

# Annales Universitatis Paedagogicae Cracoviensis

Studia Technica IV (2011)

*Jerzy Zieliński, Marek Olifierczuk*

## Systemy projekcyjne – kierunki i perspektywy rozwoju

Displeje projekcyjne umożliwiające jednoczesną obserwację ekranu przez wielu odbiorców przeżywają w ostatnich kilku latach wprost lawinowy wzrost sprzedaży. W związku z obniżeniem się ich ceny wzrasta zainteresowanie nimi, zwłaszcza takimi systemami, które pozwalają na przedstawienie obrazu graficznego lub wideo, oczywiście koniecznie barwnego. Poza klasycznymi, profesjonalnymi zastosowaniami do zobrazowania sytuacji (np. w: centrach kierowania i dowodzenia, centrach konferencyjnych, w dużych audytoriach i aulach wykładowych, w centrach symulacji i treningu, na stadionach i innych dużych obiektach). Displeje coraz częściej wykorzystywane są do prezentacji dla kilku, kilkunastu słuchaczy na wykładach w szkole, na uczelni, w odprawach i naradach w przedsiębiorstwie, banku, czy wreszcie jako projektory telewizji – alternatywa dla wielkowymiarowych telewizorów plazmowych i ciekłokrystalicznych. Jak widać już z tego niepełnego zestawienia, powinny to być projektory o rozdzielczości co najmniej klasy XGA (768x1024 pikseli kolorowych), a najlepiej SXGA lub HDTV (1280x1024 pikseli kolorowych). Dodatkowo obraz musi charakteryzować odpowiedni kontrast i luminancja, która dla projektorów dla małych sal konferencyjnych nie powinna być mniejsza niż 200 lumenów, natomiast dla dużych centrów kontroli musi to być około 2000 lumenów.

W publikacji zostaną przedstawione aktualne rozwiązania stosowanych systemów projekcyjnych oraz potencjalna perspektywa możliwości zastosowania tych rozwiązań w projektorach multikina cyfrowego.

### Historia systemów projekcyjnych

Pierwszy patent opisujący system projekcyjny pochodzi z 1884 roku. W systemie tym miał być retransmitowany obraz 18 linii. Świadomie piszę „miał”, albowiem nie ma potwierdzenia, że taki system kiedykolwiek został zbudowany [1].

Pierwszy pracujący system został zaprezentowany w 1902 roku, projekcja 12,5 linii obrazu z częstotliwością 40 Hz odbywała się za pomocą dysku obracającego się z prędkością 30 000 obr./min. Uzyskany obraz był tak słaby, że mógł być obserwowany tylko w zupełnych ciemnościach.

Kolejne lata to czas pierwszych poważnych prac nad telewizją CRT, które to prace zepchnęły inne systemy trochę na dalszy plan. Ale również wówczas myślano o tym, jak powiększyć mały obraz z ekranu telewizora. W 1936 roku jeden z twórców systemu Microvision, (który umożliwiał uzyskanie obrazu o przekątnej 3”

z odległości 6”) powiedział: „nie wierzę, że ludzie będą woleli oglądać mały obraz jeśli za podobną cenę będą mogli nabyć system zobrazowania wielkoformatowego”.

Pierwszy poważny przełom w zainteresowaniu systemami projekcyjnymi pojawił się tak naprawdę w czasie II wojny światowej i bezpośrednio po niej, i był związany z koniecznością zobrazowania sytuacji widzianej przez radar. Kolejny krok milowy to 1946 rok i pierwszy programowalny komputer ENIAC (*Electronic Numerical Integrator and Computer*). Te przełomowe odkrycia uczyniły z systemów projekcyjnych nie tylko domową wideozabawkę, ale poważny system profesjonalnego kierowania i śledzenia obiektów.

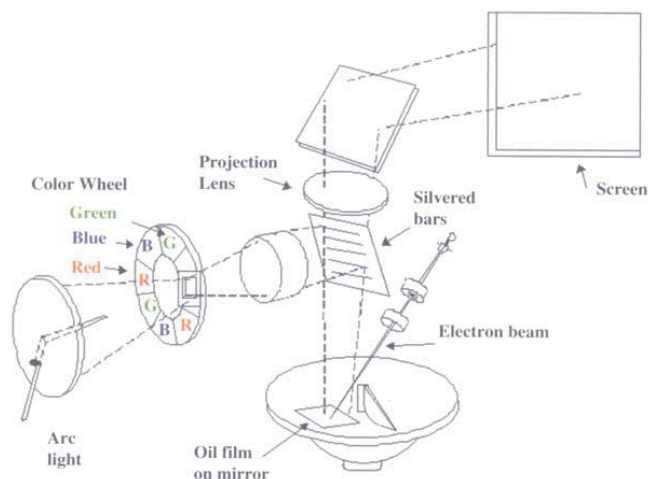
### Systemy projekcyjne z warstwą olejową

Pierwszy projektor tego systemu został skonstruowany w latach 1940–43 w neutralnej Szwajcarii [2] przez prof. Fritza Fishera pracującego w Technical Physics Department of the Swiss Federal Institute of Technology w Zurichu.

Systemy projekcyjne z warstwą olejową stosowane były do zobrazowania informacji w centrach kierowania lotami od II wojny światowej (początkowo były to systemy monochromatyczne). Nowsze wersje, pomimo bardzo wysokiej ceny, są (co prawda rzadko) wykorzystywane również dzisiaj. Ich podstawową zaletą jest bowiem bardzo duża jasność (dochodząca do 5000 lumenów) umożliwiająca pracę w bardzo dużych pomieszczeniach i jednocześnie obserwację nawet przez zespół kilkudziesięciu osób [3].

Typowy układ takiego systemu został przedstawiony na rysunku 1. Jest to połączenie Schilerenowskiego układu optycznego z modulującym wiązkę medium w postaci przezroczystej warstwy olejowej. Źródłem informacji jest działo elektronowe umieszczone poza osią wirującego talerzowego zwierciadła z warstwą olejową. Siły elektrostatyczne na powierzchni warstwy olejowej są źródłem deformacji o amplitudzie proporcjonalnej do intensywności zaburzenia wiązką elektronów. Źródłem światła jest lampa, która oświetla warstwę olejową przez serię zwierciadeł, w tym zwierciadło Schilerenowskie, które jest umieszczone tuż przed systemem soczewek rzutujących. Sferyczne zwierciadło z warstwą olejową odbija padające promienie. Światło z obszaru niezdeformowanego (klarownego) nie dociera do soczewek rzutujących i ten obszar na ekranie jest czarny. Światło z obszarów zdeformowanych daje natomiast impulsy na ekranie. Obraz kolorowy uzyskuje się przez złożenie trzech niezależnych systemów. Oczywiście system zapisu informacji pracuje w próżni.

Systemy „olejowe” są w pełni profesjonalne i komercyjne, i mogą odtwarzać obraz klasy HDTV o rozdzielczości 1125 linii. Typowa sprawność tego typu przetworników to 0,5–1,0 lumena/W. Ich wadą jest natomiast bardzo wysoka cena, jak i duże bieżące (codzienne) koszty eksploatacji [4–6].



Rys. 1. Olejowy przetwornik obrazu do systemów projekcyjnych (Eidophor, koncepcja F. Fischera ze Szwajcarskiego Federalnego Instytutu Technologicznego)

### Systemy projekcyjne z lampami CRT

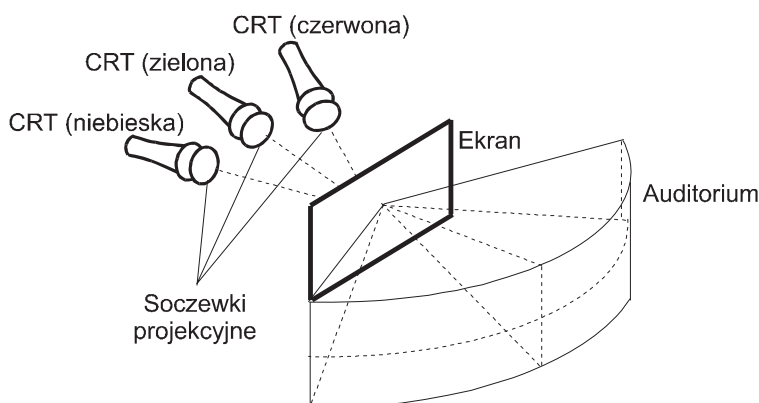
Wspomniane wyżej systemy rozwijane i badane praktycznie od odkrycia lampy Browna. Ich największa popularność przypadła na lata 70. i 80., obecnie – w nowo budowanych systemach – wykorzystywane coraz rzadziej. Szczytowym momentem w rozwoju projekcyjnych systemów z lampami CRT była komercyjna projekcja cyfrowego filmu *Gwiezdne wojny* w dwóch kinach Los Angeles i Nowego Jorku w 1999 roku [7]. W ten sposób zademonstrowano najdoskonalsze projektory z lampami CRT.

Elektronopromieniowe lampy projekcyjne swoją budową i konstrukcją odbiegają od tych, do jakich jesteśmy przyzwyczajeni w naszych domowych telewizorach, czy też komputerach. Przede wszystkim muszą one zabezpieczyć bardzo dużą jasność uzyskiwanego obrazu, taką aby możliwa była dalsza jego projekcja. Odbywa się to oczywiście kosztem czasu pracy takiej lampy oraz jej wielkości. Dlatego też typowe lampy projekcyjne są monochromatyczne i mają przekątną ekranu nie większą niż 10”.

W praktyce najczęściej wykorzystywany jest system oparty na trzech lampach projekcyjnych o przekątnej 5, 7, 9 lub 13 cali. Każda z lamp daje obraz monochromatyczny – czerwony, zielony lub niebieski, który następnie jest rzutowany na ekran, gdzie uzyskujemy obraz w pełni barwny. Rzutowanie może odbywać się albo z każdej lampy przez jej indywidualny układ soczewek bezpośrednio na ekran, lub też po jego złożeniu wewnątrz projektora przez jedną soczewkę i jeden układ projekcyjny. Ten drugi system jest oczywiście bardziej uniwersalny i np. po zmianie położenia projektora względem ekranu nie wymaga dodatkowego justowania.

W systemach projekcyjnych z lampami CRT wzajemnie sprzeczne są żądania jednoczesnego uzyskania dużej luminancji i rozdzielczości obrazu. Dla danego napięcia przyspieszającego wzrost luminancji wymaga większego prądu, co jest możliwe przez zwiększenie średnicy plamki elektronów, a zatem pośrednio wpływa na zmniejszenie rozdzielczości. Dodatkowo większa luminancja powoduje wyższą

temperaturę luminoforu, co dodatkowo wpływa na skrócenie czasu życia lampy CRT oraz wymusza stosowanie drogich systemów jej chłodzenia.



Rys. 2. System projekcyjny wykorzystujący lampy CRT (schemat działania)

Systemy ze zwielokrotnionymi lampami CRT są stosowane w złożonych układach profesjonalnych dla wielkich sal wykładowych i domów handlowych. Przez wykorzystanie do projekcji 6–12 lamp, czyli zestawienie 2–4 poprzednich systemów, można uzyskać znaczną poprawę zarówno luminancji, jak i rozdzielczości przy zachowaniu czasu bezawaryjnej pracy układu. Niestety uzyskiwane parametry są jeszcze niewystarczające zwłaszcza w zakresie rozdzielczości, aby można było stosować system do zobrazowania sytuacji, np. na stanowiskach kontroli lotów lub wysoko rozdzielczej grafiki komputerowej. System taki może być co najwyżej wystarczający do wiernego odtwarzania obrazów w standardzie NTSC. Kolejny ważny problem to trwałość luminoforu narażonego na bardzo trudne warunki pracy. Czas pracy luminoforu można zwiększyć albo zmniejszając maksymalną moc generowaną przez luminofor, albo obudowując lampę projekcyjną systemem chłodzącym.

Ze względu na fakt wykorzystania wielu lamp jednocześnie, znacznej komplikacji ulega układ optyczny, który musi skompilować jeden sygnał wyjściowy, barwny, o bardzo dużej rozdzielczości. Kolejnym problemem jest czas pracy lampy, który w profesjonalnych systemach graficznych nie przekracza 1000 godzin [8]. Dlatego też systemy projekcyjne z lampami CRT powoli wychodzą z użytku.

Wiek XXI należy do jakościowo nowych systemów, które, rozwijane od połowy lat 70., w bieżącym stuleciu osiągnęły dojrzałość technologiczną, co w połączeniu z rozwojem innych elementów, takich jak lampy, soczewki, integratory, czy wreszcie filtry, pozwoliły na znacząco poprawę jakości obrazu lub potaniecie projektora do poziomu średniej jakości telewizora. Mamy więc obecnie na rynku trzy nowe systemy projekcyjne:

- układy ciekłokrystaliczne, adresowane zarówno matrycą pasywną, jak i aktywną,
- systemy mikromechaniczne adresowanych cyfrowo DMD,
- ciekłokrystaliczne przetworniki obrazu.

Dwa pierwsze mają szansę spopularyzować projekcję obrazów wideo lub cyfrowych do poziomu powszechności telewizji, natomiast dwa ostatnie już w najbliższym czasie mogą zmienić obraz naszych kin. Dlatego też poniżej spróbujemy bliżej

przyjrzeć się zasadzie pracy tych systemów i ocenić ich potencjalne możliwości i bariery.

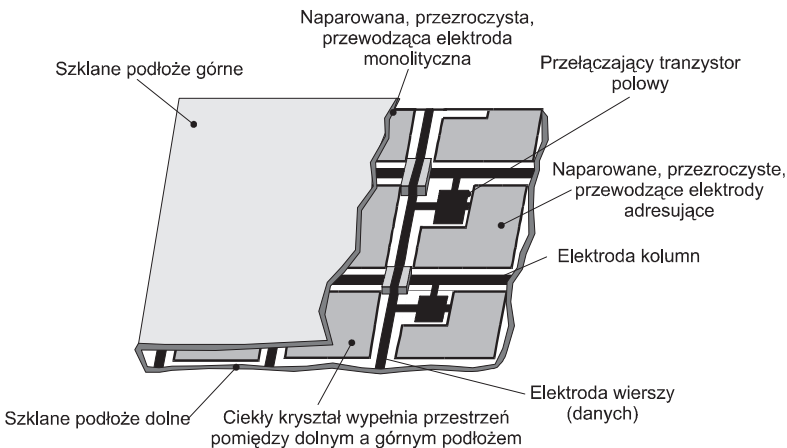
## Systemy projekcyjne z dysplejami ciekłokrystalicznymi

### Systemy adresowane elektronicznie

Displeje ciekłokrystaliczne wprowadziły bardzo poważne zmiany na rynku systemów zobrazowania, w tym również w zakresie wykorzystania systemów projekcyjnych. Były to pierwsze projektory o zwartej konstrukcji, stosunkowo lekkie, łatwe do przewożenia i uruchomienia w dowolnym miejscu, a dodatkowo niezbyt drogie. Pierwsze systemy pozwalały na dokładne przedstawienie prezentacji naukowej i biznesowej, później doszły projekcje krótkich filmów i wreszcie osiągnięto poziom wiernej prezentacji grafiki komputerowej i wideo na poziomie kina domowego. W systemach takich mogą być wykorzystywane displeje adresowane zarówno matrycowo, jak i analogowo [9].

Najogólniej rzecz ujmując, adresowanie matrycowe polega na wykorzystaniu struktury dyskretnej, która jest adresowana przez przyłożenie w odpowiednim czasie impulsów adresujących. Displeje adresowane analogowo – często nazywane przetwornikami obrazu – nie mają takiej dyskretnej struktury, a obraz jest przetwarzany „całą powierzchnią” displeja.

Schemat budowy ciekłokrystalicznego displeja adresowanego matrycą aktywną został przedstawiony na rysunku 3. Jedno podłoże, np. dolne, wykonane ze szkła lub kwarcu, jest podłożem „punktowym” zawierającym elektrody adresujące połączone ze sterującymi tranzystorami polowymi, które tworzą linie kolumn i wierszy. Drugie podłoże jest monolityczną elektrodą.



Rys. 3. Schemat budowy displeja ciekłokrystalicznego adresowanego matrycą aktywną

W tranzystorze sterującym konkretnym pikselem bramka jest podłączona do elektrod adresujących wierszem, natomiast źródło i dren do elektrod kolumn. Matryca takich tranzystorów jest adresowana przez odpowiednie *drivery*, które w przypadku wyświetlaczy dla systemów projekcyjnych mogą być zewnętrzne lub

monolityczne (zintegrowane) z matrycą aktywną. Dla displeja o dużych pojemnościach dodatkowo poza tranzystorem polowym formuje się kondensator „wspomagający pamięć”. To wszystko dla 768x1024x (3 kolory) lub 1024x1280x (3 kolory) oddzielnych punktów obrazu na powierzchni typowego przezrocza, czyli o przekątnej 1,3–3”.

Dla utrzymania stabilnej w czasie jakości obrazu w systemie projekcyjnym konieczne jest utrzymanie napięcia na pikselu z dokładnością lepszą niż 10%, co określa wymagania na stabilność parametrów ciekłego kryształu w czasie eksploatacji projektora (czyli kilka lat).

Wymagania na produkcję wyświetlaczy LC do systemów projekcyjnych spełniają tylko wybrane technologie (spośród możliwych do wykorzystania półprzewodnikowych technologii matryc aktywnych):

- tranzystory TFT na amorficznym krzemie ( $\alpha$  – Si),
- tranzystory TFT na polikrystalicznym krzemie (poly – Si), formowane w wysokich temperaturach ( $\sim 1050^\circ\text{C}$ ),
- tranzystory MOSFET formowane na monokrystalicznym krzemie (C – Si).

Zaletą **technologii  $\alpha$  – Si** jest możliwość osadzania warstwy aktywnej krzemu w stosunkowo niskich temperaturach – poniżej  $450^\circ\text{C}$ . W ten sposób szkło na podłożu nie musi spełniać ostrych wymagań temperaturowych. Cechą charakterystyczną struktur  $\alpha$  – Si TFT jest ograniczona ruchliwość nośników, co wpływa bezpośrednio na szybkość przełączania i możliwość budowy projektorów wideo o dużych rozdzielczościach. Niewątpliwą zaletą technologii  $\alpha$  – Si TFT jest natomiast możliwość wytwarzania różnych typów ciekłokrystalicznych displejów  $\alpha$  – Si zarówno tych do obserwacji bezpośredniej, jak i projekcyjnych na jednych liniach produkcyjnych. Wpływa to na znaczące obniżenie kosztów.

**Technologia poly – Si** może być realizowana w jednej z dwóch wersji:

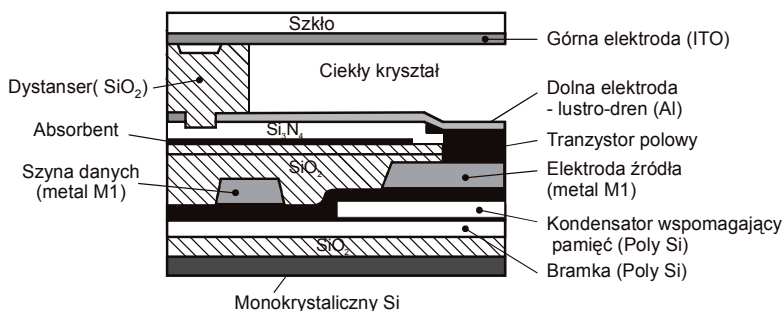
- wysokotemperaturowej HT – poly Si wymagającej temperatur rzędu  $1000^\circ\text{C}$  i więcej, i w tych warunkach podłożem musi być kwarc,
- niskotemperaturowej LT – poly Si wymagającej temperatur rzędu  $600^\circ\text{C}$ , w której podłożem może być również szkło.

Zaletą stosowania technologii HT – poly Si jest możliwość otrzymania struktur o niewielkich wymiarach geometrycznych, co pozwala na otrzymywanie wyświetlaczy o dużej pojemności i rozdzielczości przy jednocześnie dużej aperturze – ok. 60% dla piksela  $32\ \mu\text{m}$  (apertura – stosunek powierzchni przez którą przechodzi światło do całkowitej powierzchni punktu obrazu).

Ważną cechą displejów budowanych za pomocą technologii  $\alpha$  – Si i poly – Si jest utrzymanie w obszarze aktywnym warstwy przezroczystej dla światła widzialnego. Dzięki przezroczystości warstwy aktywnej w polu czynnym tego wyświetlacza może on pracować w modzie transmisyjnym zapewniającym dużą jasność otrzymanego obrazu oraz wierność odtworzonych barw.

Technologia bazująca na **krzemie monokrystalicznym** jest badana i stosowana głównie w budowie małych displejów – głównie przetworników odbiciowych. W tym przypadku cała struktura piksela i elektroniki bliższej jest wykonywana w jednej „bryle” monokrystalicznego krzemu klasycznymi technologiami stosowanymi przy wytwarzaniu układów CMOS. Jedyną modyfikacją technologii CMOS dla potrzeb LCD jest wytworzenie elektrody „dolnej” i pokrycie warstwą metalicznego

lustra o dużym współczynniku odbicia. Przekrój przez pojedynczy piksel takiej struktury jest przedstawiony na rys. 4.



**Rys. 4.** Przekrój poprzeczny przez pojedynczy piksel dysплея odbiciowego wykonanego w technologii monokrystalicznego krzemu

Bardzo ważnym problemem technologii na krzemie monokrystalicznym jest „wypoziomowanie” wszystkich mikrolusterek odpowiadających pojedynczym punktom obrazu – pikselom. W przeciwnym przypadku (gdy lustra nie są wypoziomowane) nie jest możliwe uzyskanie obrazu dobrej jakości. Dzieje się to dlatego, że już niewielkie nierówności położenia lusterek powodują niekorzystne, interferencyjne efekty optyczne w obrazie finalnym.

Biorąc pod uwagę, że cała struktura sterująca jest zbudowana w bryle półprzewodnika, apertura takiego dysплея jest znacznie większa niż dla technologii  $\alpha$ -, poly – Si naniesionego na podłoże szklane, gdzie struktura tranzystora sterującego musi być wykonana powierzchniowo. W tej strukturze nie ma również problemów z poprowadzeniem doprowadzeń wewnętrznych oraz wykonaniem dodatkowych układów sterujących i adresujących, które mogą być wykonane klasycznymi technikami stosowanymi w technologii układów scalonych.

Problemem jest natomiast potrzeba budowania bardziej złożonego układu optycznego do projekcji obrazu odbiciowego.

W tabelach 1 i 2 zestawiono wykorzystanie przetworników ciekłokrystalicznych do budowy systemów projekcyjnych.

**Tab. 1.** Typowe technologie przetworników ciekłokrystalicznych do budowy systemów projekcyjnych

Technologie	Przetwornik LC/wymiar	Firmy budujące (w oparciu o niego) systemy projekcyjne
$\alpha$ – Si krzem amorficzny	Sharp /6,4 cala	3M, Telex, Lightware & CTX, Sharp, Proxima, Prolux
	Sharp /3,1 cala	Sharp
	Fujitsu /3,1 cala	Fujitsu
poly – Si krzem polikrystaliczny	Sony /1,3 cala	Sony, CTX, Lightware, Sharp, Hitachi, Sanyo Eiki, Toshiba Elmo
	Epson / 1,3 cala	Epson, In Focus, ASK, NEC, Panasonic, JVC, Philips
krzem monokrystaliczny	IBM /1,3 cala	APTI, Electrohome
	JVC /0,9 cala	JVC
	Pioneer /0,9 cala	Pioneer

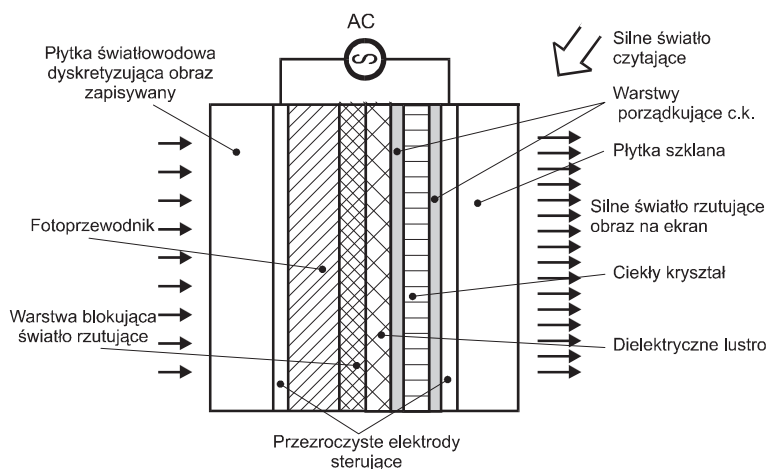
**Tab. 2.** Przykładowe matryce aktywne LCD wykorzystywane w systemach projekcyjnych.

Technologie	Producent	Przekątna (cale)	Rozdzielczość (liczba pixeli)	Apertura (%)
$\alpha$ -Si diody PIN DZR	FPD	5,8	756x756	43
TFD-R	FPD	2,8	640x480	45
$\alpha$ -Si:H TFT	NEC	4,2	1280x1024	35
HT p-Si TFT kolor	Seiko Epson	1,3	640x3x480	41
HT p-Si TFT	Sony	1,35 (HDTV)	1068x480	40
HT p-Si TFT	Sharp	2 (HDTV)	1280x1024	27
HT p-Si TFT	HDTEC	3,7 (HDTV)	1440x1024	70
HT p-Si TFT	Toshiba	3,3 (HDTV)	1840x1035	36
p-Si TFT PDLC	Mitsubishi	2,8	720x480	51,2

W przetwornikach dla systemów projekcyjnych przeważnie wykorzystywany jest efekt skręconego nematyka. Ma on bowiem tę niewątpliwą zaletę, że uzyskany efekt optyczny jest achromatyczny, a aktywny układ sterujący umożliwia uzyskanie nawet ponad  $100^\circ$  szarości, co w sumie daje bardzo wierne odtworzenie kolorów na ekranie. Dodatkowa zaleta to bogata baza mieszanin ciekłokrystalicznych umożliwiająca budowanie displejów pracujących w temperaturach  $10^\circ\text{C}$ – $70^\circ\text{C}$  bez żadnych specjalnych układów stabilizujących.

### Systemy adresowane optycznie – przetworniki obrazu

Poza elektronicznym adresowaniem matrycowym, wyświetlacze ciekłokrystaliczne mogą być **adresowane równoległe projekcyjnie**, np. za pomocą wysoko-rozdzielczej lampy CRT. Schemat budowy takiego przetwornika został pokazany na rysunku 5. Układ taki często jest nazywany wzmacniaczem obrazu, ponieważ obraz wejściowy o stosunkowo małej jasności jest wzmacniany przez przetwornik do wysokiej jasności przydatnej do rzutowania na dużym ekranie.

**Rys. 5.** Schemat budowy ciekłokrystalicznego wzmacniacza obrazu

Najważniejszą częścią (warstwą) wzmacniacza obrazu LCD, której jakość, jednorodność i właściwości fizyczne decydują o jakości przetwornika, jest warstwa



fotoprzewodnika. W stanie gdy na przetwornik z lewej strony nie jest rzutowany żaden obraz, napięcie na elektrodach sterujących jest dobrane tak, aby napięcie przyłożone do warstwy ciekłego kryształu było bliskie napięcia progowego. W chwili gdy z lewej strony jest rzutowany obraz wejściowy, padające światło powoduje proporcjonalne do swojej intensywności zmiany oporności fotoprzewodnika. Zmniejszenie (proporcjonalne do intensywności padającego światła) oporu elektrycznego fotoprzewodnika w pewnych obszarach analizowanego obrazu powoduje w tych miejscach wzrost napięcia na warstwie ciekłego kryształu i w ten sposób rzutowany obraz „odtwarza się” w warstwie ciekłego kryształu. W warstwie ciekłego kryształu dostajemy zatem pasywny „slajd”, który po oświetleniu z prawej strony mocnym światłem jest rzutowany na ekran. Jasność rzutowanego obrazu zależy od źródła oświetlającego i może być wielokrotnie większa od jasności lampy CRT. Z racji odbiciowego charakteru omawianego przetwornika LC ważną rolę odgrywają warstwa lustra dielektrycznego i warstwa blokująca. Warstwy te muszą zapewnić maksymalny współczynnik odbicia światła czytającego i zupełne jego zablokowanie – niedopuszczenie do warstwy fotoprzewodnika od lewej strony. W przeciwnym przypadku mocny strumień światła czytającego zakłóciłby obraz wczytywany w warstwie ciekłego kryształu.

Zazwyczaj w ciekłokrystalicznych wzmacniaczach obrazu stosuje się wysoce specjalizowane, wielowarstwowe lustra dielektryczne. Pojawiły się również rozwiązania z lustrem metalicznym mozaikowym izolowanym czarnym izolacyjnym matrixem. Lustro takie zapewnia lepszy współczynnik odbicia. Przyjmuje się, że dla dobrej pracy przetwornika do warstwy foto-przewodzącej nie może docierać więcej niż  $10^{-6}$  światła „czytającego” [10].

W ciekłokrystalicznym dyspleju wzmacniacza obrazu wykorzystywane są różne efekty elektrooptyczne, przy czym najczęściej jest to efekt TN o skręceniu  $45^\circ$ . Właśnie opierając się na tego typu przetworniku obrazu, zbudowano i zaprezentowano na konferencji SID'99 w San Jose projektor ILA<sup>®</sup> pierwszy ciekłokrystaliczny projektor o jakości umożliwiającej wyświetlanie panoramicznego obrazu kinowego.

W przypadku ILA<sup>®</sup> źródłem sygnału jest lampa CRT, zaś przetwornik ciekłokrystaliczny o strukturze przedstawionej na rys. 5. ma powierzchnię czynną  $51 \times 38$  mm. Przetwornik jest adresowany napięciem 10 V (2 kHz) przyłożonym do elektrod sterujących. Uzyskano w tym systemie szybkość przełączania lepszą niż 10 msek, czyli w zupełności wystarczającą do przedstawienia obrazu w ruchu. System ten ma trzy niezależne tory dla transmisji obrazu czerwonego, niebieskiego i zielonego, które przez trzy obiektywy są rzutowane na ekran. W tabeli 3 przedstawiono podstawowe parametry systemu. Wśród nich ważny jest stosunkowo wysoki współczynnik kontrastu. Wstępnie uważano, że wystarczający będzie współczynnik na poziomie 250:1. Jednak na ekranie kinowym taki obraz był niewyraźny.

**Tab. 3.** Parametry pierwszego ciekłokrystalicznego projektora ILA<sup>®</sup> dla systemów kina cyfrowego

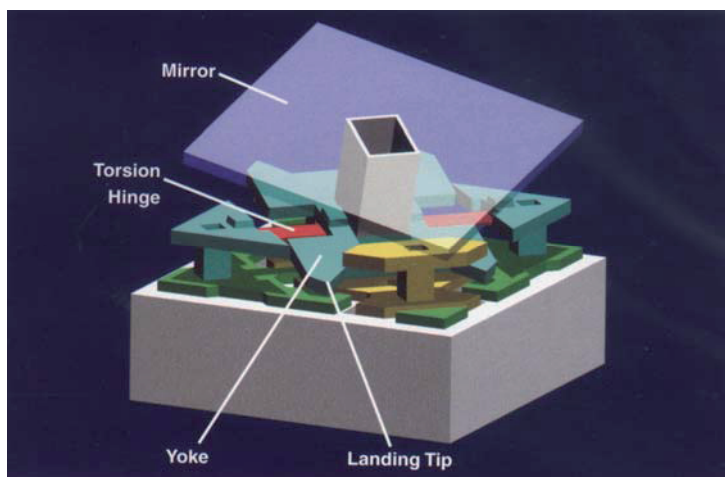
Apertura, stosunek wymiaru ekranu (możliwa jest ciągła zmiana)	1,33:1÷2,4:1
Lampa projekcyjna ksenonowa o mocy [kW]	7,0
Luminancja wyjściowa [lm] dla białego piksu 5600 [K]	17,000

Pozioma częstość przemiatania [Hz] (synchronizacja automatyczna)	15÷19
Pionowa częstość przemiatania [Hz] (synchronizacja automatyczna)	45÷120
Pasma Video [MHz]	150
Zniekształcenia:	
Poziome	±2°
Pionowe	±15°
Współczynnik kontrastu	>1500:1
Rozdzielczość [liczba linii TV]	>2000

Jednym z bardzo ważnych elementów toru optycznego systemu projekcyjnego są źródła światła. Dla systemów projekcyjnych lampa powinna dawać światło białe o bardzo dużej jasności. Nie ma na razie idealnego źródła światła. W profesjonalnych projektorach filmowych najczęściej wykorzystuje się lampy ksenonowe. Ich ogromną zaletą jest „kolor” światła, bardzo zbliżony do koloru światła słonecznego. Niestety lampy te wymagają specjalnych bezpiecznych sposobów mocowania – ze względu na wysokie ciśnienie panujące w lampie, oraz specjalnych źródeł zasilania dających wysokie napięcie zapłonu lampy i niższe napięcie pracy [8].

#### Mikrolusterkowe systemy projekcyjne

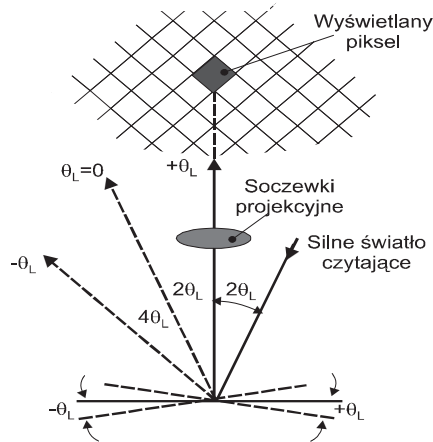
System Digital Micromirror Device (DMD) stanowi rozwinięcie idei pracy wcześniej opisanych systemów olejowych, których kolejnymi wersjami były dysплеje wyposażone w elastyczne folie odkształcone polem elektrycznym, zaś opracowany przez Texas Instrument i wdrożony do sprzedaży w 1995 roku system DMD oparty na odchylanych elektrostatycznie sztywne mikroz zwierciadełkach jest niemal doskonałym zwieńczeniem tego ciągu badań.



Rys. 6. Schemat budowy piksela systemu DMD

Podstawowym elementem displeja DMD jest układ scalony, z odchylonymi polem elektrycznym mikrozwierciadłami o powierzchni  $16 \mu\text{m}^2$  każde, który sterowany cyfrowo pozwala na rzutowanie obrazu piksela (ON-OFF) na ekran (rys. 6). Mikrozwierciadełko jest umieszczone w taki sposób, że może wykonywać niewielkie obroty  $\pm 10^\circ$  w stosunku do położenia podstawowego. Kiedy zwierciadło jest w położeniu  $+10^\circ$ , światło z zewnętrznego źródła odbija się od niego i przez układ soczewek jest rzutowany na ekran, gdzie jest wyświetlany jako jasny punkt. Kiedy zwierciadło odchyli się do stanu OFF ( $-10^\circ$ ), światło jest odbijane tak, że nie trafia na układ soczewek rzutujących i na ekranie otrzymujemy czarny punkt (rys. 7).

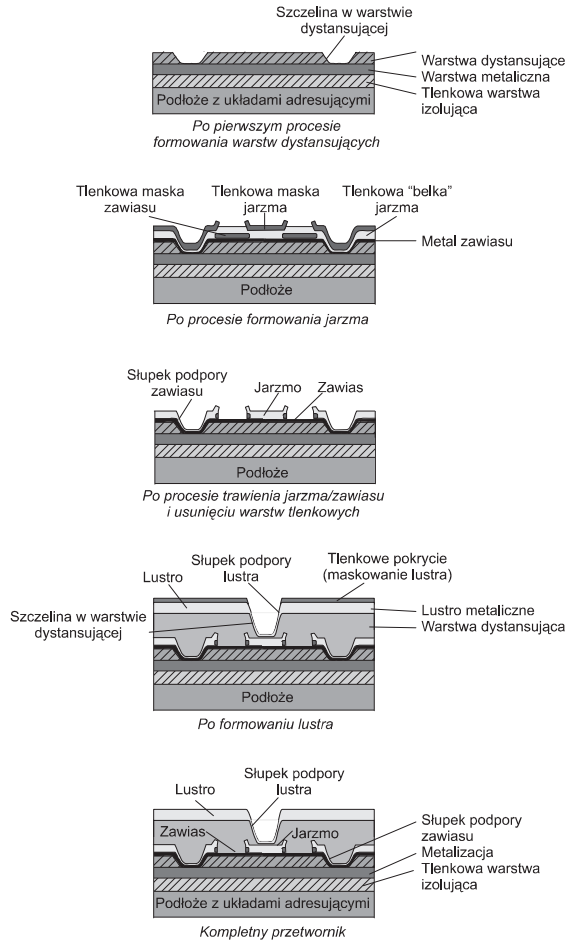
Układ jest wykonany w technologii typowej dla struktur scalonych (rys. 8). Przestrzeń jest wytwarzana trawieniem plazmowym pomiędzy warstwą metalu a strukturą układu. Przestrzeń ta pozwala na obrót struktury wokół dwóch zawiasów. Lustro jest połączone z jarzmem i wisi w powietrzu na dwóch „bardzo cienkich” zawiasach, które określają jego położenie.



Rys. 7. Warunki uzyskiwania obrazu w systemie DMD

Jarzmo jest elektrostatycznie przyciągane przez elektrody adresujące. Lustro z jarzmem obraca się, aż do chwili mechanicznego zatrzymania ruchu w jednym z położen równowagi. Położenia równowagi są określone przez pozycję lusterka  $+10^\circ$ ,  $-10^\circ$  stopni. Które lustro jest aktualnie obracane, wybiera natomiast układ adresujący. Kąt obrotu jest jednoznaczny, jest on bowiem ograniczony wymiarami geometrycznymi, a nie tylko siłami oddziaływań elektrostatycznych. Cyfrowy sposób adresowania wybranego lusterka i te powyższe jednoznaczne granice obrotu lusterek gwarantują bardzo wysoką jakość uzyskiwanego obrazu zarówno pod względem jasności, jak i jednorodności optycznej. Tak zbudowany układ zapewniał uzyskanie kontrastu na poziomie 200:1 jest to wartość zupełnie dobra dla zastosowań standardowych, ale dla systemów profesjonalnych konieczne było poprawienie kontrastu. Uzyskano to przez dodatkowy obrót lusterka (system SRV – *Small Rotated Via*), który pozwolił na poprawienie kontrastu do 310:1, właśnie taki układ został przedstawiony na rys. 6. Kolejne systemy to SMG – *Small Mirror Gap* – zmniejszenie lusterek do  $12\eta\text{m}^2$ , kontrast 410:1. Wreszcie najnowsze układy, w których

zlikwidowano odbicia od warstw wewnętrznych, pozwoliły na uzyskanie kontrastu 1000:1 w zupełności wystarczającego do realizacji projekcji kinowej. Opierając się na takich rozwiązaniach, pracuje m.in. system DLP Cinema™ opracowany przez Texas Instruments wraz z firmami współpracującymi.



Rys. 8. Schemat procesu wytwarzania struktur DMD

Elektrody adresujące zwierciadełko i jarzmo są połączone do wspólnej strony struktury układu scalonego, natomiast same jarzmo i zwierciadełko każdego pikse-la są połączone do elektrod odchylających wykonanych z potrójnej warstwy metalicznej. Odpowiednio regulując czas przykładanego sygnału, można uzyskać wiele stopni szarości zobrazowywanego obrazu. Przy 8-bitowym adresie obrazu może być przedstawiony w 256 stopniach szarości. Oczywiście układ pozwala na rzutowanie i przedstawienie obrazów kolorowych. Może to się odbywać przez zastosowanie trzech niezależnych torów rzutowania. Taki system zapewnia bardzo dużą jasność uzyskiwanego obrazu i wierność odtwarzania barw.

## Systemy projekcyjne dla kin

Pierwszy publiczny pokaz porównawczy dwóch systemów kina cyfrowego: ciekłokrystalicznego i mikrolusterkowego odbył się w czasie konferencji SID w 1999 roku w San Jose. Pokaz ten był zwieńczeniem cyklu badań i inauguracją nowego pola zastosowań systemów projekcyjnych nowej generacji.

Poza systemem ILA, którego parametry przedstawiono w tabeli 3, uruchomiono i przetestowano kilka innych systemów ciekłokrystalicznych, m.in. system SHD (*Super High Definition*) opracowany przez JVC (*Victor Company of Japan*), system kompleksowy złożony z serwera wideo, dekodera czasu realnego i projektora SHD. System był testowany w wielu kinach na całym świecie, a wyniki tych testów można w skrócie ująć następująco: system pozwala na uzyskanie obrazów o doskonałej rozdzielczości (3840x2048), bardzo dobrze odwzorowuje kolor, ale prezentowany obraz ma za małą jasność i kontrast. Najważniejszy w tym jest jednak fakt, że zaprezentowano system kompleksowy od serwera do projektora. Pozwala to na pełną ocenę możliwych korzyści i niebezpieczeństw wynikających z wykorzystania tej techniki.

Jednocześnie w wielu miejscach sprawdzono projektor DLP Cinema™ opracowany przez Texas Instruments wraz z firmami współpracującymi. Dotychczas zorganizowano ponad 30 000 projekcji w 40 miastach, które obejrzało ponad 2,5 mln. widzów. Wnioski z tych prezentacji, a zwłaszcza z pokazów równoległych – gdzie obok projekcji DLP był prezentowany klasyczny obraz z projektora kinowego – pozwalają na stwierdzenie, że obraz jest bardzo dobrej jakości, ostry, o dobrze odwzorowanych kolorach. Problemem jest natomiast stabilność tych kolorów w czasie projekcji.

W wyniku tych prac i badań w roku 2003 sformułowano wymagania rozdzielczości projektorów kinowych, i tak wprowadzono dwie normy:

- system 4k, pozwalający na projekcję panoramiczną super kina 4096x2048,
- system 2k, pozwalający na projekcję HDTV i kin średnich wymagań 2048x1080.

Otworzyło to nową erę kina, w której zniknie taśma celuloidowa, a w jej miejsce pojawi się dysk z pamięcią. Jednocześnie znacznie działać nowy wielki rynek systemów projekcyjnych. Oczywiście tych o najwyższej jakości, ale ułamki tych opracowań na pewno wpłyną na poprawę jakości systemów prostszych.

## Bibliografia

- [1] Brennessholtz M.S., *The Evolution of Projection Displays. Part I: From Mechanical Scanners to Microdisplays*, Information Display 5/08, 36, 2008
- [2] Johannes H., *The History of the EIDOPHOR Large Screen Television Projector*, Gretag Aktiengesellschaft, 1989, p. 110
- [3] Glenn W.E., *Principles of simulated – color projection television using fluid deformation*, SMPTE Journal, 79, pp. 788–794, 1970
- [4] <http://www.cinephoto.co.uk/eidophor.htm>
- [5] Glenn W.E., *New color projection system*, J. Opt. Soc. Am. 48, pp. 841–843 1958
- [6] True T.T., *High-performance video projector using two oil-film light valves*, SID Symposium Digest Tech Papers 18, pp. 68–71, 1987

- [7] Sterling R.D., Bleha W.P., *D-ILA technology for electronic cinema*, SID Symposium Digest Tech Papers 31, 310, 2000
- [8] Stupp E.H., Brennessholts M.S., *Projection Displays*, Wiley 1999
- [9] Behlmer C., – *Electronic Cinema Is Inevitable*. Information Display. v 15 nr 12, pp. 18-19, 1999
- [10] Hornbeck L.J. i in., *DLP Cinema™ Projectors, Enabling Digital Cinema*, SID 00 Digest, pp. 314-317, 2000

## **Projection systems – trends and development prospects**

### **Abstract**

In our paper the principle of the projection display work was introduced. It the principle of work and possible to obtainment parameters for: oil layers, lamp CRT, liquid crystals transducers, and micromirror systems was introduced. The perspective of utilization these systems in projectors of digital cinema was showed.