

Płaskie ekrany LCD

Aktualne i nowe technologie

Płaskie wyświetlacze są stosowane w odbiornikach telewizyjnych i monitorach komputerowych od wczesnych lat osiemdziesiątych. Dokładniej mówiąc, nazwą „płaskie wyświetlacze“ możemy objąć wszystkie elektroniczne urządzenia odtwarzające obraz z wyjątkiem kineskopów. Już w roku 1982 firma Sony rozpoczęła produkcję kineskopów z ekranem nie sferycznym, lecz walcowym (Trinitron).

Teraz świat czeka na wyświetlacz płaski i o małej grubości, który można będzie powiesić na ścianie jak obraz. Ku naszemu rozczarowaniu zagadnienie obniżania kosztów takich ekranów jest o wiele trudniejsze niż początkowo przewidywano.



Elektroniczne urządzenia odtwarzające obraz możemy podzielić na emisyjne oraz nieemisyjne. Pierwsza grupa obejmuje:

- lampy kineskopowe (ang. CRT - cathode ray tube);
 - wyświetlacze plazmowe (ang. PDP - plasma display panel);
 - wyświetlacze elektroluminescencyjne (ang. ELD - electroluminescent display);
 - próżniowe wyświetlacze fluorescencyjne (ang. VFD - vacuum fluorescent display);
 - diody emitujące światło (ang. LED - light-emitting diode);
- Do drugiej grupy należą:
- wyświetlacze ciekłokrystaliczne (ang. LCD - liquid-crystal display);
 - wyświetlacze elektrochemiczne (ang. ECD - electrochemical display);
 - wyświetlacze elektroforetyczne (ang. EPID - electrophoretic image display);
 - wyświetlacze z zawieszoną cząsteczką (ang. SPD - suspended particle display);
 - wyświetlacze ze skręconymi kulkami (ang. TBD - twisting ball display);
 - przezroczyste wyświetlacze ce-

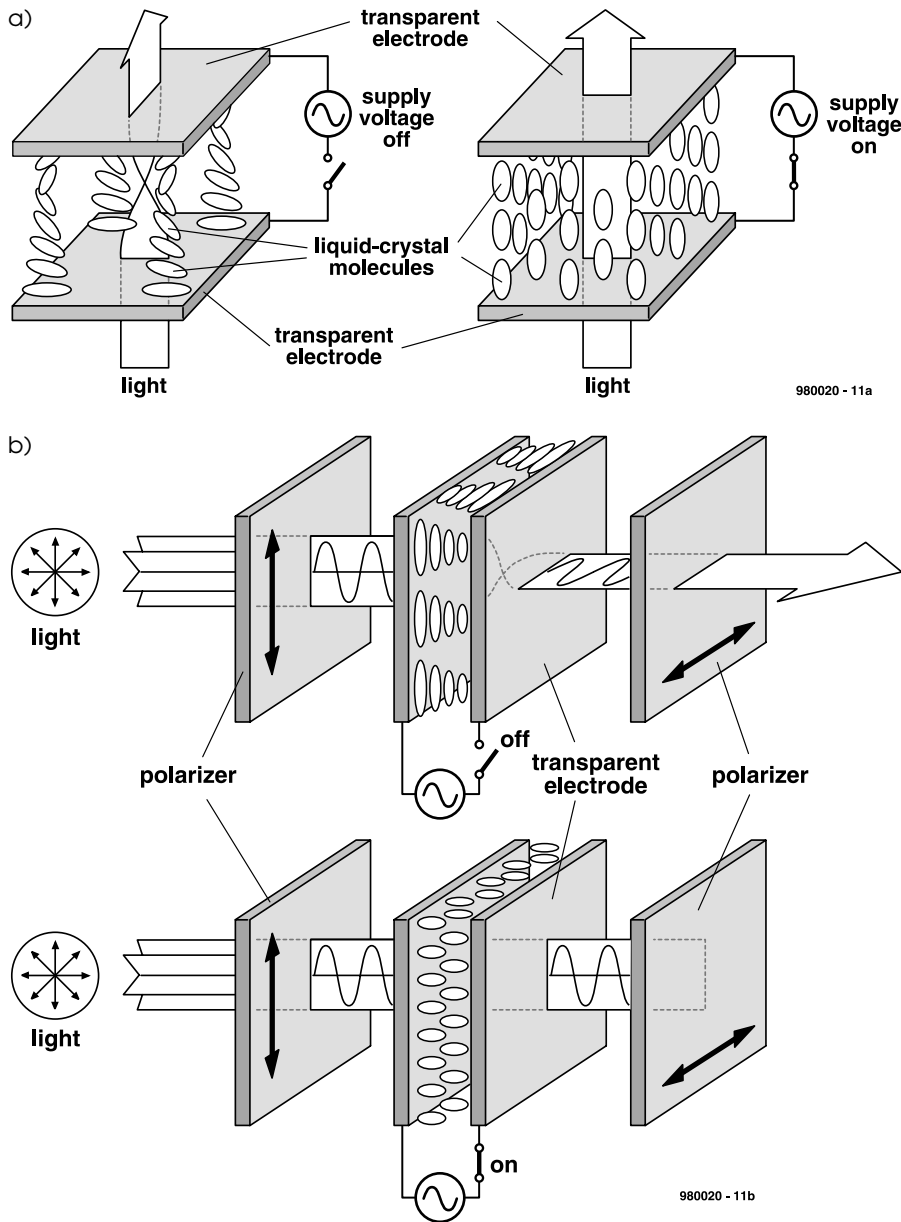
ramiczne (ang. PLZT - transparent ceramics display).

Jako pierwsza została opracowana technologia CRT, a było to w Niemczech w roku 1897 (Braun). Zegarki z wyświetlaczami LCD pojawiły się na rynku w Stanach Zjednoczonych w roku 1972. Pierwszy zegar z ekranem LCD został wykonany w Japonii w roku 1982 (Seiko). Diody LED zostały zastosowane w laserach w roku 1962 w Stanach Zjednoczonych. Pierwszy próbny telewizor z ekranem z diod LED został zaprezentowany w Japonii w roku 1979 (Sanyo).

Nie ulega wątpliwości, że przeważająca część prac badawczych nad płaskimi ekranami została wykonana - i w dalszym ciągu jest prowadzona - w Stanach Zjednoczonych.

Rynek

Kineskop, czyli technologia CRT mająca najdłuższą historię (101 lat), jest wciąż na czele peletonu przetworników obrazu, zarówno pod względem ekonomicznym, jak i najwyższej jakości obrazu: zajmuje prawie 85% światowego rynku. W roku 1987 setki



Rys. 1. Zasada działania ekranu z ciekłymi kryształami (LCD). Ciekły kryształ jest utrzymywany między dwiema szklanymi płytkami, a boki ekranu są zamknięte przez materiał uszczelniający, który zabezpiecza kryształ przed kontaktem z powietrzem i wypłynięciem.

wytwórni na całym świecie wyprodukowały łącznie 68 milionów kineskopów, a liczba ta w roku 2001 ma się zwiększyć do 85 milionów.

Drugie miejsce zajmuje technologia LCD mająca około 10% rynku. W roku 1997 ekrany LCD były produkowane w mniej więcej 30 wytwórniach. Wielkość obrazu (przekątna) większości ekranów wynosiła od 10 do 12 cali (część użyteczna obrazu: 9 do 11 cali).

Możliwa jest produkcja ekranów o większych wymiarach, lecz są one wykonywane w małych ilościach, ponieważ wymagają no-

wych urządzeń technologicznych, co podwyższa koszty. Eksplozja popytu na notebooki spowodowała wzrost zapotrzebowania wykraczający daleko ponad możliwości producentów. Są więc skłonni do inwestowania olbrzymich kwot w nowe maszyny, dopóki utrzymuje się tak korzystna koniunktura.

W roku 1997 zapotrzebowanie rynku na wyświetlacze LCD wynosiło 6,9 miliona egzemplarzy, natomiast możliwości produkcyjne tylko 4,3 miliona.

Niektórzy producenci zmieniają wyposażenie istniejących wy-

twórni albo od podstaw budują nowe, aby za około rok wypuścić na rynek wyświetlacze o przekątnej 14 cali (część użyteczna 13 cali). W każdym razie sądzimy, że ten kierunek rozwoju nie spowoduje obniżki cen, przede wszystkim dlatego, że wielu wytwórców LCD jest zarazem producentami display w technologii CRT, czyli lamp kineskopowych.

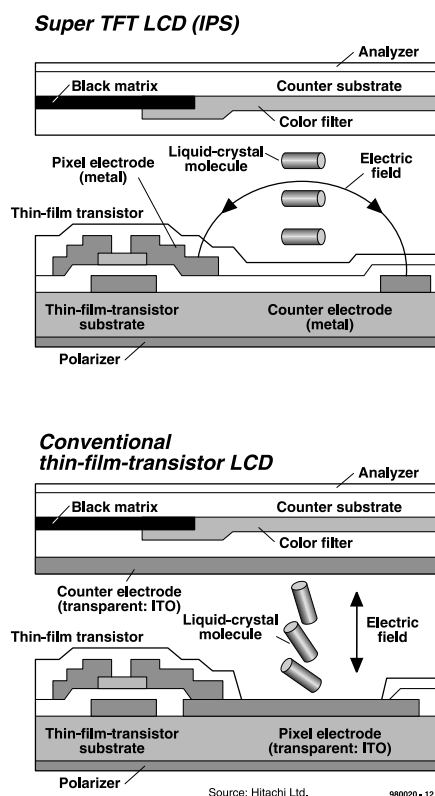
LCD kontra CRT

Z punktu widzenia użytkownika, technologia LCD doszła do punktu, w którym może zastąpić bardziej tradycyjną technologię CRT, przynajmniej w dziedzinie mniejszych ekranów. Postęp, jaki się dokonał w krótkim czasie, zapewnił polepszenie rozdzielczości oraz zwiększenie przekątnej ekranu. Mimo tego LCD charakteryzuje się wciąż ograniczonym kątem widzenia, mniejszym zakresem kontrastu, a także wyższą ceną od CRT o tej samej powierzchni (przekątnej) ekranu.

Zasada działania LCD

Napięcie zmienia orientację przestrzenną (ustawienie) kryształów wewnątrz wyświetlacza ciekłokrystalicznego (rys. 1). Zjawisko to pociąga za sobą takie zmiany jego własności optycznych jak: podwójnej refrakcji (załamania), rotacji optycznej (skręcanie płaszczyzny polaryzacji), rozpraszania światła, co manifestuje się widocznymi gołym okiem zmianami w przepuszczaniu światła.

Najpowszechniej stosowanymi rodzajami ekranów ciekłokrystalicznych są ekrany matrycowe z tranzystorami cienkowarstwowymi TFT (ang. thin film transistor) - ekrany aktywne - oraz ekrany STN (ang. super twisted nematic), w których ciekłym kryształem jest "skręcany" nematic - ekrany pasywne. W wyświetlaczu pasywnym dokonuje się modulacja światła wewnątrz komórek (pikseli) z ciekłym kryształem. Komórka (piksel) składa się z warstwy ciekłego kryształu, mającej grubość około 10 μm , zamkniętej między dwiema szklanymi płytkami, na których naniesione są przezroczyste elektrody. Na powierzchni elektrod są wykonane "rowki" (ściślej, wykonane różnymi metodami warstwy orientujące), nada-



Rys. 2. Ekran w technologii IPS lub TFT: skręcaniem cząsteczek kryształu sterują dwie elektrody, umieszczone po tej samej stronie ekranu.

jące orientację (ukierunkowanie) cząsteczkom ciekłego kryształu. Wszystkie "rowki" są zwrócone w tym samym kierunku i oddziałują na cząsteczki w sposób mechaniczny, to znaczy długie cząsteczki układają się wzdłuż "rowków" (rys. 1a i 1b).

Dzięki siłom międzycząsteczkowym przypadkowe ruchy kryształów wcale (lub prawie wcale) się nie zdarzają, wobec czego wszystkie przybierają identyczną orientację.

W standardowym wyświetlaczu rowki na jednej elektrodzie są prostopadłe do rowków na drugiej elektrodzie. W przypadku ekranu STN osie cząsteczek ciekłego kryształu są w sposób ciągły skręcane w miarę przesuwania się od jednej elektrody do drugiej, a sumaryczne skręcenie wynosi 90 stopni. Odległość, na jakiej odbywa się to skręcenie, jest duża w porównaniu do długości fali światła widzialnego i dlatego kierunek polaryzacji światła spolaryzowanego, padającego prostopadłe na jedną z elektrod, w miarę przechodzenia przez komórkę zostaje obrócony o 90 stopni.

Komórka nematiczna blokuje więc światło, gdy jest umieszczona między dwoma polaryzatorami o równoległych kierunkach lub przepuszcza światło po umieszczeniu między polaryzatorami ortogonalnymi (czyli o kierunkach wzajemnie prostopadłych).

Jeżeli do skręconej komórki nematicznej przyłożymy napięcie, to - począwszy od pewnego napięcia progowego U_{th} - osie molekuł zaczną ustawiać się wzdłuż pola elektrycznego. Gdy przyłożone napięcie osiągnie wartość około $2U_{th}$, większość cząsteczek będzie już ustawiona w kierunku linii sił pola. Przyczyna powodująca skręcanie płaszczyzny polaryzacji zostanie wyeliminowana. W tej sytuacji, odwrotnie niż przy braku napięcia, światło będzie przechodziło przez ciekły kryształ znajdujący się między polaryzatorami.

Taka sytuacja jest przedstawiona na rys. 1b. Rysunek ten pokazuje efekt elektrooptyczny skręconej komórki nematicznej umieszczonej między dwoma polaryzatorami ortogonalnymi. W tym przypadku światło przepuszczane jest bez przykładania napięcia, i przeciwnie, zatrzymanie światła następuje po przyłożeniu napięcia. Dla polaryzatorów równoległych zależność między przepuszczaniem światła a jego blokowaniem jest odwrotna. Zatem skręcane nematiczne LCD tworzą biały obraz na czarnym tle lub czarny obraz na białym tle.

Kolorowe (wielobarwne) wyświetlacze LCD zawierają dodatkowo barwny filtr przed każdym pikselem. Każdy piksel składa się z trzech niewielkich punktów: czerwonego, niebieskiego i zielonego. Oznacza to, iż wielobarwny ekran LCD zawiera trzy razy więcej pikseli niż można wnioskować na podstawie parametru rozdzielczości graficznej.

Tłem dla ekranu LCD jest źródło rozproszonego światła, zazwyczaj fluorescencyjne, znajdujące się za ekranem lub niekiedy z jego boku. Dyfuzor zapewnia równomierne padanie światła na całą powierzchnię ekranu.

Zasadniczą wadą LCD jest względnie mała ilość przepuszczanego światła: z reguły jest to od 3 do 5 procent. Ta niewielka skuteczność jest zawiniona częś-

ciowo przez polaryzatory (50%), a częściowo przez inne warstwy przezroczyste - głównie przez matrycę elektrod (30%).

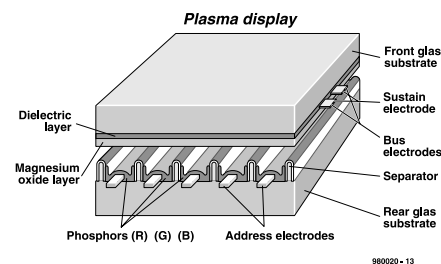
Producenci nieustannie poszukują możliwości zwiększenia skuteczności ekranów LCD - ich kontrastu - ponieważ parametr ten ma wielkie znaczenie dla użytkowników komputerów rodzaju laptop. W komputerach przenośnych czas pracy baterii jest jednym z najbardziej istotnych parametrów, z tego więc powodu każda poprawa efektywności jest przyjmowana entuzjastycznie.

Firma 3M opracowała folię, na powierzchni której znajdują się miliony maleńkich pryzmatów. Pryzmaty powodują, że możliwie duża ilość światła zbierana jest w "wiązki" i wyprowadzana z ekranu prostopadłe do jego powierzchni. Przy takim rozwiązaniu moc źródła światła można zmniejszyć o połowę.

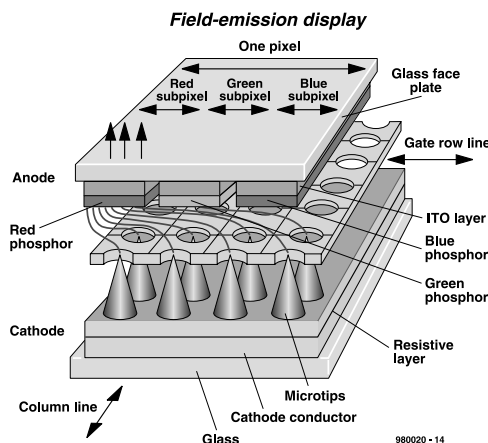
Aktywne czy pasywne

Jak wspomniano, ekrany (wyświetlacze) ciekłokrystaliczne istnieją w dwóch podstawowych rodzajach: pasywne (np. STN) oraz - znacznie bardziej kosztowne od poprzednich - aktywne (np. TFT).

W przypadku wyświetlaczy STN ciekły kryształ jest sterowany przez dwuwymiarową matrycę elektrod. Elektrody te (z $InSnO_2$) są nałożone na szklane podłoże. Napięcie przyłożone do dwóch skrzyżowanych elektrod - w tym miejscu jest piksel - zmienia orientację kryształu. Matryca jest sterowana na zasadzie skanowania (w trybie multipleksowym); metoda ta nie zapewnia dużych szybkości. Ponadto, zmiany pola elektrycznego w trakcie szybkich zmian obrazu (jak przy przewijaniu tekstu albo przesuwaniu kur-



Rys. 3. Ekran plazmowy PDP jest dobrą alternatywą LCD, lecz będzie dostępny w handlu dopiero za jakiś czas.



Rys. 4. W ekranach z emisją pola elektrony są wyrzucane z wierzchołków stożków na katodzie (w kineskopach do tego celu są stosowane rozgrzane katody). Strumienie elektronów aktywują luminofor, który może być identyczny ze stosowanym w kineskopach. To rozwiązanie tworzy obraz analogiczny do otrzymanego w kineskopie, lecz całe urządzenie jest płaskie i cienkie.

sora) wywołują denerwujące cienie. Kontrast i liczba reprodukowanych barw są ograniczone.

W ekranach rodzaju TFT każdemu pikselowi towarzyszy jeden tranzystor sterujący (stąd nazwa tego rodzaju ekranów). Tranzystor nałożony jest na jedną z dwóch szklanych płytek; można nim sterować precyzyjnie i z dużą szybkością. Ten rodzaj wyświetlaczy jest szczególnie dobrze dostosowany do pracy z dużą paletą barw i z szybko zmieniającymi się obrazami. Dzięki wzmacniającym właściwościom tranzystorów natężenie pola elektrycznego w komórce jest większe niż dałoby się uzyskać w ekranach pasywnych. Zyskiem dla użytkowników jest większy zakres kontrastu.

Kąt widzenia

Kąt widzenia ekranów LCD jest ograniczony do wartości 15..40 stopni i stanowi jeden z najważniejszych niedostatków ciekłych kryształów. Kontrast obrazu maleje w miarę zwiększania kąta, pod jakim patrzymy na ekran. Przy oglądaniu wielobarwnych obrazów cecha ta staje się bardzo denerwująca. Starając się rozwiązać problem, niektórzy producenci wprowadzili rozwiązanie zwane IPS (In Plane Switching Mode), bądź Super TFT. Zwiększają

one kąt widzenia nawet do niemal 140 stopni (zależnie od producenta).

Postęp techniczny zapewnia dodatkowe korzyści w postaci uproszczenia procesu technologicznego. Dwie elektrody, które przełączają piksel, są nakładane na szklany podkład jednocześnie z tranzystorami. Potencjał jest utrzymywany nie na całej powierzchni ekranu, lecz tylko w obrębie piksela. Rozwiązanie to pokazujemy na rys. 2.

W stanie spoczynku, gdy do piksela nie jest przyłożone napięcie, cząsteczki ułożone są równoległe do "rowków" w elektrodach. Nie występuje tu skręcanie cząsteczek, jakie widać na rysunku 1. Wzajemnie prostopadłe polaryzatory zapewniają blokowanie światła w dużym zakresie kątów widzenia ekranu, w efekcie ekran pozostaje czarny.

W roku 1997 na świecie funkcjonowały tylko 3 wytwórnie szklanych podłoży dla technologii LCD najnowszej generacji (wielkość 550 x 650 mm).

Jak widać na rys. 5, ten rozmiar podłoża jest idealny do produkcji ekranów o przekątnej 12 cali. Produkcja ekranów o innych wymiarach (większych) nie ma uzasadnienia ekonomicznego.

Po przyłożeniu napięcia cząsteczki ustawiają się zgodnie z kierunkiem linii sił pola, które są prostopadłe w stosunku do dotychczasowego ich położenia. Im silniejsze pole, tym większe skręcenie (rotacja) cząsteczek w kryształ, tym większa ilość światła jest przepuszczana.

PDP i FED

Kolejnymi ważnymi rodzajami płaskich ekranów są wyświetlacze plazmowe (PDP) oraz wyświetlacze emisyjne (FED).

Wyświetlacze plazmowe po raz pierwszy zostały opisane w roku 1954 (Skellet, Stany Zjednoczone). Pierwszy próbny telewizor z wielobarwnym ekranem PDP został wyprodukowany przez firmę NHK w roku 1978 (Japonia). Niedawno Fujitsu i Philips współpracowały nad konstrukcją ekranu telewizyjnego w tej technologii o przekątnej 41 cali. Jak dotąd

cena ekranów PDP jest zbyt wysoka do zastosowań w sprzęcie powszechnego użytku, lecz jest nadzieja na znaczną obniżkę kosztów w ciągu kilku najbliższych lat, ale jednocześnie kilka podstawowych problemów wciąż czeka na rozwiązanie.

Zasada funkcjonowania ekranu plazmowego jest widoczna na rys. 3. W obecnych rozwiązaniach do elektrod jest przykładany potencjał rzędu 1000V. Spodziewane jest obniżenie tej wartości do 60V już w bliskiej przyszłości, a w późniejszym czasie nawet do 10V.

Czas pracy ekranu PDP jest szacowany na 10 tys. godzin, czyli porównywalnie z typowym odbiornikiem TV. Obrazy wytwarzane przez aktualne modele ekranów plazmowych są dobre, lecz wciąż niewystarczająco dobre. Przy ruchomych obrazach często ukazują się szare „duchy“.

Wyświetlacze emisyjne FED łączą technologię CRT z elementami technologii LCD. Efektem tego połączenia jest doskonały obraz, charakterystyczny dla kineskopów, lecz wytwarzany na płaskim ekranie. Schemat budowy ekranu FED jest widoczny na rys. 4. Mówiąc w skrócie, wykorzystywane są w nim wiązki fosforu „zaświecane“ wiązką elektronów.

Katoda jest wykonana z paszków przewodnika, na który nałożone zostały stożki o mikroskopowych wymiarach (około 10 tysięcy na każdy piksel). Katoda spełnia tę samą funkcję co działło elektronowe w lampie kineskopowej (w technologii CRT). Potencjał 200-800V przyłożony między anodą a katodą powoduje aktywację luminoforu i generowanie światła.

Technologia FED jest jeszcze nowa. Dla projektantów są jednak dostępne przedprodukcyjne modele ekranów o przekątnych 5..6 cali.

Kineskop kontratakuje

W celu zapewnienia odpowiedniej wytrzymałości, kineskopy (pamiętajmy, że wewnątrz panuje wysoka próżnia) mają wypukłą przednią ściankę, na której jest tworzony obraz. Krzywizna ta powoduje zniekształcenie obrazu i zwiększa wrażliwość na odbicia światła.



Rys. 5. W procesie produkcyjnym LCD są wykorzystywane podłoża o stałych wymiarach. Zastosowanie innych wymiarów zmniejsza efektywność produkcji (zysk!) i pewnie dopiero za jakiś czas dostępne staną się ekrany o większych przekątnych.

Płaskie ekrany w technologii CRT, czyli mówiąc prościej lampy kineskopowe z niemal płaską powierzchnią ekranu, są w sklepach już od pewnego czasu, choć tylko z małymi przekątnymi. Niemniej możemy uznać, że Trinitron firmy Sony, Diamondtron firmy Mitsubishi, a także kineskop z "prowadniczą strumienia elektronów" firmy RCA, dostępne w rozmiarach sięgających 50 cali (pełny kolor), są wielkimi i płaskimi ekranami CRT.

Co więcej, niedawno wprowadzony do sprzedaży kineskop Sony Wega FD Trinitron ma naprawdę płaski ekran. Obraz tworzony przez ten kineskop może być oglądany pod dużymi kątami bez pogorszenia kontrastu i rozdzielczości barw. Wszystkie wymienione kineskopy nie powodują odbić światła, które denerwują widzów. Kineskopy te są już instalowane w najlepszych modelach odbiorników TV i monitorów komputerowych.

Rozwój technologii kineskopów z płaskimi ekranami w ciągu ponad 20 minionych lat polegał na pokonywaniu olbrzymich problemów technicznych. Jednym z nich było zaprojektowanie sztywnej konstrukcji mechanicznej, mogącej wytrzymać olbrzymie siły wynikające z próżni wewnątrz lampy. Proces produkcyjny wielkiej i ciężkiej lampy jest trudny i skomplikowany; materiałem produkcyjnym są gatunki szkła o najwyższych parametrach, stosowane także do wykonywania szyb samochodowych.

Kolejnym problemem jest maska, czyli płyta z małymi otworami zapewniającymi prawidłowy rozdział strumienia elektronów między trzy barwy podstawowe.

Trinitron zawiera jedno działo elektronowe z trzema katodami

usytuowanymi poziomo, maskę oraz pionowo ułożone paski luminoforu. Katody nachylone są do środka, strumienie elektronów krzyżują się dwa razy: pierwszy raz w elektronicznej soczewce ogniskującej, a następnie na masce. Ten rodzaj kineskopu jest lżejszy, a przy okazji tańszy w produkcji od kineskopów z trzema działami elektronowymi.

Dokładność ogniskowania strumienia elektronów ma podstawowe znaczenie dla jakości obrazu. Nowe technologie umożliwiły zmianę konstrukcji działa elektronowego i znaczne polepszenie jakości ogniskowania, dzięki czemu nie ma konieczności zwiększania głębokości lampy. Elektrody odchyłające mają większą powierzchnię, dodatkowo poprawiając precyzję odchylenia strumienia elektronów. Inne drobniejsze modyfikacje zmniejszają zniekształcenia wynikające z rozpraszania elektronów w punktach najdalszych od centrum ekranu, zapewniając utrzymanie ostrości obrazu na krawędziach i w narożnikach.

Inne firmy: Hitachi, Panasonic, LG, Samsung także opracowały własne konstrukcje płaskich kineskopów o przekątnych 17 i 19 cali. W najbliższym czasie zostaną one zastosowane w monitorach komputerowych i, oczywiście, w mniejszych odbiornikach telewizyjnych.

EE

Artykuł publikujemy na podstawie umowy z redakcją miesięcznika "Elektor Electronics".

Editorial items appearing on pages 17..21 are the copyright property of (C) Segment B.V., the Netherlands, 1998 which reserves all rights.