

Глава 1

Человек и компьютер

1.1. Человек

Когда мы говорим о человеке в плане его взаимодействия с компьютером, то, прежде всего, нужно отметить, что люди ограничены в своих способностях обрабатывать информацию. Это влечёт важные следствия для дизайна интерфейсов человеко-машинного взаимодействия. Информация принимается человеком и его реакции проявляются через различные каналы ввода-вывода, среди которых можно выделить визуальный канал, слуховой, осязательный и двигательный (моторный). Информация хранится в памяти, причём различается сенсорная память, краткосрочная (рабочая) память и долговременная память. Информация обрабатывается и формируется посредством умозаключений, решения задач, приобретения навыков и совершения ошибок. На человеческие способности влияют эмоции. Пользователи обладают общими способностями, но индивидуальны и имеют отличия, которые не должны игнорироваться. Теперь рассмотрим наиболее важные моменты более подробно.

Зрение

Зрение имеет две стадии: физическое восприятие стимула (воздействия) и обработка (интерпретация) стимула. Физическое восприятие осуществляется посредством глаза. Глаз может рассматриваться как механизм, принимающий свет и преобразующий его в электрическую энергию. Видимый свет отражается от объектов. Изображения фокусируются в перевернутом виде на сетчатке глаза. Сетчатка содержит палочки для видения при слабом свете и колбочки для цветного зрения. Кроме того, клетки ганглия в мозгу выявляют характерные шаблоны и движение. В интерпретации сигнала можно выделить несколько аспектов.

Во-первых, это размер и глубина. При восприятии человеком размера и глубины важны такие параметры, как визуальный угол (он показывает, как много места занимает объект в поле зрения и зависит от размера и расстояния от объекта до глаза) и острота зрения (способность воспринимать детали). Для человеческого восприятия характерно то, что знакомые объекты воспринимаются как имеющие постоянный размер (независимо от изменений визуального угла при достаточном отдалении), причём иллюзии, такие как наложение, помогают восприятию размера и глубины.

Во-вторых, это яркость, т.е. субъективная реакция на уровень света, излучаемого объектом; острота зрения увеличивается с ростом освещенности, также этому способствует и мерцание.

В-третьих, это цвет. Он создается из тона, интенсивности и насыщенности. Колбочки чувствительны к длине волны и индивидуально реагируют на красный, зелёный и синий цвета (RGB-система цветности). Известно, что наименьшая чувствительность

проявляется к синему цвету. Нужно также помнить о том, что примерно 8 % мужчин и 1% женщин не различают цветов (являются дальтониками).

Зрительная система компенсирует реакции при движении и изменении освещенности. Для разрешения двусмысленности используется контекст. Благодаря компенсации иногда возникают оптические иллюзии. Два примера оптических иллюзий приведены на рис. 1.1. Верхний прямоугольник кажется больше нижнего (на самом деле они одинаковы), точно также верхний отрезок кажется длиннее нижнего.



Рис. 1.1. Оптические иллюзии.

Чтение

Чтение содержит несколько стадий: вначале воспринимается визуальный шаблон (модель), затем он декодируется с использованием внутреннего представления в языке, наконец, интерпретируется на основе знания синтаксиса, семантики и прагматики. При чтении задействуются как быстрое скачкообразное движение глаз, так и фиксация. Для распознавания важно очертание слова. Отрицательный контраст (черные буквы на светлом фоне) улучшает чтение с компьютерного экрана.

Слух

Слух даёт информацию о среде: расстояния, направления, объекты и т.д. Физическим аппаратом слуха являются внешнее ухо (защищает внутренне и усиливает звук), среднее ухо (передает звуковые волны с помощью вибраций к внутреннему уху) и внутренне ухо (высвобождает химические передатчики и вызывает импульсы в слуховой нерв). Звук характеризуется высотой (частота звука), громкостью (амплитуда) и тембром (тип или качество). Человек может слышать частоты от 20 Гц до 15 (некоторые – до 20) кГц, причем более высокие частоты различаются человеком с меньшей точностью. Слуховая система фильтрует звуки, что позволяет прислушиваться к звукам в окружающем шуме.

Осязание

Осязание обеспечивает важную обратную связь с окружающей средой. Оно может быть ключевым чувством для людей с плохим зрением. Стимулы принимаются рецепторами на коже: терморецепторы (тепло и холод), ноцицепторы (боль), механорецепторы (давление мгновенное и продолжительное). Некоторые области (например, пальцы) более

чувствительны, чем другие. Кинетезис – ощущение положения тела. Действует на ощущение комфорта и производительность.

Движение

Время, требующееся для ответа на стимул, состоит из времени реакции и времени движения. Время движения зависит от возраста, физической формы и др. Время реакции зависит от типа стимула: для визуального стимула оно составляет примерно 200 мс, для слухового – 150 мс, для болевого – 700 мс. Улучшение времени реакции приводит к ухудшению точности для нетренированного оператора, но не для специально обученного. Закон Фиттса описывает время T , требуемое для попадания в цель на экране:

$$T = a + b \log_2(D/S + 1),$$

где a и b – константы, определяемые опытным путем, D – расстояние, S – размер цели. Из закона Фиттса следует, что для минимизации времени цели должны быть насколько можно большими, а расстояние – как можно меньшим.

Память

Сенсорная память хранит стимулы, полученные с помощью органов чувств. В результате человек может помнить изображения, звуки (музыку), тактильные ощущения и т.д. Эта память постоянно перезаписывается.

Краткосрочная память (КСП) является как бы записной книжкой для временного запоминания. Она характеризуется быстрым доступом (~ 70 мс), быстрым затуханием (~ 200 мс) и ограниченной ёмкостью (5–9 элементов). Например, попытайтесь запомнить следующие цепочки символов:

212348278493202

0121 414 2626

НЕС ATR ANU РТН ETR EET

Первое длинное число запомнить трудно, короткие числа и сочетания букв запоминаются легче. По мере запоминания новых элементов старые обычно забываются.

Долговременная память (ДВП) является хранилищем всех наших знаний. Она характеризуется медленным доступом (~ 120 мс), медленным или несуществующим угасанием, огромной или даже неограниченной ёмкостью. Различаются два типа ДВП: эпизодическая (последовательная память событий) и семантическая (структурированная память о фактах, концепциях, навыках и т.д.). Семантическая ДВП берёт свое начало в эпизодической ДВП. Структура семантической памяти обеспечивает доступ к информации, представляет взаимосвязи между единицами информации, поддерживает способность суждения (вывода). Одна из моделей этой памяти – семантическая сеть. Эта модель отражает наследование (дочерние узлы наследуют свойства родительских), явные отношения между частями информации, поддерживает способность производства вывода через наследование. Пример семантической сети приведён на рис. 1.2.

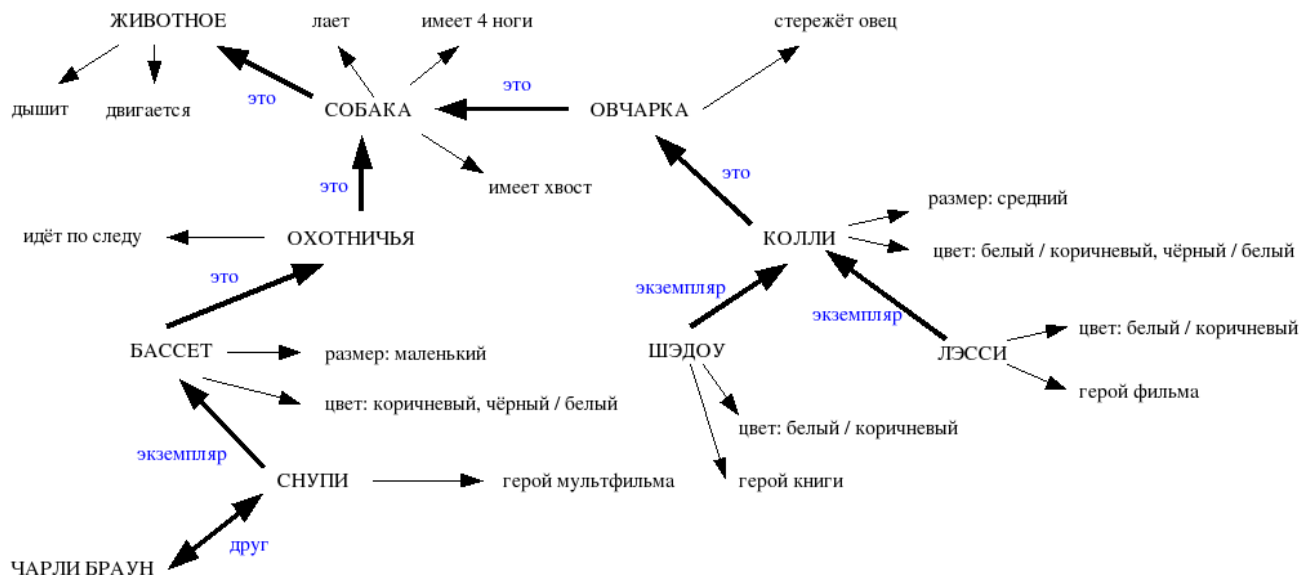


Рис. 1.2. Семантическая сеть.

Пример вывода: "Лэсси имеет 4 ноги и лает" следует из того, что Лэсси является собакой (овчаркой породы Колли), а собака лает и имеет 4 ноги.

Другая модель – фреймовая. В этой модели информация организуется в структуры (записи). Слоты в структурах заполняются значениями экземпляров данных. Структуры отражают отношения тип–подтип.

Struct СОБАКА		Struct КОЛЛИ	
Fixed	Ноги: 4	Fixed	Наследует от: СОБАКА Тип: овчарка
Default	Диета: плотоядная Звук: лай	Default	Размер: 65 см
Variable	Размер: Цвет:	Variable	Цвет:

В качестве важнейшего способа сохранения информации в ДВП выступает заучивание. Во время заучивания информация переносится из КСП в ДВП. Существует гипотеза "полного времени": количество информации, остающейся в ДВП, пропорционально времени (продолжительности) заучивания. Сохранению информации в ДВП также помогает эффект "распределения практики": сохранение оптимизируется путем распределения обучения во времени. Кроме того, имеет значение структура, значение и "знакомость" информации: эту информацию легче запомнить.

Важно иметь в виду особенности забывания информации в ДВП. Для ДВП (как и КСП) характерно угасание: информация теряется постепенно и очень медленно. Действует также эффект вмешательства (интерференция): новая информация замещает старую (ретроактивная интерференция) или старая информация перемешивается с новой

(проактивная интерференция). Человек не может забыть информацию волевым усилием. Но волевое усилие иногда помогает вспомнить информацию.

Можно выделить два способа получения информации из ДВП: воспоминание (воспроизведение информации из памяти может упрощаться с помощью аллюзии (намёка), например, категории, образа) и узнавание (информация даёт знание того, что было запомнено ранее). Узнавание менее сложно, чем воспоминание – здесь сама информация является ключом.

Умозаключение

Различаются три способа выработки умозаключения: дедукция, индукция и абдукция.

Дедукция выводит логически необходимое заключение из заданных допущений. Например, (1) по пятницам она работает; (2) сегодня пятница; значит, сегодня она работает. Дедуктивный метод мышления необязательно приводит к правильным заключениям: всё зависит от истинности начальных допущений. Например, (1) когда идёт дождь, дорога сухая; (2) сейчас идёт дождь; значит, сейчас дорога сухая.

Индукция обобщает случаи известные на случаи неизвестные. Например, все слоны, которых мы видели, имеют хоботы; следовательно, вообще все слоны имеют хоботы. Этот способ мышления очень полезен для человека, но он ненадёжен. В действительности, индуктивно можно строго доказать лишь негативные утверждения: мы видели слона с хоботом, следовательно, утверждение о том, что слоны не имеют хоботов, неверно.

Абдукция означает суждение о причине по следствию. Например, апельсины оранжевые; я вижу оранжевый плод; наверное, это апельсин. Такие суждения также свойственны человеку, но ясно, что они могут приводить к ложным заключениям.

Решение задач

Решение задач – это процесс нахождения решения ранее неизвестной задачи с использованием знаний. Мы не будем рассматривать модели и теории, описывающие решение человеком сложных задач. Известно, что здесь играет роль такая трудно формализуемая и не до конца понятная науке вещь, как интуиция или озарение. Для построения человеко-машинного взаимодействия чаще важны следующие методы решения задач человеком

- *Решение по аналогии.* При возникновении новой задачи человек использует знания похожей задачи в той же или близкой области. Решение по аналогии затрудняется, если новая и известная задачи принадлежат семантически различным областям.
- *Решение за счёт приобретения навыков.* Если человек долго тренируется в решении задач, он начинает решать многие новые задачи более успешно и быстро. Считается, что ключевым моментом здесь служит приобретение способности разбивать задачу на элементы, что оптимизирует использование КСП.

В своих действиях человек нередко совершает ошибки. Важно различать два типа ошибок. Первый тип скорее можно назвать упущениями: эти ошибки возникают, когда имеется правильное намерение, но результат не верен в силу, например, плохих

физических навыков или невнимательности. Второй тип ошибок возникает, если само намерение было не верным. Это обычно связано с неправильным пониманием.

Другой вещью, воздействующей на способность человека решать задачи, являются эмоции. Мы можем разделить их на положительные и отрицательные. Известно, что положительные эмоции способствуют творческому мышлению, а отрицательные губят его, делают мышление более узким. Вот несколько следствий, учитывающихся при разработке интерфейсов:

- Стресс увеличивает трудность решения задачи.
- Спокойные пользователи более благосклонно относятся к огрехам дизайна интерфейса.
- Эстетически приятный и полезный интерфейс вызывает положительные эмоции.

При разработке интерфейсов следует учитывать то, что люди индивидуально различны. Можно выделить долговременные различия (пол, физические и интеллектуальные способности), кратковременные (эффект стресса или усталость) и меняющиеся (возраст). Разработчик интерфейса может спросить себя: будет ли его дизайн исключать часть популяции пользователей?

Из всего сказанного о человеке следует сделать вывод о том, что физиологические и психологические его особенности обязательно должны учитываться при разработке интерфейсов компьютерных систем. Некоторые факты приводят к прямым приложениям. Например, низкая острота зрения в области синего цвета приводит к следующему требованию: синий цвет не должен использоваться для важных деталей интерфейса. Но вообще же, корректное приложение требует понимания психологического контекста и конкретных условий работы.

1.2. Компьютер

В этом разделе мы не будем изучать полное устройство компьютера, а рассмотрим только те его части или устройства, которые непосредственно используются для взаимодействия с человеком. Выделим следующие группы устройств:

Устройства ввода (ввод текста, рисование, выбор объектов на экране)

- Ввод текста: компьютерная клавиатура, телефонная клавиатура, речевой ввод, рукописный ввод.
- Указание: мышь, сенсорная панель, перо.
- 3D устройства.

Дисплеи:

- Компьютерные дисплеи
- Большие дисплеи
- Маленькие (специализированные) дисплеи
- Сенсорные экраны

Системы ввода-вывода в виртуальной реальности и играх: джойстики, рули, шлемы и т.д.

Бумажный ввод-вывод

- Принтеры
- Сканеры
- Распознавание текста

Устройства ввода-вывода физических параметров

- Сенсоры
- Элементы управления
- Звук, запах и устройства тактильного воздействия

Некоторые из перечисленных устройств, такие как клавиатура и мышь, настолько хорошо знакомы всем пользователям и программистам, что нет нужды описывать их подробно. С другой стороны, такие устройства, как сенсоры и различные органы управления настолько экзотичны и специализированы в различных технологических системах, что их изучение также выходит за рамки нашего курса. Ввод и вывод запахов пока остаётся нерешённой технической проблемой.

Ниже мы дадим описание некоторых не столь широко известных устройств или их разновидностей, представляющих, однако, большой интерес с точки зрения построения интерфейсов человеко-машинного взаимодействия. Мы кратко опишем принципы действия этих устройств, т.к. их знание необходимо для понимания особенностей их применения и возможностей реализуемых функций интерфейса.

Клавиатура

Сегодня основная клавиатура в большинстве компьютеров – это кнопочная QWERTY-клавиатура. Такие клавиатуры занимают доминирующее положение на рынке. Не нужно долго рассказывать, как они работают и как ими пользоваться. Однако, отметим, что размещение символов по клавишам (keyboard layout) может быть различным. Так для английского языка более эффективно размещение, которое разработал американский психолог Дворак (рис. 2.1). Утверждается, что при работе с клавиатурой Дворака скорость ввода увеличивается на 10–15 % и уменьшается усталость. По оценкам американских исследователей, в течение 8-часового рабочего дня руки наборщика проходят 16 миль на клавиатуре QWERTY, и только 1 милю на клавиатуре Дворака.

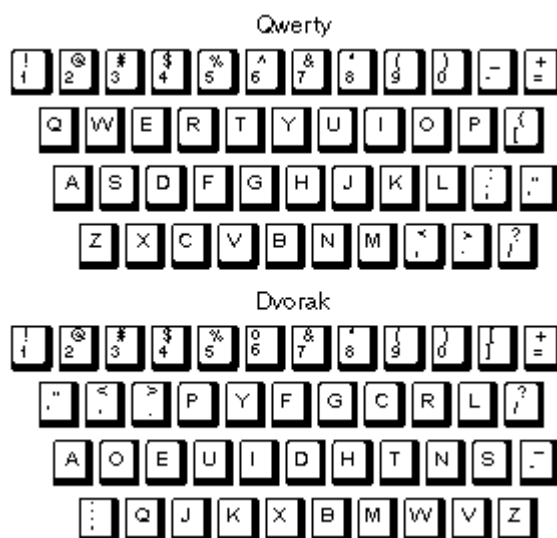


Рис 1.3. Разные клавиатурные раскладки.

Виртуальная клавиатура (рис. 1.4) – это клавиатура, создаваемая путем проецирования полноразмерного изображения клавиатуры на какую-либо поверхность. Устройство, кроме проецирующего лазера, также снабжено видеокамерой. Видеокамера считывает движения пальцев пользователя, по этим данным компьютер определяет необходимые

действия и генерируемые символы. С точки зрения пользователя прикосновение к изображению клавиши генерирует уникальный код, соответствующий изображению этой клавиши. Виртуальные клавиатуры оказываются незаменимыми для смартфонов и устройств PDA (коммуникаторов). Имеются также реализации музыкальных виртуальных клавиатур.



Рис. 1.4. Виртуальная клавиатура для устройства PDA.

Предлагается множество специальных клавиатур, предназначенных для управления различными техническими системами, работы в составе технологического оборудования или для людей с ограниченными возможностями. На рис. 1.5 приведен пример клавиатуры для набора только левой рукой.



Рис. 1.5. Клавиатура для левой руки.

Другим типом клавиатуры, с которым сегодня многие люди имеют дело, является телефонная клавиатура (рис. 1.6). Здесь за каждой клавишей закреплено несколько символов. Нужный символ выбирается путём многократного нажатия. Достаточно длинная пауза между нажатиями означает завершение ввода символа. Обычно отдельно задаётся текущий режим: цифры, буквы, специальные символы, язык ввода (детали меняются в зависимости от модели телефона). Например, чтобы набрать слово *computer* (в режиме ввода букв), необходима следующая последовательность нажатий:

222666 [пауза] 6788 [пауза] 833777.

Такой тип клавиатуры привел к появлению совершенно новой технологии ввода, называемой Predictive Text (предсказуемый текст). Рассмотрим основные идеи этой технологии на примере наиболее распространённого алгоритма T9.



Рис. 1.6. Клавиатура мобильного телефона.

Назначение алгоритма T9 – упростить печатание текстовых сообщений. Он позволяет вводить слова путём однократного нажатия для каждой буквы. Так, например, слово computer может быть введено последовательностью нажатий 26678837. В данном случае количество нажатий равно числу букв в слове, причем при наборе нет необходимости делать паузы.

Алгоритм объединяет группы букв, соответствующих каждой отдельной клавише, с быстродействующим словарём, хранимым в памяти телефона. В словаре отыскиваются все слова, соответствующие последовательности нажатий. Найденные слова упорядочиваются по частоте использования, и на экран выводится слово, стоящее первым в списке. Например, по мере нажатий на клавиши мы можем видеть на экране такую последовательность слов:

Нажатая клавиша	Слово на экране
2	a
6	an
6	ann
7	amos
8	boost
8	comput
3	compute
7	computer

Пользователь соглашается с предложенным словом путём нажатия клавиши ►. Иногда набранная последовательность соответствует нескольким возможным словам. Например, 4663 может означать good, gone, home, goof и т.д. (такие слова называются тайнонимами

(T9onums) и здесь они показаны по убыванию частоты встречаемости). С помощью предопределённой клавиши (например, *) пользователь может пролистать список и выбрать нужное слово. Алгоритм отслеживает частоту использования каждого слова. Если, например, мы часто используем слово home, то оно постепенно перейдёт в начало списка, и сразу будет предлагаться при наборе комбинации 4663. Словарь может расширяться за счёт добавления в него новых слов.

Другие возможности алгоритма T9 включают в себя «умную» пунктуацию, автозавершение слов, выбор первичного и вторичного языков. Некоторые реализации накапливают статистику по часто используемым парам слов и обеспечивают предсказание слов (например, если вы часто пишете «всего доброго», то после ввода слова «всего» алгоритм автоматически предложит слово «доброго» и вы можете принять этот вариант путём нажатия ►).

Сенсорные экраны

Сенсорные экраны – это по сути дела дисплеи (жидкокристаллические или иные) с наложенными на них прозрачными устройствами координатного ввода.

Базовый вариант сенсорного экрана (рис. 1.7) состоит из трех основных компонент: сенсорной панели, контроллера и программного обеспечения (драйвера). Сенсорный экран – это устройство ввода, поэтому он должен быть объединён с дисплеем и компьютером или другим устройством для получения завершённой системы сенсорного ввода.



Рис. 1.7 Сенсорная панель (1), контроллер (2) и дискеты с драйверами (3).

Сенсорная панель – это прозрачная стеклянная панель с поверхностью, чувствительной к прикосновению или нажатию. Она помещается поверх экрана дисплея так, что чувствительная зона панели покрывает область изображения экрана. Сегодня существует несколько технологий изготовления сенсорных панелей, различающихся методами выявления прикосновений. Как правило, через панель пропускается электрический ток или другой сигнал, и прикосновение приводит к изменению напряжения или сигнала. Это изменение используется, чтобы определить место (координаты) прикосновения.

Контроллер – это небольшое устройство, подключаемое к компьютеру, преобразующее данные от сенсорной панели в информацию, понятную компьютеру. Если сенсорная панель интегрирована с монитором, то контроллер обычно устанавливается внутри

корпуса монитора. Если же панель является добавочным устройством, то контроллер размещается в небольшом отдельном боксе. Большая часть контроллеров подключаются к компьютеру через последовательный интерфейс (COM-порт или USB).

Драйвер встраивается в операционную систему компьютера и позволяет компьютеру и сенсорной панели работать вместе. Драйвер говорит системе, как интерпретировать информацию о прикосновениях к панели. Большинство драйверов сегодня эмулируют поведение мыши. Это делает прикосновение к экрану подобным нажатию кнопки мыши в соответствующем месте экрана. Такой подход позволяет использовать существующее программное обеспечение, и новые приложения разрабатываются без какого-либо специфического программирования.

Резистивные сенсорные панели состоят из стеклянной или акриловой подложки, сверху которой находятся проводящий и резистивный слои, разделённые невидимыми разделительными точками (рис. 1.8). Когда к панели прикладывается давление, слои соединяются в точке, обеспечивая электрический ток в резистивном слое. Сначала напряжение к резистивному слою прикладывается вдоль оси X, напряжение, измеряемое в точке касания, пропорционально координате точки на оси. Затем напряжение прикладывается вдоль оси Y и аналогичным путём получается координата Y. Контроллер преобразует измеренные напряжения в численные значения координат и передаёт их в компьютер.



Рис. 1.8. Устройство резистивной сенсорной панели. Давление пальца вызывает электрический контакт между проводящим и резистивным слоем.

- 1 – Покрытие, защищающее от царапин
- 2 – Проводящий слой
- 3 – Разделители
- 4 – Резистивный слой
- 5 – Стекло
- 6 – Монитор

Преимущества резистивных панелей состоят в высокой разрешающей способности, возможности работать с любым типом пера, нечувствительности к пыли, грязи, воде и свету. Основной недостаток – прозрачность составляет только 75 %, поэтому необходима повышенная яркость дисплея. Кроме того, резистивный слой может быть испорчен острым предметом.

Резистивные и проводящие слои в сенсорных панелях делаются из вещества, называемого ИТО (Indium Tin Oxide), обладающего одновременно прозрачностью для видимого света и электрической проводимостью. ИТО представляет из себя твёрдый раствор оксида олова SnO_2 (10 %) в оксиде индия In_2O_3 .

Ёмкостные сенсорные панели используют тот факт, что кожа человека проводит электричество, а тело обладает электрической ёмкостью. Рассмотрим принцип действия ёмкостной панели на примере экрана смартфона iPhone (рис 1.9).

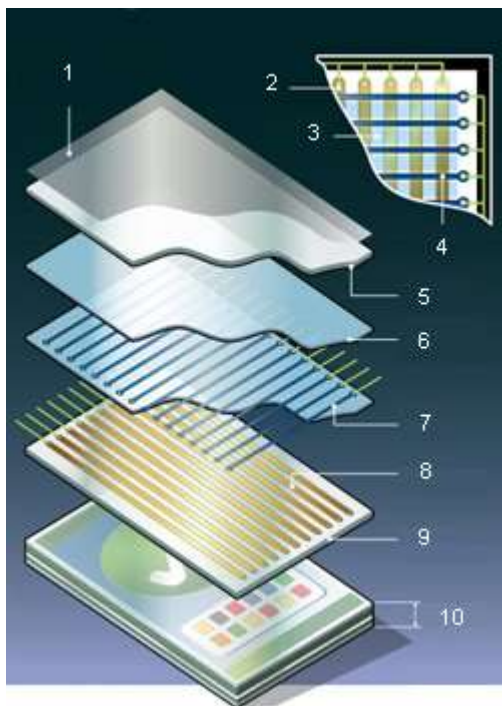


Рис 1.9. Устройство ёмкостного экрана в iPhone.

- 1 – Защитное антибликовое покрытие
- 2 – Считывающие линии
- 3 – Изолирующий материал
- 4 – Линии возбуждения
- 5 – Защитная крышка
- 6 – Соединительный слой
- 7 – Линии возбуждения
- 8 – Считывающие линии
- 9 – Стеклоподложка
- 10 – Жидкокристаллический дисплей

Когда пользователь прикладывает или лишь подносит палец близко к поверхности экрана, он изменяет электрическую ёмкость в точке касания. Контроллер возбуждает по очереди по одной линии возбуждения слабым переменным током и считывает сигналы одновременно со всех считывающих линий, измеряя тем самым ёмкости в соответствующих точках пересечения. За один цикл сканирования удаётся обнаружить место прикосновения. Путём программной обработки сигналов устраняются шумы и определяются координаты точки.

Эта технология легко обнаруживает несколько одновременных касаний в разных точках, что позволяет расширить возможности ввода. Например, если два пальца движутся по направлению друг к другу, это означает команду сжать что-то (уменьшить размер изображения); если два пальца расходятся, это означает команду расширить что-то (увеличить изображение).

Обратим внимание, что ёмкостной сенсорный экран требует прикосновения незащищённым пальцем. Если вы прикасаетесь к нему в перчатках или пытаетесь

использовать (непроводящее) перо, то ничего не получится. Это основной недостаток. Преимуществом же является высокая прозрачность и отсутствие необходимости делать осязаемое нажатие (достаточно только прикоснуться).

Другими активно применяемыми технологиями построения сенсорных панелей являются ультразвуковая (на поверхностных акустических волнах) и инфракрасная. Обе технологии основаны на создании на поверхности стекла некоторого акустического или светового поля. Палец пользователя или любой другой предмет поглощает соответственно звук или свет, и расположенные по краям панели приёмники улавливают изменение поля и определяют координаты воздействия. Эти панели не содержат никаких внутренних слоёв и поэтому чрезвычайно прочны и долговечны. Инфракрасные панели используются для больших дисплеев, таких как 42-дюймовые плазменные экраны.

Графический планшет

Графический планшет (graphics tablet) предназначен для ввода рукописной информации (текста и рисунков). Он представляет собой поверхность (рис. 1.10), на которой пользователь с помощью специальной ручки может писать и рисовать так же, как на бумаге, с той разницей, что результат передаётся в компьютер. Графический планшет подобен сенсорной панели, но отличие состоит в том, что он обеспечивает значительно более высокую точность, необходимую, например, для профессионального рисования. Чтобы получить более высокую точность, для построения планшетов используют иные технологии по сравнению с сенсорными панелями.



Рис. 1.10. Графический планшет с ручкой и мышью.

Одна из ведущих технологий (компания Wacom) использует явление электромагнитной индукции и может быть описана следующим образом. Под поверхностью планшета находится сетка из пересекающихся (но не замкнутых) горизонтальных и вертикальных проводников, которые работают как передающие и принимающие витки трансформатора. В корпусе ручки смонтирована пассивная LC-цепь (параллельно соединённые ёмкость и индуктивность), способная накапливать, а затем отдавать электрическую энергию. Планшет вначале генерирует электромагнитный сигнал, который принимается LC-цепью в ручке. Затем проводники планшета переключаются на приём и считывают сигнал, генерируемый ручкой. Максимальный сигнал возникает в проводниках, находящихся точно под пером ручки, что и определяет координаты ввода. Если ручку наклонить, то сигнал будет передаваться также и на соседние проводники, что позволяет получать дополнительно информацию о наклоне пера в целях имитации определённой техники рисования. Специальные приспособления дают дополнительно возможность измерения уровня давления на перо. Заметим, что, в отличие от сенсорных панелей, графический планшет не должен быть прозрачным, что даёт большую свободу в выборе технологий и материалов при его изготовлении.

Графические планшеты незаменимы в компьютерной графике, особенно двумерной. Огромное значение графические планшеты имеют в Китае, Японии и Корее, т.к. используются для ввода в компьютер иероглифов.

Интерактивная доска

Интерактивная доска (interactive whiteboard) представляет дальнейшее развитие идей графических планшетов и сенсорных экранов, но характеризуется значительно большими размерами, т.к. предназначена для демонстрации в больших аудиториях (рис. 1.11).



Рис. 1.11. Интерактивная доска.

Для ввода информации интерактивные доски используют примерно те же технологии, что и сенсорные панели и графические планшеты. Для досок обычно не требуется слишком высокое разрешение. Что касается изображения на доске, то оно (в виду больших размеров доски) создаётся с помощью проектора, который может располагаться перед или за доской. Наиболее дешёвый вариант получается при переднем расположении проектора. В этом случае доска может быть плотно прижата к стене (т.е. не требует дополнительного места) и может быть непрозрачной, что упрощает построение сенсорной системы. Недосток здесь в том, что пользователь может заслонять часть видеопотока от проектора, создавая тень. Использование так называемых UST-проекторов, способных работать с поверхностью экспозиции под углом 45° , позволяет улучшить ситуацию, т.к. проектор в этом случае располагается достаточно близко к доске и пользователь не попадает в его поток. Доски с задним расположением проектора более дороги: они требуют много места, кроме того, должны быть прозрачными.

Жидкокристаллические дисплеи

Жидкокристаллический дисплей (Liquid Crystal Display, LCD) – это сегодня основной тип компьютерного монитора. В настоящее время промышленно освоены три основные технологии производства LCD. Существует три главных характеристики, которые определяются выбором той или иной технологии – глубина цвета, угол обзора и время отклика. Для осуществления осознанного выбора того или иного типа дисплея полезно понимать принципы этих технологий.

Работа жидкокристаллических дисплеев основана на явлениях поляризации света и изменения угла поляризации молекулами жидкого кристалла под воздействием электрического поля. Поляризация света определяется тем, в какой плоскости происходят колебания напряжённости электрического или магнитного поля, составляющих электромагнитную волну. Если колебания происходят в горизонтальной плоскости по отношению к направлению движения волны, то говорят о горизонтальной поляризации; если в вертикальной плоскости – о вертикальной поляризации. Неполаризованный свет состоит из волн, каждая из которых ориентирована произвольно. Свет становится поляризованным, когда проходит через специальный фильтр, характеризующийся определённым углом поляризации. Ничего не меняется для человеческого глаза кроме того, что яркость света уменьшается в два раза. Но если после первого поляризующего фильтра поставить второй, то интенсивность света будет зависеть от соотношения их углов поляризации. Если угол поляризации второго фильтра совпадает с углом поляризации первого, то свет через второй фильтр проходит беспрепятственно. Если же угол второго фильтра перпендикулярен первому, то свет полностью поглощается. Промежуточное значение угла будет приводить к уменьшению яркости света.

Общий принцип работы всех жидкокристаллических дисплеев показан на рис. 1.12. Свет от флуоресцентной лампы через сложную систему отражателей попадает на первый поляризующий фильтр, поляризуется и затем проходит через слой молекул жидкого кристалла. Электрическое поле, прилагаемое с помощью прозрачных электродов, изменяет пространственную ориентацию молекул жидкого кристалла, что приводит к изменению угла поляризации проходящего через них света. Далее свет проходит через цветные фильтры (R, G или B) и попадает на второй поляризующий фильтр. В зависимости от угла поляризации, приобретённого после прохождения через жидкие кристаллы, свет полностью или только частично поглощается, создавая различные оттенки цвета на выходе.

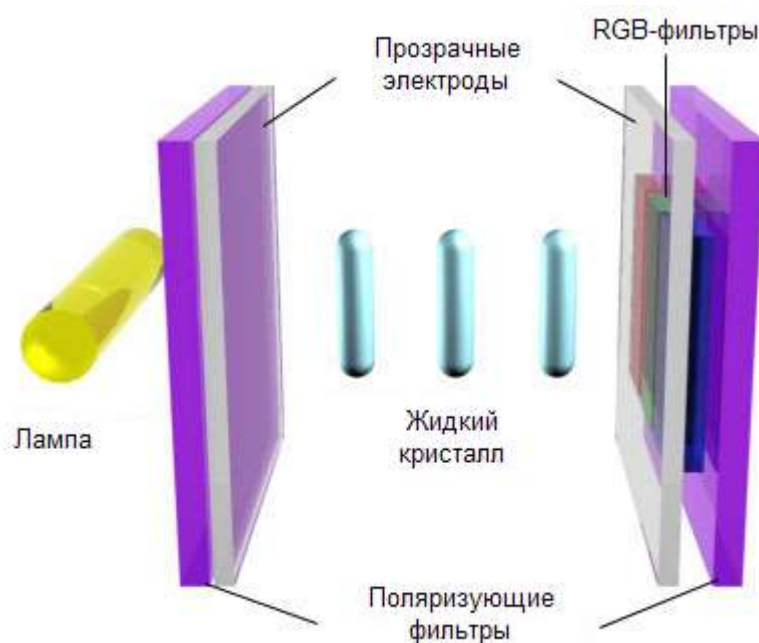


Рис. 1.12. Ячейка жидкокристаллического дисплея.

Поляризация света в жидкокристаллических дисплеях является главной причиной уменьшения угла обзора. Различные технологии построения LCD пытаются улучшить этот показатель. *Угол обзора* – это суммарный угол (влево и вправо или вверх и вниз) между нормалью к плоскости отображения и мнимой линией между глазом человека и

жидкокристаллической ячейкой, при котором сохраняется определенный уровень контрастности и цветовой гаммы (измеряется разными производителями по-разному). Угол обзора иногда рассматривается как самый важный параметр LCD, но это далеко не так. Как правило, за монитором работает один человек, который смотрит прямо на монитор, и его угол обзора практически нулевой. Однако следует учесть тот факт, что при увеличении угла обзора контрастность и цветность начинают постепенно меняться (вплоть до достижения своих крайних значений). Если угол обзора монитора маленький (скажем, 90°), то даже при небольших отклонениях головы будет заметно изменение цветовой палитры. Кроме того, при больших размерах экрана, когда человек смотрит прямо в центр изображения, края экрана наблюдаются под углом и на них могут наблюдаться отклонения в контрастности и цветности. Поэтому экраны с большим углом обзора предпочтительны.

Время отклика определяется инерционностью жидкого кристалла. Для того чтобы ячейка изменила цвет, молекулы кристалла должны изменить свою пространственную ориентацию. На это требуется время. Большое время отклика приводит к тому, что вы видите шлейф при быстром перемещении указателя мыши, а динамичное видео размывается. Приемлемым считается время отклика 25 мс. Некоторые современные модели заявляют о достижении времени отклика 2 мс, что уже очень хорошо.

Третий важный параметр – *глубина цвета*. Для полноцветного изображения (true-color) каждая цветовая составляющая должна иметь 256 различных градаций яркости. Это не всегда возможно в LCD по двум причинам. Во-первых, ячейка, которая в идеале должна быть чёрной, всё же пропускает часть света от лампы, т.е. абсолютно чёрной не является, что снижает контрастность изображения. Во-вторых, чувствительность кристалла к изменению электрического напряжения непостоянна и яркость свечения ячейки зависит от величины напряжения нелинейно. Это приводит к неразличимости некоторых близких уровней яркости. Предлагаются различные схемы компенсации этих недостатков.

Следующим важным понятием является активное управление матрицей жидких кристаллов. В небольших индикаторах каждая жидкокристаллическая ячейка имеет два вывода для подачи управляющего напряжения. В больших панелях такой подход невозможен и все ячейки имеют общие горизонтальные и вертикальные шины управления. В чистом виде такая матрица называется пассивной. Активная матрица в каждой точке пересечения шин управления имеет тонкоплёночный транзистор (thin-film transistor, TFT). При подаче управляющего сигнала на горизонтальную шину все подключенные к ней транзисторы открываются и передают напряжения (фактически, значения яркости соответствующих цветовых составляющих) с вертикальных шин на внутреннюю ёмкость, которую образует сам кристалл. Когда управляющий сигнал снимается, транзистор закрывается и величина напряжения "запоминается" на ёмкости, а молекулы кристалла начинают её "отрабатывать", т.е. соответствующим образом изменяют угол поляризации света. Управляющая схема в это время переходит к следующей строке и т.д. Таким образом все строки дисплея периодически регенерируются. Может показаться, что это то же самое, что и регенерация изображения в электронно-лучевых трубках. Но это не так. Наличие TFT приводит к тому, что каждый пиксель светится постоянно без мерцания.

Иногда жидкокристаллические дисплеи с активной матрицей называют просто TFT-дисплеями. Но это не верно. Как мы увидим, управление с помощью TFT используется и в других типах дисплеев, отличных от LCD.

Охарактеризуем кратко три основные технологии изготовления жидкокристаллических матриц.

Наиболее старая и дешёвая технология называется TN (от английских слов Twisted Nematic – скрученный нитьевидный кристалл). Изначально скрученные кристаллы изменяют угол поляризации поступающего света на 90° , в результате чего свет беспрепятственно проходит через внешний поляризующий фильтр. Мы видим ярко светящуюся точку. Электрическое поле прикладывается перпендикулярно плоскости экрана и заставляет кристалл распрямляться. Угол поляризации уменьшается и на выходе наблюдается соответствующее уменьшение яркости вплоть до почти чёрного цвета. Такие матрицы наиболее быстродействующие, т.е. имеют наименьшее время отклика, но обладают малым углом обзора. Разновидность технологии TN+Film добавляет на выходе матрицы плёнку с рисками. Риски как бы рассеивают свет и, таким образом, увеличивают угол обзора по горизонтали (но не по вертикали). Во многих источниках считается, что TN-матрицы "честно" передают только 6 бит цветовых составляющих. Для доведения качества цветопередачи до 8 бит могут использоваться различные дополнительные приёмы, такие как FRC (Frame Rate Control). FRC эмулирует оттенки цвета путём быстрого включения и выключения пикселя. Например, если матрица может передавать уровни яркости 60 и 64, а нам нужно получить 63, то можно выдавать 64 в течение трёх последовательных циклов регенерации, затем 60 в течение одного цикла и так постоянно. Человеческий глаз интегрирует яркость по времени и получает значение 63. Заметим, что при выходе TF-транзистора из строя в TN-матрице появляется ярко светящаяся точка.

Другая технология носит название IPS (In-Plane Switching – переключение в плоскости кристалла). Это наиболее дорогая и качественная технология. Её разновидности – S-IPS, H-IPS, FSS и др. Здесь электрическое поле подаётся параллельно плоскости экрана, т.е. вдоль поверхности кристалла. Для этого делаются два электрода по бокам кристалла и для управления ими используются два TF-транзистора. Молекулы кристалла ориентированы так, что их оптическая ось совпадает с направлением поля. Это позволяет резко увеличить угол обзора, но снижает быстродействие. При отсутствии поля угол поляризации не меняется, поэтому внешний поляризующий фильтр полностью поглощает свет, и мы видим чёрную точку. При наличии поля молекулы кристалла поворачиваются, угол поляризации изменяется, и мы наблюдаем увеличение яркости. IPS-матрицы передают оттенки цвета с качеством 8 бит без применения какой-либо эмуляции. При выходе из строя TF-транзистора на экране появляется чёрная точка.

Третья технология – VA (Vertical Alignment – вертикальное выравнивание). Её разновидности – MVA и PVA. Здесь за счёт особой геометрии электродов электрическое поле прикладывается и молекулы жидкого кристалла располагаются под разными углами по отношению к плоскости экрана. При прохождении света молекулы рассеивают его в разные стороны и, таким образом, увеличивается угол обзора. По своим характеристикам данная технология считается средней между TN и IPS. При отсутствии поля ячейка не светится.

Плазменные панели

Плазменная панель (рис. 1.13) представляет собой матрицу газонаполненных ячеек, заключенных между двумя параллельными стеклянными поверхностями. В качестве газовой среды обычно используется смесь гелия, неона и ксенона. Разряд в газе протекает между прозрачным электродом на лицевой стороне экрана и адресными электродами, проходящими по его задней стороне. Газовый разряд вызывает ультрафиолетовое

излучение, которое, в свою очередь, инициирует видимое свечение люминофора. Тот же самый принцип используется в флуоресцентных лампах, так что можно рассматривать плазменную панель как множество таких миниатюрных ламп.

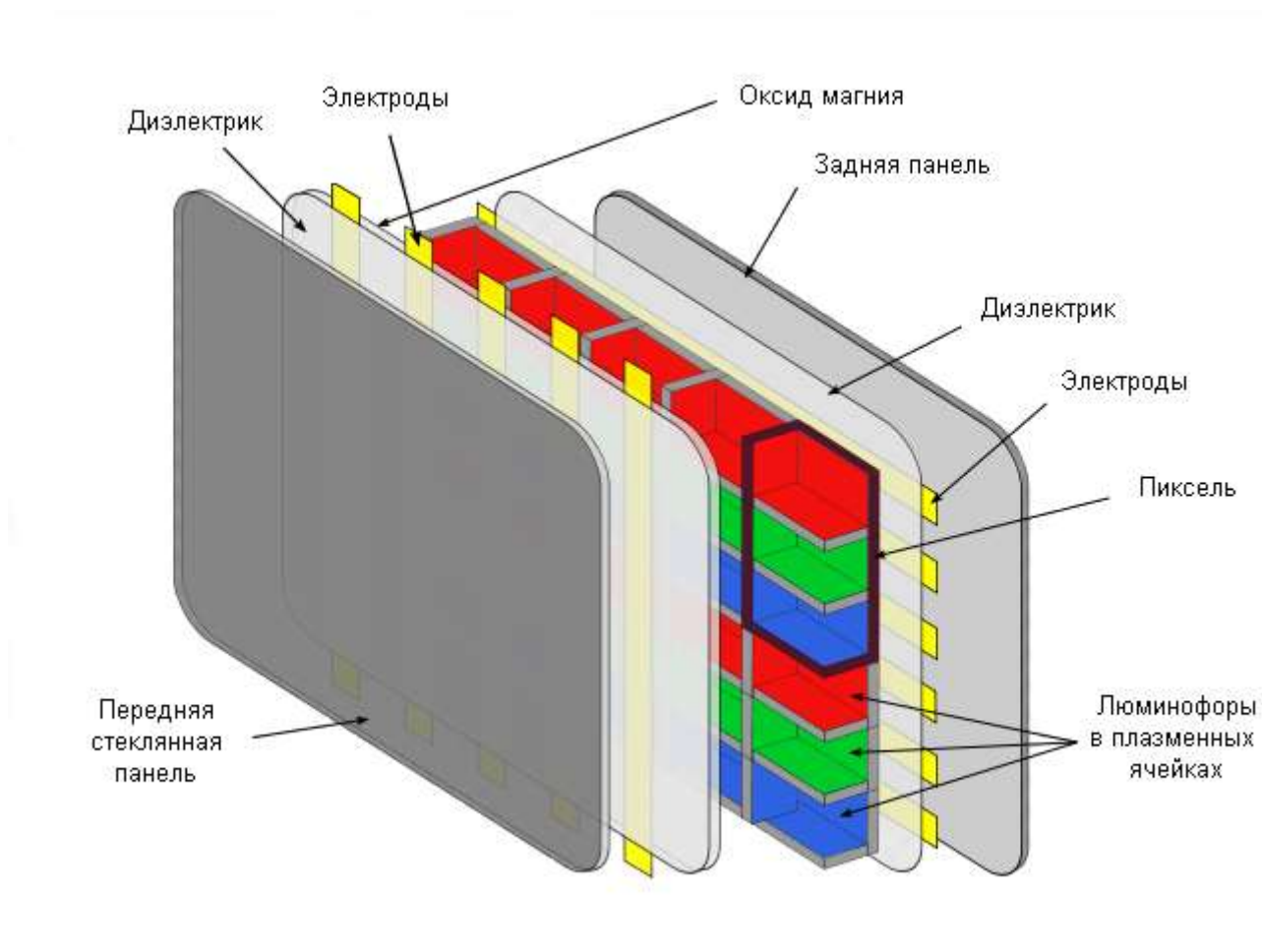


Рис. 1.13. Устройство плазменной панели.

Управляющая электроника плазменной панели зажигает все пиксели по очереди или группами, находящимися на одной линии. Зажигающее напряжение может достигать 300 В. Достаточно быстрая регенерация экрана (типичная частота регенерации – 85 Гц) создаёт статическую картину благодаря инерционности зрения человека. Более того, каждый элемент плазменной панели может светиться только с постоянной яркостью (другими словами, он может гореть или не гореть). Для реализации оттенков цвета применяется широтно-импульсное регулирование времени свечения (это похоже на метод FRC в жидкокристаллических дисплеях).

Главные положительные черты плазменной технологии дисплеев – высокое качество передачи цвета, высокая контрастность (если пиксель не светится, то он абсолютно чёрный), высокое быстродействие (быстрота смены кадров определяется только частотой регенерации экрана, инерционность отдельных ячеек практически отсутствует), большой угол обзора (практически 180° как по горизонтали, так и по вертикали), большие размеры экрана (диагональ до 1.5 м при толщине панели 8 см).

Но у этой технологии есть и недостатки. Обычно среди них называют высокое (по сравнению с жидкокристаллическими дисплеями) энергопотребление, выгорание люминофора (в связи с чем качество воспроизведения цветов снижается с течением времени) и сравнительно большой размер пикселя (его просто технологически трудно

сделать маленьким). Но для некоторых людей главный недостаток – мерцание экрана (вызванное его постоянной регенерацией и широтно-импульсным регулированием яркости отдельных пикселей). Даже если оно не различимо явно в силу инерционности зрения, воздействие мерцания на рецепторы глаза приводит к их утомлению, кроме того, мерцание хорошо ощутимо боковым зрением, в связи с чем плазменные панели очень некомфортно смотреть с близкого расстояния. Заметим, что в жидкокристаллических дисплеях ТF-транзистор "держит" пиксель на постоянном уровне яркости до следующего её изменения, поэтому мерцание отсутствует.

OLED-дисплеи

OLED-дисплеи (Organic Light Emitting Diode – органический светодиод) – наиболее новый и перспективный класс дисплеев. Пиксели в этих дисплеях строятся из разноцветных светодиодов. Устройство одного органического светодиода показано на рис. 1.14.

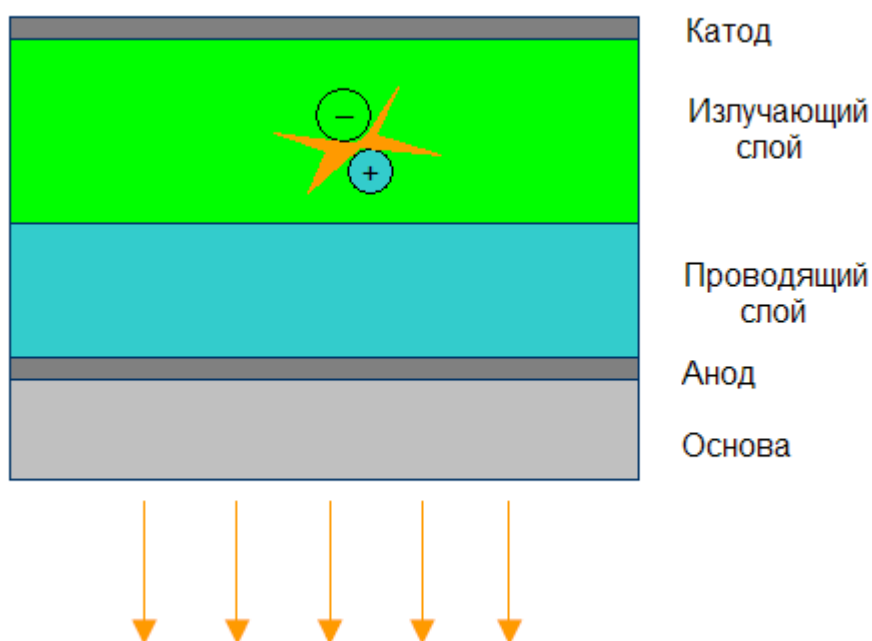


Рис. 1.14. Устройство органического светодиода.

Катод обычно непрозрачный и делается из бария, кальция или алюминия – металлов, легко отдающих электроны в излучающий слой. Излучающий и проводящий слои выполняются из различных полимеров (отсюда и название этого типа диодов – органические) с определёнными присадками, обеспечивающими электронную или дырочную проводимость (по аналогии с кристаллическими полупроводниками) и нужный цвет свечения. Анод изготавливается из прозрачного ИТО. Когда к аноду прикладывается положительное напряжение, через прибор начинают течь электроны. Таким образом, катод снабжает электронами излучающий слой, а анод забирает электроны из проводящего слоя, вызывая появление дырок в излучающем слое. При попадании электрона в дырку излучается свет. Интенсивность свечения определяется величиной протекающего тока, который, в свою очередь, зависит от приложенного напряжения. При нулевом и отрицательном напряжении на аноде диод не светится, что позволяет получать абсолютно чёрные пиксели. Органические светодиоды обладают очень малой

инерционностью (в сотни раз меньшей, чем у жидких кристаллов) и обеспечивают практически полный угол обзора во всех направлениях.

Отдельные светодиоды собираются в матрицы с перекрещивающимися катодами и анодами абсолютно по тому же принципу, что в жидкокристаллических и плазменных панелях. В OLED-дисплеях с высоким разрешением, также как в LCD, используется активное управление ячейками с помощью ТF-транзисторов. Однако, для каждой ячейки нужно два таких транзистора. Один транзистор открывается при адресации ячейки и передаёт управляющее напряжение на затвор второго. Когда первый транзистор закрывается, переданное напряжение "запоминается" на ёмкости затвора второго транзистора и определяет величину тока, которым этот второй транзистор питает светодиод. В результате светодиод горит с определённой яркостью без мерцания до следующего цикла регенерации, когда яркость может быть изменена.

Один из наиболее технологичных процессов изготовления OLED-панелей состоит в их "печатании" с использованием техники струйной печати: нужные материалы просто последовательно наносятся на основу с помощью струйных принтеров, как показано на рис. 1.15. Это позволяет в перспективе сделать OLED-дисплеи очень дешёвыми. Материалом основания может быть стекло или прозрачная гибкая плёнка. В результате появляется возможность делать гибкие, удароустойчивые устройства. Суммарная толщина слоёв, показанных на рис. OLED, не превышает 1 мкм. Таким образом, OLED-дисплеи могут быть чрезвычайно тонкими.

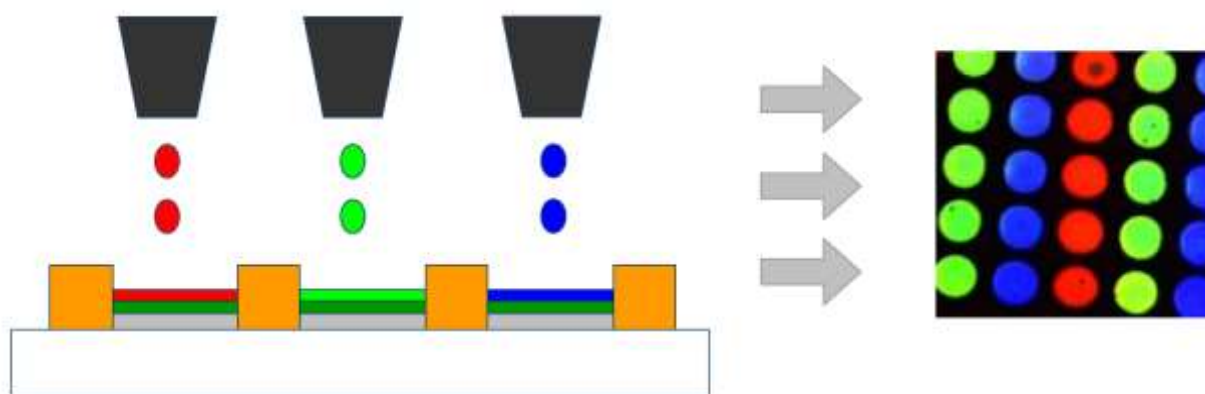


Рис. 1.15. Печатание матрицы OLED.

К достоинствам OLED-дисплеев относятся: высокое качество передачи цвета, большой угол обзора, высокое быстродействие (по этим параметрам они значительно превосходят LCD и приближаются к плазменным панелям), низкое энергопотребление, малая толщина (по этим параметрам они превосходят LCD и плазму). Главной проблемой OLED-дисплеев сегодня является сравнительно невысокий рабочий ресурс органических материалов, из которых они сделаны. Особенно это актуально для синих светодиодов. Время жизни OLED-дисплеев в четыре раза меньше, чем у плазменных панелей и, тем более, LCD. Однако имеются предпосылки решения этой проблемы с помощью новых материалов уже в ближайшее время.