

K9

Stanisław BARTKIEWICZ

Instytut Chemii Fizycznej i Teoretycznej, Politechnika Wrocławska

Wrocław, Wybrzeże Wyspiańskiego 27

Fotorefrakcyjne ciekłe kryształy

Wstęp

Fotonika jest w przededniu wielkiego rozwoju. Ten stan porównać można do poziomu elektroniki we wczesnych latach czterdziestych XX wieku. Obecnie naukowcy w laboratoriach potrafią wykonać kilkanaście równoległych optycznych działań logicznych [1]. Najważniejsze z nich to:

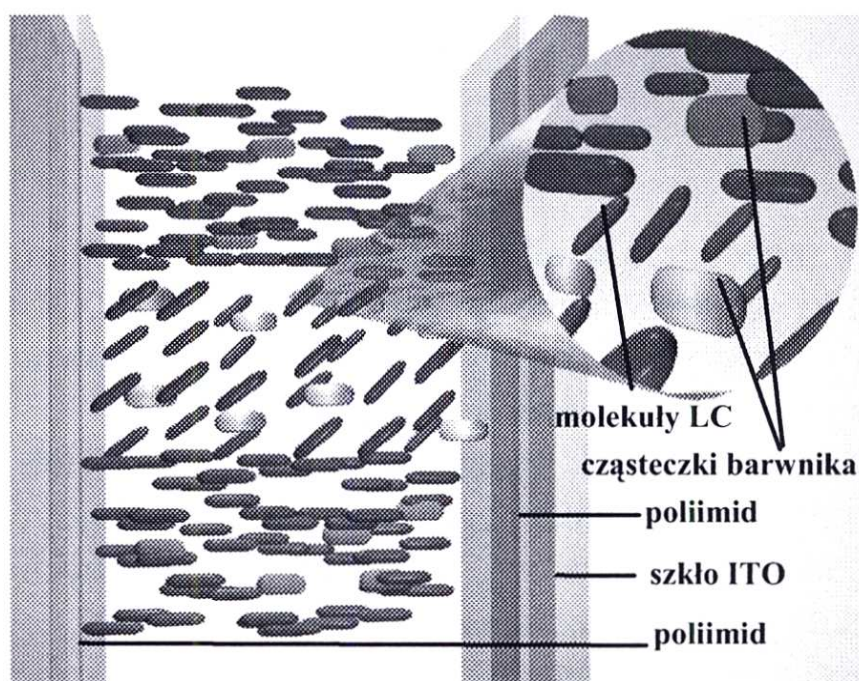
- korelacja optyczna, czyli wyszukiwanie zadanego (lub podobnego do niego) przedmiotu ze złożonego obrazu np. odnajdywanie odcisków palców w bazie przestępców, wykrywanie wadliwych elementów na taśmie produkcyjnej czy analiza zdjęć satelitarnych [2],
- filtry nowości – wskazywanie na obrazie elementów, które zmieniły swoje położenie, co jest szczególnie przydatne w badaniach biologicznych i w zastosowaniach wojskowych,
- logika skojarzeniowa, czyli porównywanie obiektów na zasadzie samouczenia się, tzw. sztuczna inteligencja,
- koniugacja fazowa – proces usuwania zakłóceń (odwrócenie strzałki czasu) powstałych w trakcie transmisji danych np. w światłowodach, który praktycznie eliminuje wszystkie błędy mogące powstać w trakcie przesyłania lub zapisu informacji.

Kluczem do stworzenia w pełni optycznych komputerów jest zastosowanie odpowiednich materiałów, które efektywnie potrafią przetwarzać informację niesioną przez światło. Obecnie największe nadzieje rozwoju fotoniki wiąże się z fotorefrakcyjnymi ciekłymi kryształami. Konstrukcje czterech typów paneli ciekłokrystalicznych przedstawiono na rysunkach 1 – 4.

Fotorefrakcja

Zjawisko fotorefrakcji zaobserwowano po raz pierwszy podczas eksperymentów transmisji światła przez medium krystaliczne. Wiązka światła uległa roz-

ogniskowaniu. Początkowo przypuszczano, że zaobserwowany efekt jest wynikiem trwałych zmian w strukturze materiału i nazwano go „zniszczeniem optycznym” [3]. Dokładniejsze badania wykazały jednakże, że wywołane zmiany w materiale są w pełni odwracalne, a dodatkowo, że zniekształcenia zależą od intensywności światła. Początkowo efekt ten obserwowano w grupie kryształów nieorganicznych i stąd klasyczna fotorefrakcja związana jest ze zjawiskiem nieliniowej odpowiedzi ośrodka na zaburzenie falą świetlną. Obecnie znamy wiele klas materiałów fotorefrakcyjnych i termin fotorefrakcja należy traktować bardzo szeroko jako wywołane światłem, odwracalne zmiany współczynnika załamania światła.

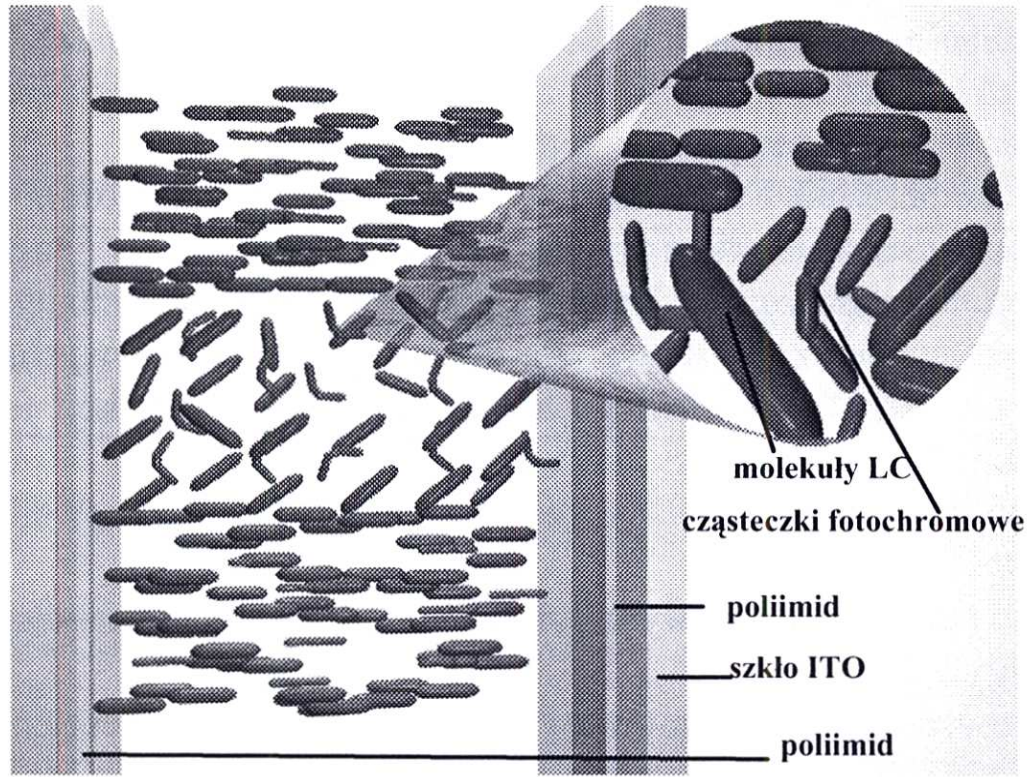


Rysunek 1. Schemat budowy panelu DDLCP

Droga prowadząca od aktu absorpcji fotonu do zmiany współczynników załamania światła może być bardzo prosta lub prowadzić przez wiele procesów pośrednich, w których mogą brać udział także zewnętrzne pola (np. elektryczne lub magnetyczne).

Wydajne materiały fotorefrakcyjne to przede wszystkim nieorganiczne kryształy LiNbO_3 , LiTaO_3 , $\text{KTa}_x\text{Nb}_{(1-x)}\text{O}_3$, BaTiO_3 , $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ (BSO), $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ (BGO), KNbO_3 a także polimery fotorefrakcyjne, które stanowią doskonały przykład osiągnięć inżynierii materiałowej.

Poza klasycznym zjawiskiem fotorefrakcji istnieje wiele mechanizmów, które mogą być praktycznie wykorzystane w procesach zmian współczynnika załamania światła. Do najbardziej efektywnych materiałów można zaliczyć polimery fotochromowe, kryształy fotoniczne i materiały ciekłokrystaliczne. Zwykle budowa takich układów jest złożona i realizacja efektu fotorefrakcyjnego zostaje dokonana poprzez połączenie kilku procesów. Zastosowanie inżynierii materiałowej w modelowaniu układów na poziomie molekularnym umożliwia dobór składników pod kątem optymalizacji efektu fotorefrakcyjnego.



Rysunek 2. Schemat budowy panelu PMLCP

W poszukiwaniu efektu fotorefrakcyjnego w ciekłych kryształach

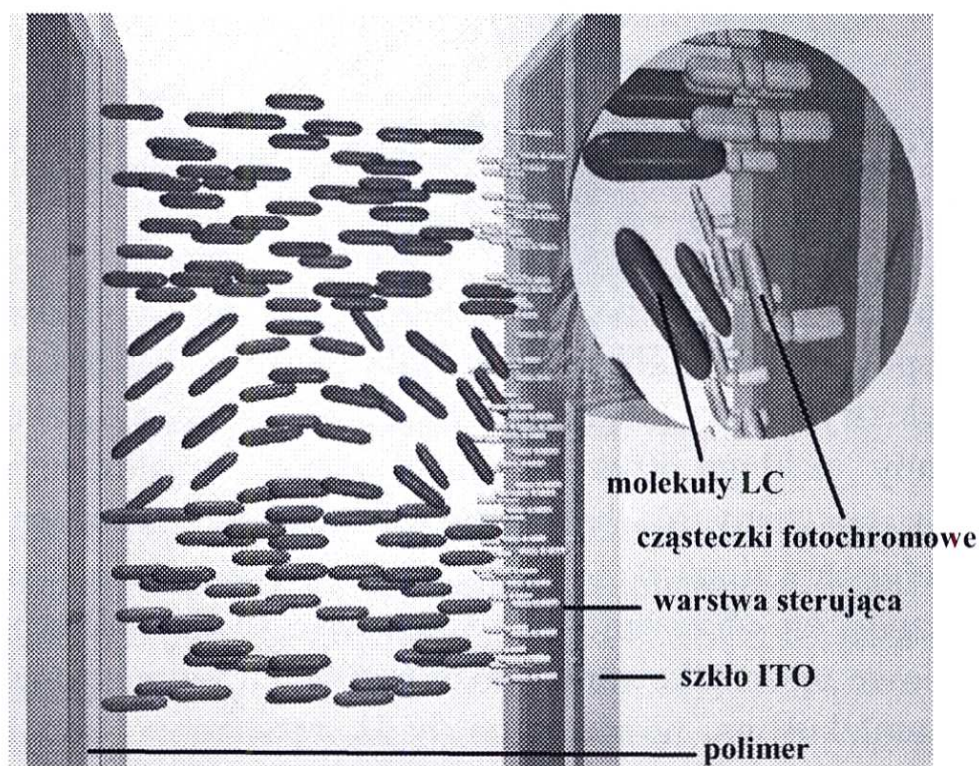
Unikalną właściwością ciekłych kryształów jest ich zdolność do zmiany efektywnego współczynnika załamania światła nawet o wartość 0,4 w wyniku działania pola elektrycznego lub magnetycznego. Jest to możliwe z uwagi na fakt, że molekuły ciekłego kryształu mają zwykle wydłużony kształt (np. „pałeczkowaty”) co sprawia, że charakteryzują się znaczącą anizotropią molekularnej polaryzowalności $\alpha_{\parallel} > \alpha_{\perp}$, a więc także dużą wartością dwójłomności optycznej, co obserwuje się w nematycznych ciekłych kryształach. Nematyczne osiowe uporządkowanie może być łatwo wymuszone poprzez siły zakotwiczenia molekuł na powierzchni bądź zewnętrzne lub lokalne pole elektryczne. Energia swobodna układu ciekłokrystalicznego może być zapisana w postaci:

$$F = \int \left[\frac{1}{2} K_1 (\nabla \cdot \mathbf{n})^2 + \frac{1}{2} K_2 (\mathbf{n} \cdot \nabla \times \mathbf{n})^2 + \frac{1}{2} K_3 (\mathbf{n} \times \nabla \times \mathbf{n})^2 \right] dV - \\ - \int \left[\frac{\Delta \epsilon}{2} (\mathbf{n} \cdot \mathbf{E})^2 + \frac{1}{2\mu_0} (\mathbf{n} \cdot \mathbf{B})^2 \right] dV + \frac{1}{2} \int W_o \sin \phi dS + F_{pc}$$

Zmiany uporządkowania trudno jednak wywołać bezpośrednio światłem z uwagi na niską wartość pola elektrycznego. Istnieje jednak wiele procesów,

które mogą być rozpatrywane w przypadku poszukiwania efektu fotorefrakcyjnego w ciekłych kryształach. Można wymienić najważniejsze z nich:

- a) nieliniowe optyczne procesy typu elektronowego,
- b) optyczne przejście Freedericksza (reorientacja molekularna),
- c) wzmacnione barwnikiem przejście Freedericksza,
- d) wywołane lokalnymi zmianami temperatury zmiany parametru uporządkowania ciekłego kryształu z włączeniem przemian fazowych,
- e) reorientacja molekuł ciekłego kryształu w wyniku reakcji fotochemicznych np. fotoizomeryzacji trans-cis,
- f) wspomagane przez zmiany na powierzchni uporządkowanie ciekłego kryształu,
- g) indukowane objętościowym fotoprzewodnictwem reorientacje direktora w ciekłym kryształach,
- h) indukowane powierzchniowym fotoprzewodnictwem reorientacje direktora.



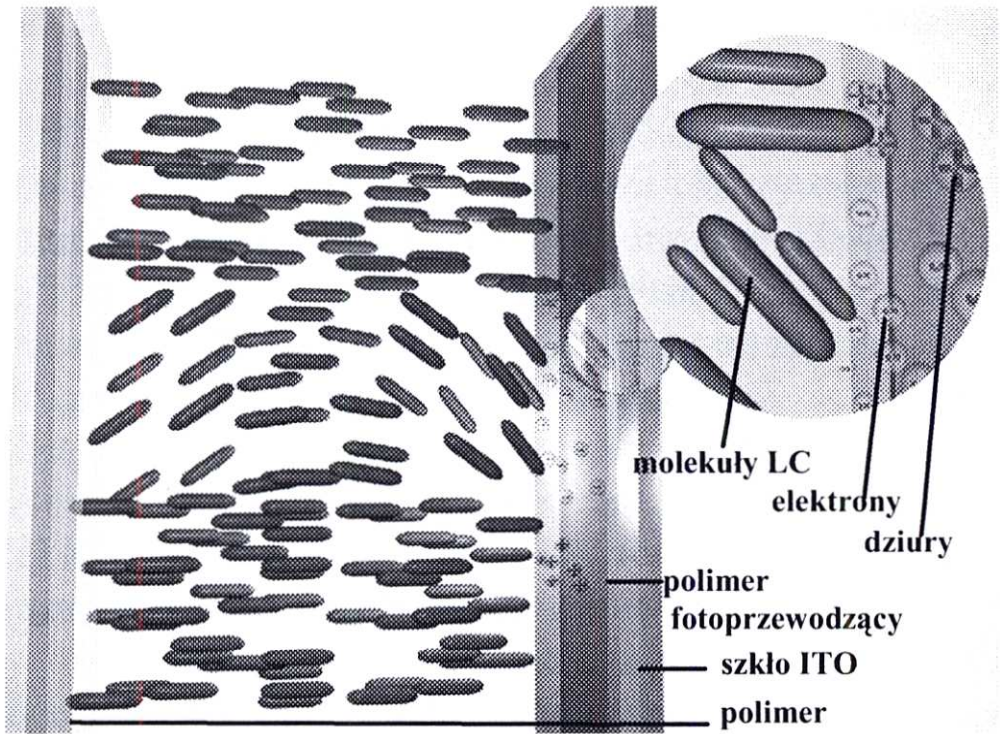
Rysunek 3. Schemat budowy panelu PALCP

Szczegółowa konstrukcja paneli ciekłokrystalicznych uzależniona jest od mechanizmu, który będzie dominował w procesie fotorefrakcyjnym. Kluczem do wytworzenia ciekłokrystalicznego materiału fotorefrakcyjnego jest zaprojektowanie układów hybrydowych, w których możliwa jest lokalna zmiana pola elektrycznego lub porządku wywołana światłem. Lokalną modulację pola elektrycznego można wywołać poprzez fotoprzewodnictwo. Zmiana porządku może być dokonana poprzez reakcje fotochromowe. Ponieważ wymienione procesy mogą zachodzić zarówno na powierzchni komórek, jak i w objętości panelu, możemy mieć do czynienia z czterema mechanizmami prowadzącymi do

wystąpienia fotorefrakcji. Zestawienie mechanizmów i odpowiadających im typów paneli przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie mechanizmów fotorefrakcyjnych występujących w panelach LC

Mechanizm	Typ panelu	Oznaczenie	Odnośniki
Objęściowe fotoprzewodnictwo	Panel ciekłokrystaliczny domieszkowany barwnikami lub kryształami	DDLCP (z ang. Dye-Doped Liquid Crystal Panel)	[4-6]
Objęściowa zmiana porządku	Fotochromowy panel ciekłokrystaliczny	PMLCP (z ang. Photochromic Molecules Liquid Crystal Panel)	[7]
Zmiana porządku na powierzchni	Panel ciekłokrystaliczny z warstwą orientującą	PALCP (z ang. Photo-Aligning Liquid Crystal Panel)	[8]
Powierzchniowe fotoprzewodnictwo	Panel ciekłokrystaliczny zawierający fotoprzewodzący polimer	HPLCP (z ang. Hybrid Photoconducting polymer Liquid Crystal Panel)	[9-14]



Rysunek 4. Schemat budowy panelu HPLCP

Najbardziej spektakularne właściwości fotorefrakcyjnych ciekłych kryształów to:

- niska intensywność światła wymagana do sterowania panelu (100 mW/cm^2),
- duża powierzchnia aktywna (powyżej 10 cm^2),

- mała grubość paneli (1 – 50 μm),
- niskie napięcie pracy (5 – 20 V),
- szybki czas odpowiedzi (1 ms),
- odczyt hologramu zależny od stanu polaryzacji światła (konfiguracja „p” i „s”),
- cienkie siatki holograficzne (możliwy odczyt siatki pod dowolnym kątem),
- znaczna wydajność dyfrakcji (do 45%)
- duża wartość eksponencjalnego współczynnika wzmocnienia (do 4000 cm^{-1}),
- dobra rozdzielczość (do 300 linii na milimetr),
- długi czas życia i odporność na zniszczenie (powyżej 7 lat).

Literatura

1. Bartkiewicz S. *Fotorefrakcyjne ciekłe kryształy* (Oficyna Wyd. PWr, Wrocław 2004).
2. Bartkiewicz S., Sikorski P., Miniewicz A., *Opt. Lett.* **23**, 1769 (1998).
3. Ashkin A., Boyd G.D., Dziedzic J.M., Smith R.G., Ballman A.A., Levinstein, Nassau K., *Appl. Phys. Lett.* **9**, 72 (1966).
4. Bartkiewicz S., Januszko A., Miniewicz A., Parka J., *Pure Appl. Opt.* **5**, 799 (1996).
5. Miniewicz A., Bartkiewicz S., Parka J., *Opt. Commun.* **149**, 89 (1998).
6. Sahraoui B., Fuks-Janczarek I., Bartkiewicz S., Matczyszyn K., Mysliwiec J., Kityk I.V., Berdowski J., *Chem. Phys. Lett.* **365**, 327 (2002).
7. Matczyszyn K., Sahraoui B., Bartkiewicz S., *Opt. Mat.* **20**, 57 (2002).
8. Bartkiewicz S., Matczyszyn K., Mysliwiec J., Yaroshchuk O., Kosa T., Palffy-Muhoray P., *Mol. Cryst, Liq. Cryst.* **412**, 301 (2004).
9. Bartkiewicz S., Kajzar F., Miniewicz A., Zagorska M., *Appl. Opt.* **37**, 6871 (1998).
10. Kajzar F., Bartkiewicz S., Miniewicz A., *Appl. Phys. Lett.* **74**, 2924 (1999).
11. Bartkiewicz S., Matczyszyn K., Miniewicz A., Kajzar F., *Opt. Commun.* **187**, 257 (2001).
12. Bartkiewicz S., Miniewicz A., Sahraoui B., Kajzar F., *Appl. Phys. Lett.* **81**, 3705 (2002).
13. Kajzar F., Bartkiewicz S., Miniewicz A., *Modulateur spatial de lumiere optiquement adressable a structure polymerique et cristal liquide*. Patent francuski **12889.3/PM BD 1215** (1997) oraz patent europejski **EP n° 13566** (1998).
14. Miniewicz A., Bartkiewicz S., Parka J., *Opt. Commun.* **149**, 89 (1998).