

## ПАССИВНО-МАТРИЧНЫЕ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ДИСПЛЕИ

### НОВЫЕ РЕШЕНИЯ

**Жидкокристаллические (ЖК) дисплеи завоевали широкую популярность: более 85% выпускаемых в мире плоскпанельных устройств изготавливаются с использованием этой технологии. В 100% случаев калькуляторы, сотовые телефоны, переносные измерительные приборы, карманные компьютеры, ноутбуки – жидкокристаллические, 80% персональных компьютеров, 50% телевизоров и часов имеют ЖК-экран.**

ЖК-дисплеи могут быть активно-матричными и пассивно-матричными.

Пассивно-матричный ЖК-экран – это классическая матрица. Напряжение подается сразу на все столбцы и строки (рис. 1). Достоинство ее в том, что для управления всем экраном требуется от одной до шести микросхем. Недостаток – нельзя подать напряжение максимального контраста, так как какая-то часть напряжения прикладывается и к невключенным элементам.

В активно-матричном экране кроме стандартного внешнего управления в цепи каждого элемента есть транзисторная схема, отсекающая напряжение на выключенных элементах (рис. 2). Можно сказать, что активно-матричный дисплей – это большая микросхема. Все крупноформатные ЖК-дисплеи являются активно-матричными. Среди дисплеев с диагональю до 7–10 дюймов 85–90% – пассивно-матричные.

Контраст активно-матричного экрана малых и средних размеров 150:1 против 30:1 у пассивно-матричного; время отклика 30 и 200 мс, соответственно. Однако цена активно-матричного индикатора в 2–3 раза выше, чем пассивно-матричного аналога. Причем в перспективе со снижением цены комплектации (стекла, жидкокристаллического вещества, поляридов) их стоимость будет различаться в 4–5 раз.

Из-за преимущества по цене пассивно-матричные ЖК-дисплеи – самые массовые в мире, их производится свыше 1 млрд. шт. в год, количество производителей превышает 100, в то время как фирм-производителей активно-матричных экранов не более 20.

В.Брежнев, Н.Жуков, к.ф.-м.н С.Студенцов  
Lcspectrum@mail.ru

Объем российского рынка ЖК-дисплеев низкой информативности (т.е. формата ниже QVGA, 320×240 точек) достиг в 2005 году 80 млн. долл. Объем продаж относительно 2004 года увеличился, по разным оценкам, с 33 до 60%. При этом в настоящее время доля производителей России и других стран СНГ составляет на данном сегменте рынка менее 0,5%, а 99,5% поступает из стран Юго-Восточной Азии (Китай, Тайвань, Корея, Малайзия и т.д.). Но даже если считать, что в ближайшие годы темпы прироста этого сегмента российского рынка ЖК-дисплеев в 2008 достигнут лишь 15–20%, объем этого рынка превысит уровень 110 млн. долл.

Для России особую важность имеет тот факт, что конкурентоспособная линия по производству активно-матричных ЖК-экранов 6-го поколения стоит порядка 1,5 млрд. долл., а современная линия по производству пассивно-матричных дисплеев 2-го поколения (но для дисплеев диагональю 2–7 дюймов больше и не надо) – всего 2–3 млн. долл. Отсюда очевидно, что надежды на возрождение производства ЖК-дисплеев в России могут строиться только на пассивно-матричных технологиях.

Но вследствие невысоких параметров пассивно-матричных ЖК-дисплеев объемы их производства в мире падают ежегодно на 10–15%. Фирмы теряют до 1 млрд. долл. в год, поэтому проблема улучшения параметров пассивно-матричных дисплеев очень важна. Следует отметить, что если для активно-матричных экранов задача улучшения параметров сводится в основном к отработке технологии, то для пассивно-матричных дисплеев есть простор для научно-технического поиска.

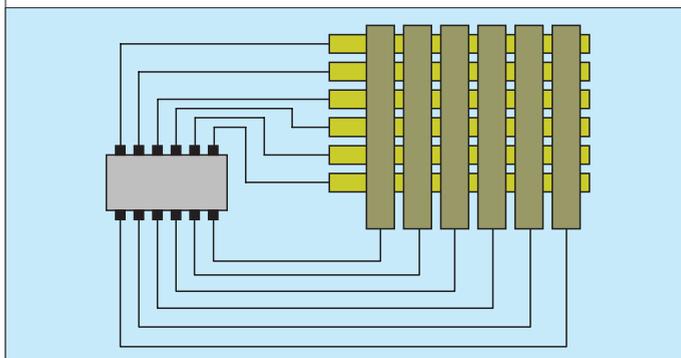
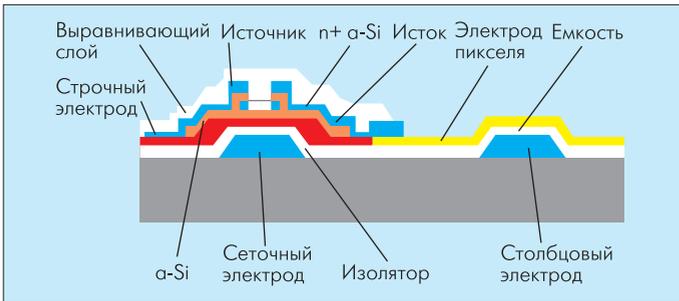


Рис. 1. Пассивно-матричный ЖК-дисплей



**Рис.2. Элемент активно-матричного ЖК-дисплея**

Главная проблема для пассивно-матричных дисплеев – уменьшение эффекта накопления напряжения на элементах пассивной матрицы. На включенном элементе среднеквадратичное за кадр напряжение определяется формулой:

$$U_{\text{вкл RMS}} = \sqrt{\frac{(U_{\text{СТРОК}} + U_{\text{СТОЛБ}})^2 + (N - 1) U_{\text{СТОЛБ}}^2}{N}} \quad (1)$$

Среднеквадратичное за кадр напряжение на выключенном элементе:

$$U_{\text{вкл RMS}} = \sqrt{\frac{(U_{\text{СТРОК}} - U_{\text{СТОЛБ}})^2 + (N - 1) U_{\text{СТОЛБ}}^2}{N}} \quad (2)$$

где  $U_{\text{СТРОК}}$  – амплитуда напряжения, подаваемого на записываемую строку;  $U_{\text{СТОЛБ}}$  – амплитуда напряжения, подаваемого на столбцы (в противофазе – на включаемые элементы, в фазе – на выключенные элементы записываемой строки);  $N$  – число строк.

В равенствах (1) и (2) присутствие слагаемого  $(N - 1) U_{\text{СТОЛБ}}^2$ , связанного с подачей информационного напряжения на столбцы матрицы, приводит к тому, что с ростом числа строк в матрице величина напряжения на включенных и выключенных элементах сближается, контраст падает, а малое энергетическое различие не позволяет быстро переключить элемент из одного состояния в другое. С другой стороны, небольшие уровни мультиплексирования, до  $1/16$ , при высокой крутизне вольт-контрастной характеристики позволяют получить дисплеи с параметрами, близкими к статическому режиму (именно в таком режиме работают активно-матричные экраны).

Если периодически подавать на матрицу стирающий импульс, эффект аккумуляции напряжения будет уменьшаться или исчезнет вообще. Примером может служить двухчастотный режим управления: при низкой частоте положительная диэлектрическая анизотропия ( $\Delta\epsilon$ ) ЖК-молекул вынуждает их под действием электрического поля поворачиваться перпендикулярно электродам; с ростом частоты у всех ЖК-веществ значение величины  $\Delta\epsilon$  уменьшается и при определенных частотах становится отрицательным. С этого момента молекулы под действием поля будут ориентироваться параллельно электродам (пластинам).

Недостатки такого подхода – искажение фронта импульса на узких строчных и столбцовых электродах, падение напряжения на них и неравномерность электрического поля по площади.

Более перспективны различные бистабильные структуры. История бистабильных твистнематиков началась в 1997 году. Принцип состоял в том, что в областях рядом с границей перехода Лагранжа (резкого, на  $180^\circ$  изменяющего угол закрутки ЖК-молекул при определенном соотношении зазора и шага спирали) в зависимости от формы подаваемого сигнала можно получить как исходную закрученность, так и измененную на  $180^\circ$ . Оба варианта могут сохраняться очень долго, т.е. система обладает свойством бистабильности. Такой дисплей не требует крутой вольт-контрастной характеристики, а потому лишен многих ограничений классического STN. Однако от этой идеи скоро отказались: бистабильное состояние в твистнематиках, изготовленных по стандартной технологии, существует в очень ограниченной области зазоров (не более  $\pm 0,05$  мкм), шагов спирали (не более  $\pm 0,05$  мкм) и температур (от  $35$  до  $45^\circ\text{C}$ ).

В том же 1997 году фирмой Nemoptic (Франция) была предложена технология, которая получила название BiNem (рис. 3). Эта технология базируется на пассивно-матричной технологии, но имеет несколько отличий, важнейшее из которых – увеличение угла преднаклона молекул на одной из поверхностей до  $20-30^\circ$ . Вследствие этого энергия сцепления уменьшается в  $3-5$  раз и диапазон существования бистабильности расширяется. В зависимости от того, резко или ступенчато сбрасывается напряжение с элемента при записи строки, формируется структура соответственно со  $180^\circ$  или с  $0^\circ$  закруткой ЖК-молекул.

Контраст  $150:1$ , время отклика  $10$  мс, угол обзора  $120-130^\circ$ , неограниченное количество строк – достоинства BiNem-дисплея. У него есть только один, но очень серьезный недостаток – со временем (за  $1-2$  года, а если дисплей попадает на яркий свет и разогревается, то и раньше) угол преднаклона ЖК-молекул уменьшается и бистабильность исчезает. Широко распространенной промышленной технологией BiNem не стала, но доказала, что пассивно-матричный



**Рис.3. BiNem-экран фирмы Nemoptic [1]**



Рис.4. Дисплей фирмы ZBD

ЖК-дисплей может не уступать активно-матричному. Фирма Nemoptic за эту разработку получила в 2005 году Серебряную Премию Международного Дисплейного Общества.

Еще один промышленно освоенный вариант бистабильного дисплея – Zenithal Bistable (рис. 4) фирмы ZBD (Великобритания). Одна из пластин ZBD-дисплея изготавливается по стандартной технологии натирания, на второй сначала формируется рельеф, например травлением фоторезиста или штамповкой полимерной подложки, а затем на него наносится материал, ориентирующий молекулы перпендикулярно подложке. Рельеф и ориентант примерно в равной степени воздействуют на молекулы ЖК, поэтому переключение из одной конфигурации в другую происходит под действием напряжения: одна полярность переводит структуру в закрученное (темное) состояние, другая – в гибридное (светлое). Высокий контраст, отсутствие ограничения по количеству строк (известен прототип 1200×700 точек) – достоинства ZBD-дисплеев, но по быстродействию они уступают BiNem-дисплеям.

Основная проблема технологии ZBD – сложный процесс формирования рельефной поверхности с бистабильной ориентацией. Тонкости технологии не раскрываются ни в одной из многочисленных публикаций. Флексоэлектрический эффект, который при этом проявляется, в достаточной мере не изучен. Поскольку переключение состояний определяется полярностью сигнала, возникает вопрос по электрохимии



Рис.5. Динамика изменения объемов производства дисплеев сотовых телефонов различных технологий [2]

ческой стойкости и предельному числу циклов переключения: эффект переключения бистабильных состояний является поверхностным и поэтому очень многое зависит от чистоты электродов и их деградации.

Над решением этого вопроса работают, помимо ZBD, специалисты многих фирм: в Великобритании (Sharp Europe Labs.), Корея (Pousan University), США (Kent Displays), Китае (Hong Kong University of Science & Technology). Однако реализация их предложений требует принципиально новых материалов и технологий (в основном, по обеспечению высокого угла преднаклона молекул – до 45° вместо стандартных 2–3°. При этом нет стабильных результатов: либо улучшается только контраст, либо срок службы этих устройств ограничен. Тем не менее, считается, что к 2009 году проблема будет решена и впервые за 10 лет объем производства пассивно-матричных ЖКИ увеличится (рис. 5).

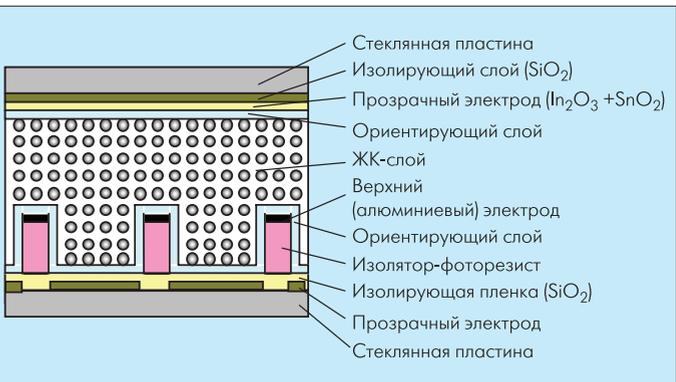


Рис.6. Конструкция трехэлектродного ЖК-дисплея

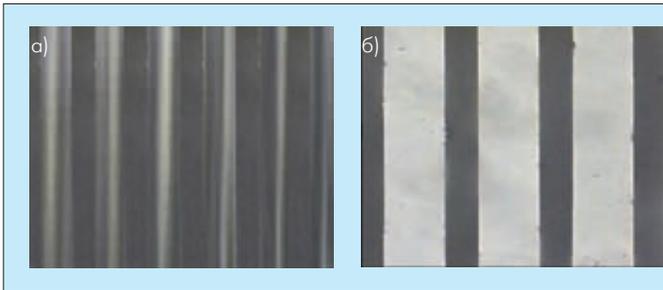
В России проблемой улучшения параметров пассивно-матричных ЖК-дисплеев занимается, в основном, ФГУП НИИ "Волга". Ниже представлен новый проект этого предприятия, который софинансируется из регионального бюджета развития.

Конструкция дисплея базируется на стандартных технологиях и материалах. Вместо обычной – двухэлектродной со строками и столбцами предложено использовать трехэлектродную конструкцию. Электрод типа сеточного формируется на пьедесталах из обычного фоторезиста между строчными электродами (рис. 6). Приложение горизонтального поля к этим электродам уничтожает последствия стандартного вертикального напряжения.

Расстояние между пьедесталами определяется размером пикселя и в стандартной конструкции равно 90 мкм. Ширина пьедестала равна ширине промежутка между строками (10–20 мкм), а высота составляет от 1 до 3 мкм.

Сложность новой конструкции в том, что на такой объемной, но мелкой структуре невозможно ориентировать молекулы традиционными методами (рис. 7а). Авторы данной работы нашли оригинальный технологический прием, позволяющий ориентировать молекулы бесконтактным способом (рис. 7б).

Конструкция прошла экспериментальную проверку в Гонконгском университете науки и технологии.



**Рис.7. Микрофотографии структуры дисплея с объемными электродами а) при стандартном процессе натирания (отчетливо видна неоднородность даже при натирании вдоль пьедесталов); б) модернизированный процесс бесконтактной фотоориентации**

Электрооптические параметры дисплея, изготовленного по новой технологии, улучшились в семь раз: контраст – до 220:1, время – до 20 мс (рис. 8), угол обзора достигает 130°, а число строк увеличивается в четыре раза.

Определен круг конструктивно-технологических характеристик, влияющих на электрооптические параметры дисплея. В 2007 году планируется изготовить прототип с числом строк не менее 1/100 (в этом случае удовлетворяются потребности примерно 40% наиболее массового рынка – сотовых телефонов). Все это позволяет рассчитывать на то, что в ближайшие 2-3 года проблема отставания пассивно-матричных дисплеев размером до 10 дюймов по параметрам от активно-матричных будет успешно решена.



**Рис.8. Оптический отклик прототипа пассивно-матричного дисплея трехэлектродной конструкции на горизонтально-вертикальное переключение электрического поля**

Об этих работах будет доложено на крупнейшем дисплейном симпозиуме Евродисплей-07, который состоится в сентябре 2007 года.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Dozov I.** et al. – IDW'04, Japan, December 2004, p.819.
2. **Semenza P.** – iSuppli Corp., SID'05 Business Conf., pp.169-185.