для лампы накаливания эта величина равна 100.

6. *Внутренняя квантовая эффективность ЭЛУ (η_{int})* – это отношение числа образующихся фотонов к общему числу инжектированных зарядов, которые объединяются с образованием экситонов. Эта характеристика имеет отношение к квантовому выходу фотолюминесценции (Φ_{PL}) и доле электрон-дырочных пар, которые рекомбинируют для того, чтобы заселить излучающие возбужденные уровни молекул:

$$\Phi_{PL} = \gamma \times \eta_{int} \quad (2-25)$$

7. Не все фотоны, образующиеся в ЭЛУ, выходят из него (рис. 2-9), поэтому лучшей характеристикой эффективности излучения является *внешняя квантовая эффективность* (Φ_{ext}), которая определяется как отношение числа “полезных” фотонов к числу электронов, инжектированных в структуру ЭЛУ.

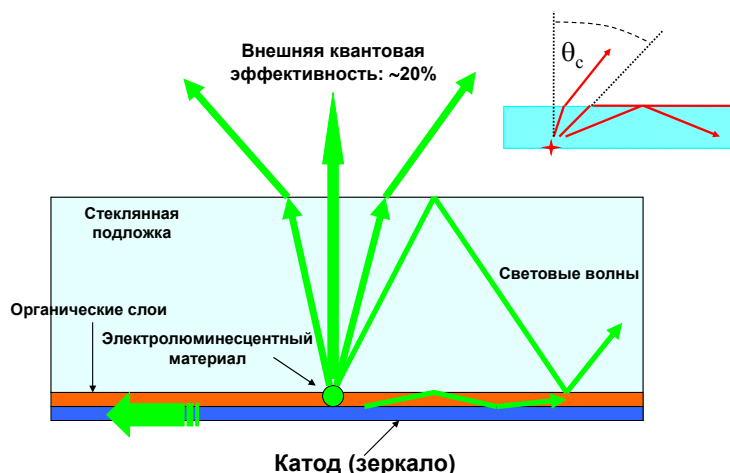


Рис. 2-9. Внешняя квантовая эффективность ЭЛУ.

В ЭЛУ обычно более 80 % света не излучается во внешнюю среду, и величина Φ_{ext} достигает лишь 20 %.

Рассмотрим, как можно определить значения внешней квантовой эффективности ЭЛУ и ее соотношение с другими характеристиками излучения. Для ЭЛУ, в которых эмиссионный слой представляет собой слой полимера с включенными молекулами электролюминесцентного материала, значения Φ_{ext} соотносятся с величинами η_{int} следующим образом:

$$\eta_{int} = 2n^2\Phi_{ext}, \quad (2-26)$$

где n – показатель преломления молекул “хозяина” (полимера). Внешняя квантовая эффективность ЭЛУ может быть непосредственно определена с помощью интеграционной сферы или при определении потока света, излучаемого ЭЛУ в прямом направлении, на единицу телесного угла согласно уравнению:

$$\Phi_{ext} = \pi \times L_0 \times e, \quad (2-27)$$

где e – заряд электрона ($1.60219 \cdot 10^{-19}$ Кл).

Внешняя квантовая эффективность может быть также определена с помощью интегральной функции распределения фотонов $\int ph(\lambda)d\lambda$, полученной при измерении потока излучения от ЭЛУ с помощью интеграционной сферы при определенной плотности тока, по формуле:

$$\Phi_{ext} = \frac{\int ph(\lambda)d\lambda}{J/e}. \quad (2-28)$$

Повысить внешнюю квантовую эффективность ЭЛУ можно при нанесении на поверхность стекла покрытия специальной, особой морфологии, которое повышает количество излучающихся вовне фотонов. На рис. 2-10 приведено схематическое изображение такой структуры.

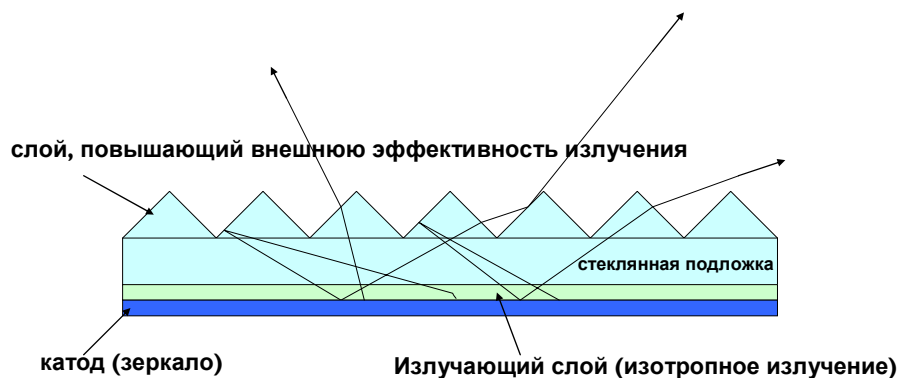


Рис. 2-10. Схема хода световых лучей в ЭЛУ с покрытием специальной морфологии.

За счет усреднения вероятности излучения света по всем направлениям в такой структуре возможно увеличение внешней квантовой эффективности до 80%. Примеры таких отражающих покрытий приведены на рис. 2-11.

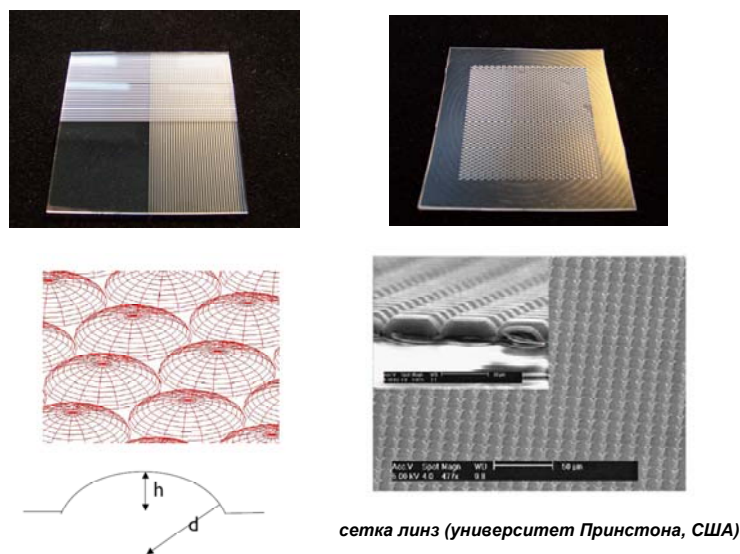


Рис. 2-11. Примеры покрытий, использующихся для повышения внешней квантовой эффективности ЭЛУ (пирамиды, линзы).

8. *Начальное напряжение* – это напряжение, при котором яркость устройства достигает $1 \text{ Кд} \cdot \text{м}^{-2}$.

Следует отметить такую характеристику ЭЛУ как его *время жизни (или срок службы)* – это время, в течение которого ЭЛУ работает без изменения характеристик.

В табл. 2-3 приведены характеристики различных источников излучения.

Таблица 2-3.

Технические характеристики различных источников излучения на основе ЭЛУ¹.

Характеристика	“Белый” свет	Телевизор/экран	Маленький экран
Эффективность излучения [Лм·Вт ⁻¹]	160	16	5
Начальное напряжение [В]	2.8	2.5	—
Время жизни [ч]	35000–50000	50000	10000–15000
Яркость [Кд·м ⁻²]	1000	500	120–150
Плотность тока [А·см ⁻²]	150	$\geq 3 \times 10^{-3}$	—
КПД по току [Кд·А ⁻¹]	—	0.5–3	0.5–3

¹ март 2007 г., обновления см. на сайте: www.doe.gov/ssl

5. Достоинства и недостатки ЭЛУ. Сравнение с традиционными источниками излучения.

Как уже отмечено выше, ЭЛ материалы найдены среди неорганических, органических и металлоорганических координационных соединений. За последние сорок лет интенсивных исследований в этой области удалось достичь значительного успеха в создании ЭЛ материалов и устройств. Динамику прогресса отражает диаграмма, показанная на рис. 2-12.

Рассмотрим наиболее традиционные источники излучения и их основные характеристики.

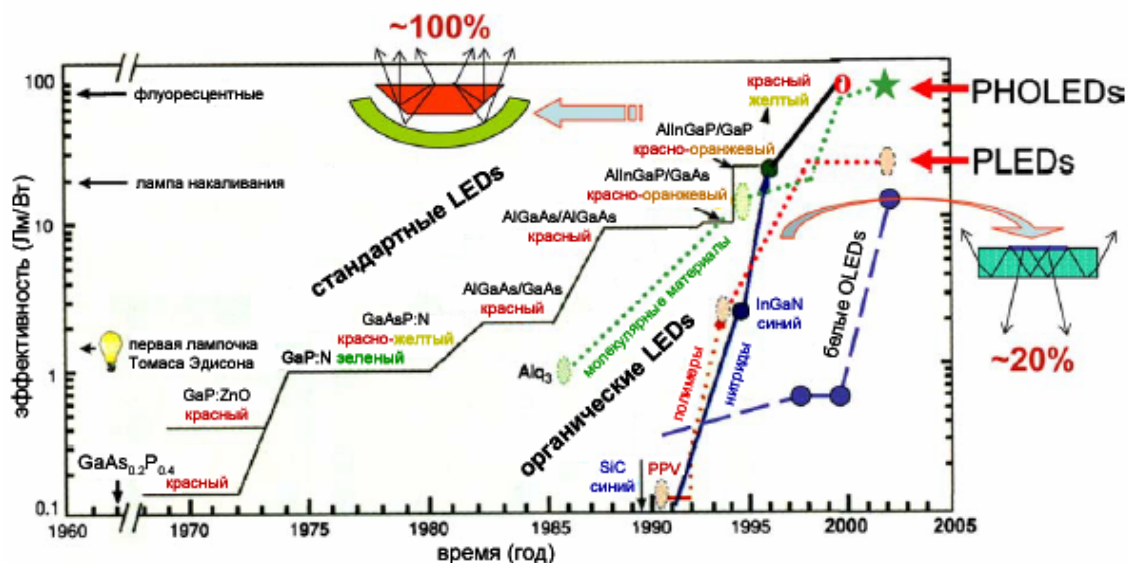
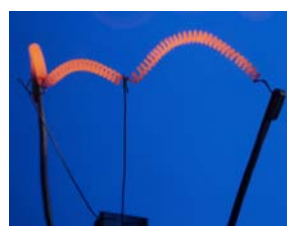


Рис. 2-12. Развитие ЭЛ материалов и технологий создания излучающих устройств на их основе.

1. Лампа накаливания – осветительный прибор, искусственный источник света. Свет испускается нагретой металлической спиралью при протекании через нее электрического тока (рис. 2-13).



а



б

Рис. 2-13. (а) Лампа накаливания и (б) ее двойная спираль.

Световая отдача современных ламп накаливания $10\text{--}35 \text{ Лм}\cdot\text{Вт}^{-1}$, срок службы (время жизни) в среднем ~ 1000 часов. С увеличением температуры происходит увеличение интенсивности излучения такой лампы. Однако, это приводит к испарению вольфрама с поверхности двойной спирали, что, в свою очередь, увеличивает сопротивление и лампа сгорает из-за сильного разогрева (рис. 2-13б). Так, при температуре 2800 К срок службы лампы накаливания составляет 1000 часов, при 3200 К – уже 100 часов, а при 3400 К – 5

часов. Наполнение вакуумного пространства лампы различными инертными газами, такими как аргон, криптон или азот, уменьшает испарение вольфрама и увеличивает время работы лампы.

2. *Галогеновые лампы.* Добавление в буферный газ ламп накаливания галогенов – брома или йода, повышает время жизни лампы до 2000–4000 часов. Такие лампы называют галогеновыми (рис. 2-14).



Рис. 2-14. Галогеновая лампа.

Рабочая температура галогеновой лампы составляет ~ 3000 К, а ее эффективность достигает $28 \text{ Лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$. Йод (совместно с остаточным кислородом) вступает во взаимодействие с атомами вольфрама. Этот процесс является обратимым, при высоких температурах соединение распадается на составляющие вещества. Атомы вольфрама высвобождаются либо на самой спирали, либо

вблизи нее, что увеличивает срок службы лампы. Добавление галогенов приводит к батохромному сдвигу максимума излучения галогеновой лампы по сравнению с лампой накаливания.

3. *Люминесцентная лампа* – газоразрядный источник света, световой поток которого



Рис. 2-15. Различные виды люминесцентных ламп.

определяется, в основном, свечением люминофоров под воздействием ультрафиолетового излучения разряда, видимое свечение разряда не превышает нескольких процентов. Люминесцентные лампы (рис. 2-15) широко применяются для общего освещения, при этом их световая отдача и срок службы в несколько раз больше, чем у лампы накаливания того же назначения. Наиболее распространенной

разновидностью подобных источников света является ртутная люминесцентная лампа (рис. 2-16). Она представляет собой стеклянную трубку, заполненную парами ртути с нанесенным на внутреннюю поверхность слоем люминофора. Принцип работы ртутной лампы заключается в следующем. Между двумя электродами, находящимися в противоположных концах лампы, возникает электрический разряд. Лампа заполнена парами ртути, и проходящий ток приводит к появлению УФ излучения. Это излучение невидимо для человеческого глаза, поэтому его преобразуют в видимый свет с помощью явления

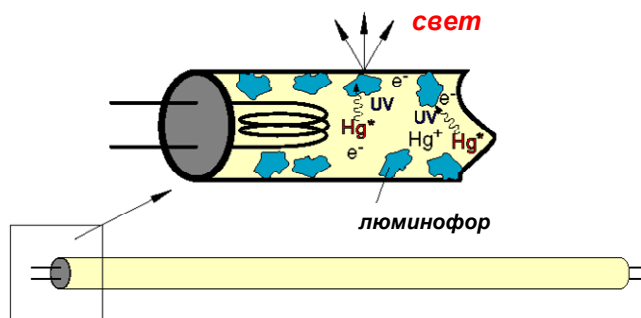


Рис. 2-16. Принцип действия ртутной лампы.

люминесценции. Внутренние стенки лампы покрыты веществом – люминофором, которое поглощает УФ излучение и выделяет видимый свет. Изменяя состав люминофора можно изменить оттенок получаемого света. В качестве люминофора обычно применяются неорганические соединения, например, галофосфат

кальция, допированный сурьмой и марганцем.

Главным достоинством люминесцентных ламп по сравнению с лампами накаливания является высокая светоотдача (люминесцентная лампа в 23 Вт дает освещенность как лампа накаливания 100 Вт) и длительной срок службы (6000–20000 часов против 1000 часов). Это позволяет люминесцентным лампам экономить значительные средства, несмотря на более высокую начальную цену.

Выше мы рассмотрели лишь некоторые наиболее широко используемые примеры источников излучения. Кроме того, известно использование светодиодов, неоновой и ксеноновой ламп, а также ламп черного цвета.

4. ЭЛУ также могут быть использованы как источники “белого света” для освещения помещений (рис. 2-17).



Рис. 2-17. Источники “белого света” на основе ЭЛУ.

Мы не будем здесь подробно останавливаться на технологии их создания. Наиболее эффективный коммерчески используемый источник “белого света”, созданный на основе ЭЛУ технологии, обладает следующими характеристиками: выход по энергии – $45 \text{ Лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$ при яркости $1000 \text{ Кд} \cdot \text{м}^{-2}$. Таких характеристик удалось добиться за счет уменьшения рабочего напряжения и увеличения внешнего квантового выхода люминесценции

устройства с 20 до 40% при нанесении на стекло отражающего покрытия.

В настоящее время ОЭЛУ в основном применяется для создания различных дисплеев. Место технологии ОЭЛУ среди других известных технологий создания дисплеев отражено в табл. 2-4.

Таблица 2-4.

Сравнение различных технологий создания экранов.

<i>Технология создания</i>	<i>Тип экрана</i>	<i>Наибольший размер диагонали экрана</i>		<i>Наиболее часто используется</i>	<i>Возможность использования в ярко освещенной комнате</i>
		<i>дюйм</i>	<i>см</i>		
Фронтальный проектор <i>Эдиофор</i>	плоский	ограничение только по яркости		телевизор	нет
Электронно-лучевая трубка (теневая решетка)	Сферическая кривая или плоский	40	102	Монитор компьютера, телевизор	Да
Электронно-лучевая трубка (апертурная решетка)	Сферическая кривая или плоский	40	102	Монитор компьютера, телевизор	Да
Кинескоп <i>Характрон</i>	Сферическая кривая	24	60	Монитор компьютера, радиолокационная индикация	нет
Электронно-лучевая трубка (автономная обратная проекция)	Плоский (двояковыпуклый)	73	185	телевизор	да
Электронно-лучевая трубка (фронтальная проекция)	Плоский	ограничение только по яркости		Телевизор или проектор	нет
Плазменная панель	плоский	103	262	телевизор	Да
Жидкокристаллический монитор (кинескоп)	Плоский	108	274	Монитор компьютера, телевизор	Да
Жидкокристаллический монитор (автономная обратная проекция)	Плоский (двояковыпуклый)	70	178	Телевизор	Да
Жидкокристаллический монитор (фронтальная проекция)	Плоский	ограничение только по яркости		Телевизор или проектор	Да

Таблица 2-4 (продолжение).

Сравнение различных технологий создания экранов.

DLP проектор (автономная обратная проекция)	Плоский (двояковыпуклый)	120	305	Телевизор	Да
DLP проектор (фронтальная проекция)	Плоский	ограничение только по яркости		Телевизор или проектор	Да
Жидкие кристаллы на кремнии D-ILA (автономная обратная проекция)	Плоский	110	279	Телевизор	Да
Жидкие кристаллы на кремнии LCoS (автономная обратная проекция)	Плоский	110	279	Телевизор	Да
Жидкие кристаллы на кремнии LCoS (фронтальная проекция)	Плоский	ограничение только по яркости		Телевизор или проектор	Да
Электрон-излучающий монитор на проводящей поверхности	Плоский	55	140	Монитор компьютера, телевизор	Да
Дисплей на основе автоэлектронной эмиссии	Плоский	–	–	Монитор компьютера, телевизор	Да
Электрофоретический индикатор	Плоский (гибкий)	–	–	Электронная бумага	Да
ОЭЛУ	Плоский	40	102	Монитор компьютера, телевизор	Да
Дисплей модулирующий интерференцию	плоский	–	–	Мобильный телефон	Да
Дисплей сканирующий сетчатку	любой	неизвестно		Экспериментальная разработка, виртуальная реальность	В зависимости от системы

Основными преимуществами использования технологии ОЭЛУ являются:

- 1) возможность получения ярких экранов с высокой контрастностью изображения;
- 2) большой угол обзора (до 180°);
- 3) широкий температурный интервал устойчивости устройств (от -20 до $+100^\circ\text{C}$);
- 4) возможность создания полноцветных экранов;
- 5) возможность создания гибких экранов;
- 6) очень тонкие, легкие, компактные дисплеи;
- 7) низкая стоимость производства.

На основе технологии ОЭЛУ уже созданы дисплеи в широком диапазоне цветов, обладающие следующими техническими характеристиками:

- 1) яркость: $>100000 \text{ Кд/м}^2$;
- 2) контраст: $>1:1000$;
- 3) широкий угол обзора: $>170^\circ$;
- 4) высокая эффективность ЭЛ: $>20 \text{ Лм/Вт}$;
- 5) низкое рабочее напряжение: $<5\text{В}$;
- 6) маленькое время отклика: $<1\text{мсек}$;
- 7) время жизни (при яркости 100 Кд/м^2): $>10000 \text{ ч}$.

6. Применение ЭЛУ.

Источники излучения, созданные на основе ОЭЛУ технологии, в настоящее время уже широко применяются в различных устройствах. Так, например, это дисплеи цифровых плееров (рис. 2-18а), автомагнитол (рис. 2-18б), цифровых видеокамер (рис. 2-18в) и микро дисплеи высокого разрешения в шлемах виртуальной реальности (рис. 2-18г).

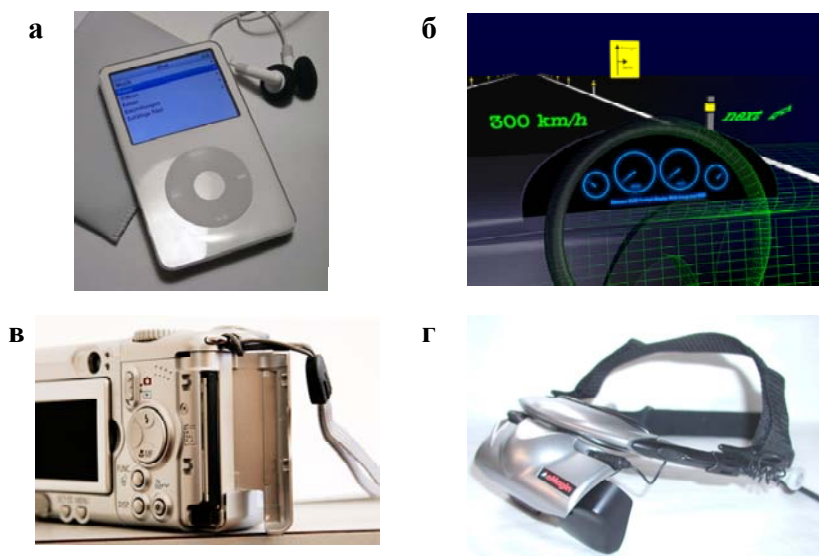


Рис. 2-18. ОЭЛУ дисплеи различных устройств.

Такие портативные применения хороши благодаря высокой яркости ОЭЛУ экранов (они остаются такими даже при освещении солнечным светом) и их низкому энергопотреблению.

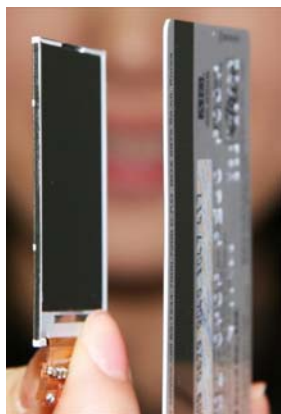


Рис. 2-19. Дисплей мобильного телефона, созданного по технологии ОЭЛУ.

На основе этой технологии созданы экраны дисплеев сотовых телефонов. Например, компании LG и Phillips сделали самый тонкий дисплей для мобильных телефонов. Его толщина составляет всего 1.3 мм, что на 32% меньше, чем для любого известного к настоящему моменту дисплея, работающего на основе технологии тонкопленочных транзисторов (TFT) и на 0.2 мм тоньше, чем самый тонкий ОЭЛУ дисплей, который был выпущен ранее (рис. 2-19). В настоящее время компании Motorola, Samsung, SonyEricsson, Nokia и ряд других производят различные модели мобильных телефонов с ОЭЛУ экранами.

Уже сейчас выпущены телевизионные панели, использующие ОЭЛУ технологию. Компания Epson выпустила монитор с панелью в 40 дюймов и разрешением 1280×768 пикселей, Philips создала монитор с диагональю 20.1 дюйм и разрешением 2048×1536, а Samsung с диагональю 21 дюйм и разрешением 1920×1200 пикселей (рис. 2-20).



Телевизор **EPSON**



Телевизор **PHILIPS**



Телевизор **SAMSUNG**

Рис. 2-20. Телевизионные панели, созданные по технологии ОЭЛУ.

А совсем недавно, в январе 2007 года, компания SONY представила 11 и 27 дюймовые телевизионные панели (<http://www.nanometer.ru/2007/05/12/oled.html>), производство которых начнется уже в декабре этого года (рис. 2-21).



Рис. 2-21. Телевизионные панели, созданные компанией SONY по технологии ОЭЛУ.

Кроме того, известно о создании прототипов гибких дисплеев (см. http://www.nanometer.ru/2007/07/30/flexible_display_3875.html). Компания SONY представила первый в мире гибкий ОЭЛУ дисплей, способный отображать 16.7 миллионов цветов и имеет разрешение 160×120 точек. Он представляет собой пластиковую пленку толщиной всего 0.3 мм (рис. 2-22).



Рис. 2-22. Прототип гибкого дисплея, созданного на основе технологии ОЭЛУ (SONY).

Таким образом, ОЭЛУ технология уже широко используется в различных устройствах и совершенствуется с каждым днем; кроме того, ведутся разработки новых, более эффективных материалов, входящих в структуру ОЭЛУ, и можно надеяться, что в ближайшем будущем они еще удивят нас своими неожиданными применениями.

Задания для самостоятельной работы

1. Опишите технологию производства ОЭЛУ.
2. Какие существуют способы измерения абсолютного квантового выхода люминесценции?
3. Каковы основные принципы создания источников “белого света” на основе ОЭЛУ технологии?

4. Сравните характеристики и принципы работы светодиодов, неоновой и ксеноновой ламп с источниками излучения, созданными на основе ОЭЛУ.

Рекомендуемая литература

- [1] K.Müllen, U. Scherf “*Organic Light Emitting Devices: Synthesis, Properties and application*” // **2006**, Wiley-VCH. 410 p.
- [2] Ana de Bettencourt-Dias “*Lanthanide-based emitting materials in light-emitting diodes*” // Dalton Trans. **22** (2007) 2229–2241
- [3] http://www.oled-info.com/tags/lifetime_0
- [4] http://www.cie.co.at/index_ie.html
- [5] http://www.eere.energy.gov/features/dept_energy.html
- [6] <http://www.netl.doe.gov/ssl/>
- [7] http://www.youtube.com/results?search_query=OLED/
- [8] <http://www.sid.org/>
- [9] <http://www.oled.info/>
- [10] <http://www.oled-display.info/>
- [11] <http://www.oledesigncontest.com/>

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные технические характеристики источников излучения.
2. В чем отличие понятий эффективности использования энергии и эффективности излучения? Как они связаны друг с другом?
3. Назовите основные категории фотометрических единиц.
4. Дайте определение яркости и освещенности.
5. Что такое люмен? Кандела?
6. Какие основные цвета воспринимает глаз человека?
7. Что такое *CIE*?
8. В чем различие между внутренней и внешней квантовой эффективностью ЭЛУ?
9. Как можно увеличить величину внешней квантовой эффективности?
10. Сформулируйте основные достоинства технологии ОЭЛУ? Назовите наиболее значимый на ваш взгляд недостаток этой технологии?
11. Перечислите наиболее традиционные источники излучения и опишите принципы их работы.
12. В каких устройствах применяется технология ОЭЛУ?