

Ciekłokrystaliczne obrazy

W 1888 roku austriacki botanik Friedrich Reinitzer odkrył substancję o właściwościach ni to cieczy, ni to ciała stałego. Nie mógł on jednak przypuszczać, że ta dziwna ciecz, nazwana ciekłym kryształem, ponad sto lat później zrobi zawrotną karierę w przemyśle komputerowym.

Pierwszy seryjnie produkowany wyświetlacz ciekłokrystaliczny ujrzał światło dzienne w 1973 roku, gdy firma Sharp rozpoczęła sprzedaż kalkulatora EL-8025. Od tego czasu minęło prawie trzydzieści lat, a zasadnicza konstrukcja ciekłokrystalicznego ekranu nie uległa zmianie. Warto na samym początku zaznaczyć, że źródłem światła nie są, jak się błędnie wydaje znacznej grupie użytkowników, cząsteczki ciekłego kryształu, lecz zwykła lampa fluorescencyjna, no ale do rzeczy!

Wszystkie wyświetlacze LCD (Liquid Crystal Display) w podobny sposób wykorzystują zjawisko oddziaływania ciekłych kryształów na spolaryzowane światło (patrz: CHIP 1/2000, s. 99). Mówiąc obrazowo, aczkolwiek w niezbyt ścisły i bardzo nieprecyzyjny z punktu widzenia fizyki sposób, można przyjąć, że promień światła, przechodząc przez specjalny filtr polaryzacyjny (spotykany często w okularach przeciwsłonecznych), ulega „uporządkowaniu w ściśle określonym kierunku (płaszczyźnie)”, np. w pionie lub poziomie. Spolaryzowane światło, trafiając następnie na drugi filtr, jest albo wytłumiane (gdy osie polaryzacji obu filtrów są skrzyżowane), albo

przechodzi przez niego bez przeszkód (obie płaszczyzny polaryzacji są ustawione równolegle względem siebie). Tak też działają polaryzacyjne okulary przeciwsłoneczne dla kierowców – odbite od szosy promienie światła oślepiające szofera mają polaryzację równoległą, natomiast w okularach stosuje się filtry o prostopadłej płaszczyźnie polaryzacji, co w efekcie całkowicie wytłumia niepożądane refleksy. No dobrze, ale co z ciekłym kryształem?

Otóż składająca się z „pałeczkowatych” cząsteczek substancja ciekłokrystaliczna jest przełącznikiem zmieniającym „w locie” polaryzację padającego na nią światła. Ów przełącznik ma właśnie za zadanie odpowiednio przekształcić (skręcić) początkową płaszczyznę polaryzacji światła (lub pozostawić ją bez zmian), zanim dotrze ono do drugiego filtra, tak aby na wyjściu monitora LCD można było obserwować świecące z różną intensywnością punkty (piksele).

Aby „pałeczkowate” cząsteczki ciekłego kryształu „były zdolne” do skręcania polaryzacji światła, muszą zostać najpierw w procesie produkcyjnym odpowiednio przygotowane – zorientowane w przestrzeni. Substancję

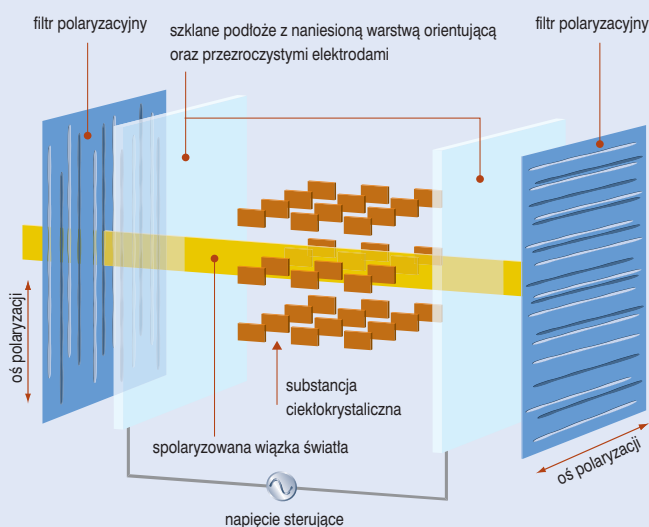
ciekłokrystaliczną umieszcza się w kilku milionach pojedynczych, niezależnych komórek, tworzących łącznie matrycę pikseli np. o rozmiarach 1024×768 punktów. Wewnątrz każdej komórki długie „pałeczkowate” molekuly muszą zostać odpowiednio ułożone. Do tego celu służą tzw. warstwy orientujące. W zależności od typu wyświetlacza LCD i technologii jego wykonania wymuszają one albo równoległe, albo prostopadłe w stosunku do płaszczyzny ekranu położenie cząsteczek.

Pokręcone światło

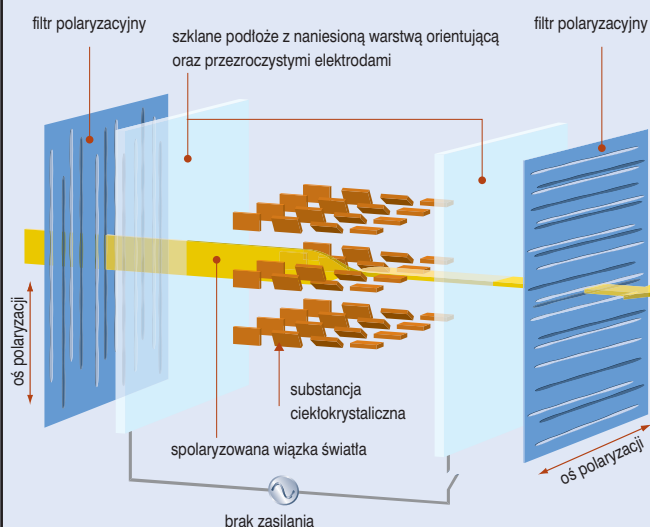
Najprostsze wyświetlacze LCD, takie jak te spotykane w zegarkach, kalkulatorach czy pierwszych laptopach, wykorzystują technologię TN (Twisted Nematic). W przekroju ekran LCD-TN można sobie wyobrazić jako wielowarstwową kanapkę. Pod ekranem znajduje się źródło światła, np. lampa fluorescencyjna. Światło oświetlające panel od tyłu przechodzi najpierw przez tzw. dyfuzor, który zapewnia równomierną jasność na całej powierzchni wyświetlacza. Na swojej drodze światło napotyka następnie pierwszy filtr polaryzacyjny, zespół przezroczystych elektrod sterujących ułożeniem cząsteczek ciekłego

Budowa i działanie pojedynczej komórki LCD wykonanej w technologii Twisted Nematic

Włączony sygnał sterujący – czarny piksel



Stan spoczynku – biały piksel



Pod wpływem napięcia sterującego wszystkie cząsteczki ciekłego kryształu zmieniają swoje położenie w komórce – ustawiają się równoległe do linii przyłożonego pola elektrycznego. Przechodzące wówczas przez komórkę spolaryzowane pionowo światło jest pochłaniane na drugim (poziomym) filtrze polaryzacyjnym. Przy braku zasilania cząsteczki ciekłego kryształu ustawiają się w położeniu spoczynkowym, wymuszonym przez warstwy orientujące. Molekuly układają się wtedy obok siebie, tak aby wspólnie utworzyć „śrubę”. Płaszczyzna polaryzacji światła jest wówczas skręcana o 90°.

CHIP

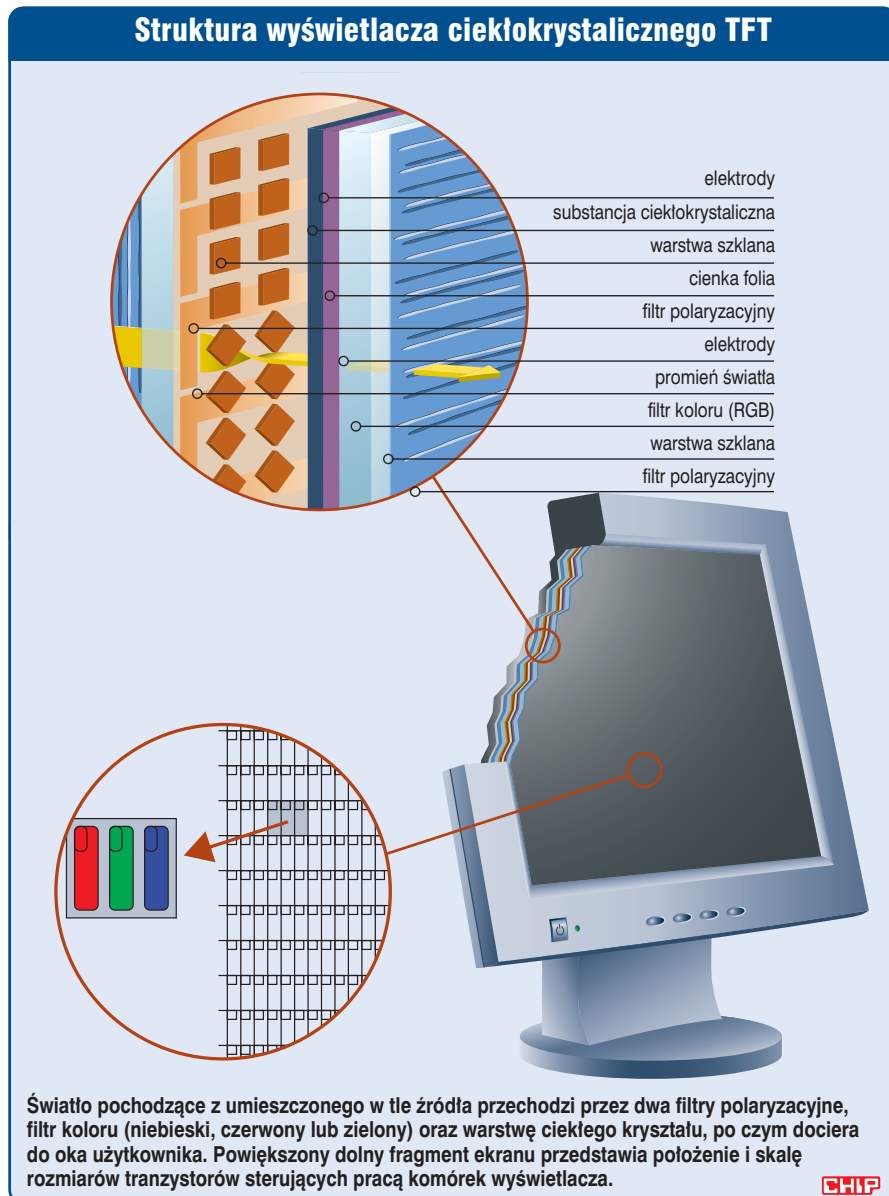
kryształu oraz warstwę orientującą, która ma za zadanie ustawić molekuly ciekłego kryształu w odpowiednim (tzw. spoczynkowym) położeniu. Znajdująca się bezpośrednio dalej warstwa ciekłego kryształu (np. bifenylu) skręca o 90° płaszczyznę polaryzacji światła. Dzięki temu swobodnie wydostaje się ono z panelu LCD, a użytkownik widzi jasny punkt na ekranie.

Opisana tu sytuacja ma miejsce, gdy do znajdujących się po obu stronach warstwy ciekłokrystalicznej przezroczystych elektrod nie przyłożono napięcia. Wówczas cząsteczki ciekłego kryształu ułożone są (dzięki warstwom orientującym) równolegle do osi polaryzacji filtrów, tworząc pomiędzy nimi specyficzną strukturę śrubową (stąd nazwa „twisted” – skręcony) – patrz: rysunek na poprzedniej stronie. Po przyłożeniu do elektrod napięcia molekuly ciekłego kryształu zmieniają swoje ułożenie, ustawiając się równolegle do linii pola elektrycznego, a więc prostopadle do powierzchni ekranu. Gdy światło pada na taką komórkę ciekłokrystaliczną, jego płaszczyzna polaryzacji nie ulega zmianie. W konsekwencji światło to jest pochłaniane przez drugi filtr polaryzacyjny. Punkt obrazu reprezentowany przez taką komórkę ma kolor czarny. Kąt reorientacji cząsteczek ciekłego kryształu odpowiada prawie liniowo wartości przyłożonego do elektrod napięcia. Oznacza to, że poprzez zmianę wartości przykładanego napięcia można uzyskać również stany pośrednie (nie całkiem „równoległe”) w przestrzennym ułożeniu cząsteczek. W takim wypadku tylko część światła jest pochłaniana przez filtr, co umożliwia wyświetlanie różnych odcieni szarości.

Kolorowe wyświetlacze mają dodatkową warstwę, w skład której wchodzi barwny filtr w trzech kolorach podstawowych: czerwonym, zielonym lub niebieskim (RGB). Każdej komórce ekranu odpowiada jeden taki filtr, a jak wiadomo, za pomocą trzech różnobarwnych komórek można uzyskać dowolny kolor piksela. Taka prosta konstrukcja jest wykorzystywana zarówno w wyświetlaczach DSTN (Dual Scan Twisted Nematic) stosowanych w najtańszych wyświetlaczach LCD, jak i w pierwszej generacji paneli TFT (Thin Film Transistor).

Cienka rewolucja

Popularne jeszcze kilka lat temu panele DSTN, określane też nazwą wyświetlaczy pasywnych, mają dwie dość istotne wady. Po pierwsze, potrzebny do reorientacji cząsteczek ciekłokrystalicznych poziom napięcia na elektrodach osiągany jest w stosunkowo długim czasie. Dzieje się tak dlatego, że elektrody znajdujące się po jednej stronie komórek umieszczone są pionowo, a po drugiej poziomo – tworzą swego rodzaju matrycę. Piksel przeznaczony do zapalenia (zgaszenia) wybiera się, wysyłając sygnały sterujące do punktu przecięcia obu matryc. Ze względu na to, że sygnał jest bardzo krótki (trzeba prze-



cież w ciągu sekundy kilkadziesiąt razy zadresować cały ekran), zastosowany ciekły kryształ musi charakteryzować się znaczną bezwładnością. Właśnie dlatego wyświetlacze DSTN potrzebują nawet do 200 milisekund na odświeżenie obrazu. W konsekwencji na ekranie pojawiają się smugi, np. podczas ruchu wskaźnikiem myszki. Drugim minusem jest to, że ścieżki przewodzące oddziałują na siebie wzajemnie, co powoduje powstawanie przesunięć obrazu przy ostrych kontrastach oraz poważnie ogranicza możliwość do uzyskania na wyświetlaczu paletę barw.

W przypadku opracowanej około 1970 roku technologii aktywnej matrycy TFT mechanizm sterowania komórkami ekranu został wbudowany w sam ekran. Każda komórka ma własny tranzystor cienkowarstwowy (Thin Film Transistor, stąd TFT), który reguluje napięcie na elektrodach. Dzięki lokalnemu sterowaniu wzajemna interakcja między punktami obrazu niemal zupełnie nie istnieje, a czas reakcji ekranu jest zdecydowanie krótszy. Najlepsze

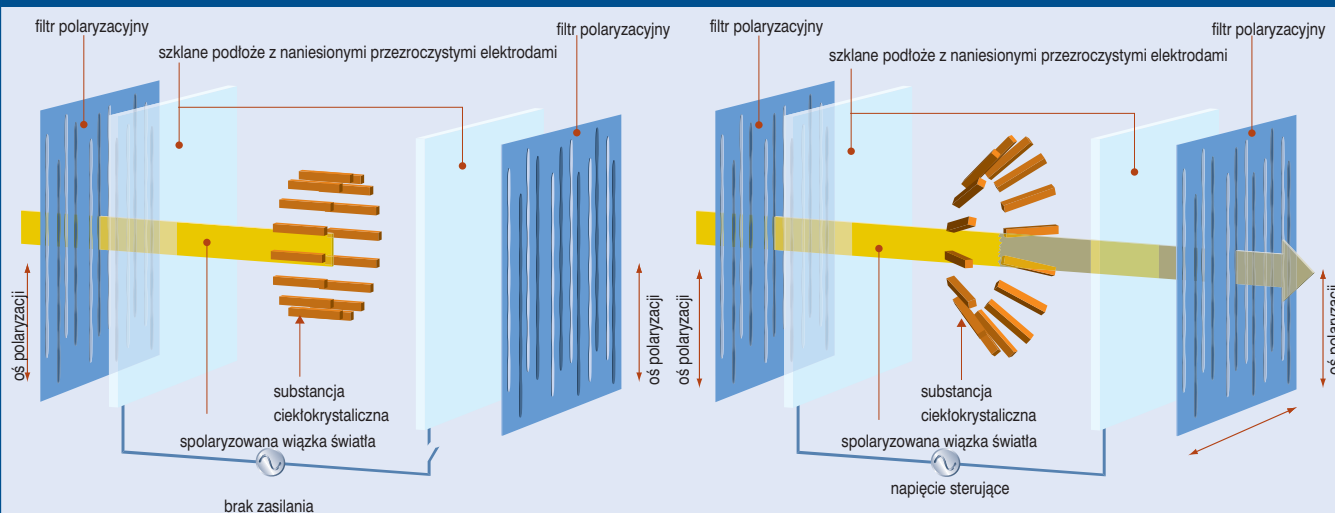
urządzenia osiągają czas odświeżania obrazu rzędu 35 milisekund, co w zupełności wystarczy nawet do wyświetlania obrazu wideo.

Ja w sprawie kąta widzenia

W 1995 roku firma Hitachi wprowadziła na rynek tzw. panele IPS, gdzie obraz na płaskim ekranie można już było obserwować pod kątem przekraczającym 60° w każdym kierunku. W technologii IPS (In-Plane Switching) „pałeczkowate” cząsteczki ciekłego kryształu zawsze są ułożone równoległe do siebie i do powierzchni ekranu – zmianie ulega jedynie ich ułożenie z pionowego w poziomie. W położeniu neutralnym – przy wyłączonym napięciu – molekuly ustawione są prostopadle do płaszczyzny polaryzacji światła wpadającego do komórki ciekłokrystalicznej i wytłumiają wiązkę światła (nie skręcają!). Piksel ekranu pozostaje czarny.

Aby wyświetlić jasny punkt obrazu, kryształy muszą zostać ustawione równoległe w stosunku do osi polaryzacji filtrów

Budowa i działanie wyświetlacza MVA (Multi-domain Vertical Alignment)



W wyświetlaczach MVA w stanie spoczynku (bez przyłożonego napięcia) warstwa cieklokryształowa pochłania całe wchodzące do komórki LCD światło, pochodzące z lampy fluorescencyjnej. Dzieje się tak tylko wtedy, gdy „pałeczkowate” cząsteczki ustawione są prostopadle do powierzchni ekranu. Pod wpływem przyłożonego napięcia (rysunek po prawej) cząsteczki ciekłego kryształu obracają się, zmieniając swoje położenie, aż osiągną – przy maksymalnym napięciu – ustawienie równoległe do powierzchni wyświetlacza, przepuszczając całe wchodzące do komórki światło.

CHIP

(dla wyświetlaczy IPS obie płaszczyzny polaryzacji filtrów są ułożone w identyczny sposób). Do wytworzenia pola elektrycznego wykorzystywane są dwie elektrody, które w przypadku paneli IPS znajdują się na jednej powierzchni wyświetlacza. W przeciwieństwie do stosowanej w „prostych” ekranach TFT technologii TN ciekłe kryształy w monitorach IPS tworzą zawsze jednorodną strukturę, co ma korzystny wpływ na wygląd wyświetlanego obrazu. Z komórki wyświetlacza nie wydostaje się praktycznie żaden błędnie skierowany strumień światła, dzięki czemu możliwe jest uzyskanie czerni o dużym nasyceniu, a tym samym obrazu o wysokim kontraście.

Kto mnie tak rozprasza?

Niestety, technologia IPS ma również swoje wady. Obie elektrody pojedynczej komórki IPS położone są blisko siebie. Cząsteczki ciekłego kryształu znajdujące się w bezpośrednim sąsiedztwie elektrod – ze względu na zakrzywienie w tym miejscu linii pola elektrycznego – ustawiają się ukośnie w stosunku do powierzchni filtra polaryzacyjnego, co powoduje niepożądane rozproszenie światła. Wadę taką można wprawdzie ukryć, stosując czarną maskę dla niejednorodnych obszarów ekranu, ale zabieg ten pociąga za sobą dalsze zmniejszenie natężenia światła emitowanego przez wyświetlacz. Panele IPS wymagają więc mocniejszego oświetlenia tła niż np. wyświetlacze TN czy MVA (Multi-domain Vertical Alignment).

Kolejną słabą stroną konstrukcji IPS jest czas potrzebny do wytworzenia odpowiedniego rozkładu natężenia pola elektrycznego – jest on znacznie dłuższy niż w przypadku innych typów wyświetlaczy. Urządzenia

wykorzystujące technikę IPS reagują więc stosunkowo wolno na zmianę obrazu. Wyświetlacze IPS pierwszej generacji mają jeszcze jedną negatywną cechę: ten sam obraz wyświetlany przez dłuższy czas pozostawia na ekranie „cień” – podobnie jak zużyta lampa kineskopowa. Na szczęście po pewnym czasie takie niepożądane efekty same znikają. W najnowszych ekranach IPS tego typu usterka już praktycznie nie występuje. Poprawiono też kąt widzenia, który wynosi ok. 80 stopni.

Pobudzić piksele do świecenia

Ostatni krzyk mody w dziedzinie wyświetlaczy TFT pochodzi z firmy Fujitsu. Technika MVA – bo o niej mowa – ma szansę stać się nowym przebojem rynkowym. Tutaj cząsteczki ciekłego kryształu w stanie spoczynku są skośnie ustawione w stosunku do powierzchni wyświetlacza, pochłaniając całe światło – komórka ekranu jest ciemna. Sterując odpowiednio przykładanym do komórki napięciem, reguluje się kąt pochylenia molekuł, a więc jasność obserwowanego piksela. W przypadku paneli MVA jasność punktu jest ściśle uzależniona od kąta i miejsca, z którego obserwujemy obraz na ekranie.

Główną rolę w technice MVA odgrywa podział każdej komórki wyświetlacza na dwa lub więcej obszarów nazywanych domenami (stąd słowo multi-domain w nazwie technologii), w których znajdują się ukośnie ułożone w stosunku do siebie cząsteczki ciekłego kryształu. Jeśli się przyjrzymy się pod różnymi kątami pojedynczemu pikselowi podzielonemu na kilka domen, okaże się, że „błędy” powstające w poszczególnych obszarach komórki wzajemnie się znoszą. Ogólna jasność danego piksela pozostaje zachowana, a kontrast i paleta barw nie zmieniają się nawet

w przypadku dużego kąta widzenia sięgającego nawet powyżej 85 stopni.

Panele MVA charakteryzują się znacznie krótszym czasem reakcji niż wyświetlacze IPS. Ze względu na zastosowanie trójwymiarowych struktur (niezbędnych do podziału na domeny) wyświetlacze MVA są drogie w produkcji, a oferowana przez nie barwa czarna jest mniej nasycona niż w panelach IPS. Wszystko zatem wskazuje na to, że podstawową technologią wykorzystywaną w ciągu kilku najbliższych lat w monitorach LCD będzie w dalszym ciągu technika TFT-IPS.

oprac. Marcin Bieńkowski (jr)

INFO

Grupy dyskusyjne

Uwagi i komentarze do artykułu:

[news://news.vogel.pl/chip.artykuly](http://news.vogel.pl/chip.artykuly)

Pytania techniczne:

[news://news.vogel.pl/chip.hardware](http://news.vogel.pl/chip.hardware)

Internet

Historia odkrycia i wykorzystania ciekłych kryształów

http://www.sharp.ca/whats_lcd.html

Właściwości ciekłych kryształów

<http://abalone.cwru.edu/tutorial/enhanced/main.htm>

<http://bly.colorado.edu/lc/>

Technologia LCD

<http://www.pl.tomshardware.com/display/99q2/990630/index.html>

<http://www6.tomshardware.com/display/99q2/990624/index.html>

<http://www.smartcomputing.com/editorial/article.asp?article=articles%2Farchive%2Fg0903%2F36g03%2F36g03%2Easp&guid=wxjkupiu&searchtype=&WordList=>

<http://www.smartcomputing.com/editorial/article.asp?article=articles%2Farchive%2Fr0304%2F10r04%2F10r04%2Easp&guid=wxjkupiu&searchtype=&WordList=>