

Ciekłe kryształy

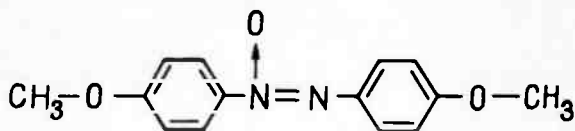
Określenie grupy związków organicznych pojęciem "Ciekłe kryształy" zostało wprowadzone pod koniec ubiegłego stulecia przez niemieckiego fizyka O. Lehmana, kontynuatora prac austriackiego botanika F. Reinitzera. Reinitzer jako pierwszy zaobserwował, że benzoesan cholesterolowy po stopieniu się w 145°C przechodzi w mętną ciecz, która po ogrzaniu do temperatury 179°C staje się jasna, klarowna i nie zmienia się w wyższych temperaturach. Lehmann przy pomocy mikroskopu polaryzacyjnego zaobserwował, że mętna faza jest optycznie anizotropowa i nazwał ją fazą mezomorficzną /krócej mezofazą/, której obecność charakteryzuje ciekłe kryształy. Zakres temperatur istnienia mezofazy jest różny dla różnych substancji i waha się od kilku do kilkadziesiąt stopni w granicach temperatur od -20°C do $+250^{\circ}\text{C}$. Ogrzewanie substancji ciekłokrystalicznej powyżej górnej granicy temperatury istnienia mezofazy prowadzi do kolejnego przejścia fazowego - do stanu cieczy izotropowej. Ostatnie badania uczonych pozwoliły ustalić, że co 200-ny związek organiczny ma własności ciekłokrystaliczne [1,2].

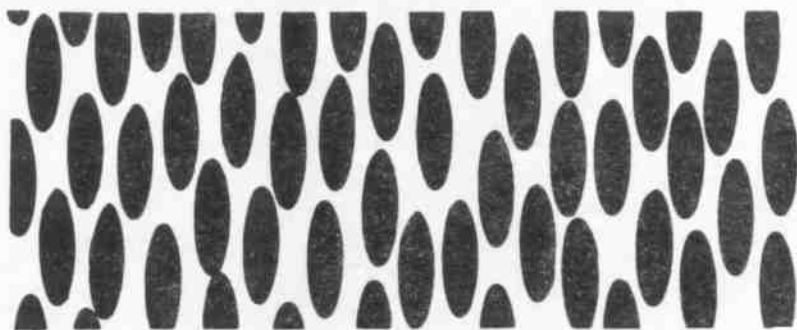
Anizotropowe własności fizyczne mezofazy zależą od występującego w niej molekularnego uporządkowania dalekiego zasięgu. Znaczący to, że cząsteczki ośrodka, zachowując możliwość przesunięć typową dla stanu ciekłego, równocześnie zachowują określoną orientację jedną względem drugiej. Orientacja ta rozciąga się na duże obszary, podobnie jak uporządkowanie cząsteczek lub atomów w monokryształach. Wszystkie ciekłe kryształy mają wydłużone cząsteczki o kształcie sztywnych pałeczek lub elipsoid z wbudowanymi polaryzowalnymi grupami aromatycznymi i grupami polarnymi.

Substancje o własnościach ciekłokrystalicznych różnią się między sobą strukturą nadmolekularną. W 1922 r. Friedel wprowadził podział ciekłych kryształów na trzy grupy: 1/ nematyczną, 2/smektyczną, 3/ cholesterolową.

FAZA NEMATYCZNA [3,4,5,6]

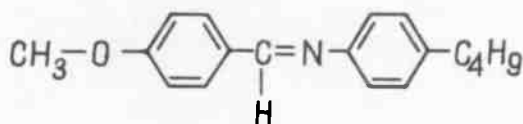
W fazie nematycznej środki ciężkości molekuł ułożone są chaotycznie, jak w zwykłej cieczy, lecz orientacja molekuł nie jest przypadkowa /rys. 1/. Cząsteczki ciekłych kryształów nematycznych dają układ liniowy, ich długie osie są do siebie równoległe, lecz nie są ułożone w warstwy. Klasycznym przykładem substancji nematycznej jest p-azoksyanizol/PAA//zakres fazy nematycznej $116-136^{\circ}\text{C}$ /





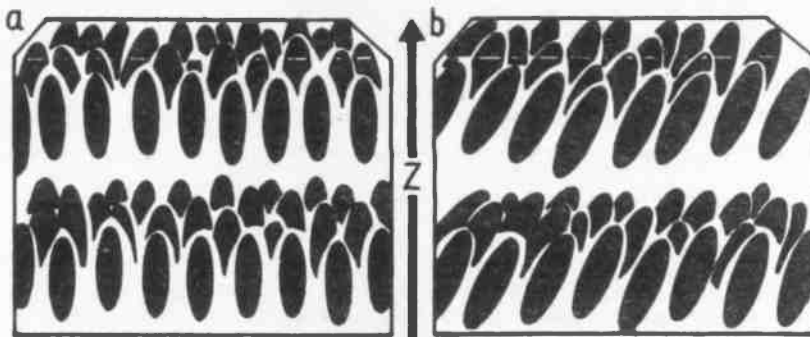
Rys. 1. Liniowy układ cząsteczek fazy nematycznej

oraz niedawno zsyntetyzowana metoksybenzylidenobutyloanilina /MBBA/ /zakres fazy nematycznej 20 - 42°C/



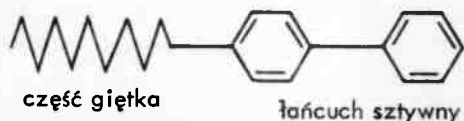
FAZA SMEKTYCZNA [3]

Cząsteczki fazy smektycznej ułożone są w serie warstwowe jedna przy drugiej. Długość osie wszystkich molekuł w danej warstwie są równoległe do siebie i prostopadłe do płaszczyzny warstwy /rys. 2/. Energia wywołana zmianą temperatury wystarcza na



Rys. 2. Warstwowa struktura smektycznych kryształów

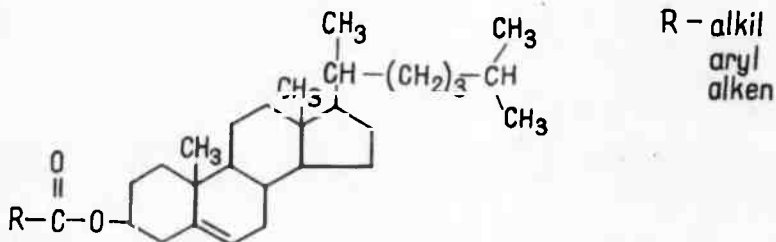
zwolnienie więzów między warstwami, a nie powoduje rozpadnięcia się samych warstw. Warstwy te mogą łatwo przesuwać się względem siebie, co jest przyczyną, że ciekły kryształ ma niewielką lepkość i płynie. Wiele substancji z wydłużonymi cząsteczkami może dawać fazę smektyczną. Schematycznie cząsteczkę substancji tej można przedstawić za pomocą wzoru:



Podczas ogrzewania substancji zawierających taki układ atomów w cząsteczce często zachodzą następujące zmiany faz: ciało stałe \rightarrow faza smektyczna \rightarrow faza nematyczna \rightarrow ciecz izotropowa/jeśli molekuly mają prawą i lewą symetrię/ lub przejście: ciało stałe \rightarrow faza smektyczna \rightarrow faza cholesterolowa \rightarrow ciecz izotropowa/jeśli struktura ma aktywność optyczną/. Przejścia fazowe pozwoliły na określenie kilku rodzajów struktur smektycznych. Najprościej opisane są: A-struktura nematyczna /rys. 2a/, w której molekuly są prostopadłe do płaszczyzny warstwy i C-struktura - osie cząsteczek tworzą pewien kąt z normalną do płaszczyzny warstwy, zmieniający się w zależności od temperatury /rys. 2b/.

FAZA CHOLESTEROLOWA [3,14]

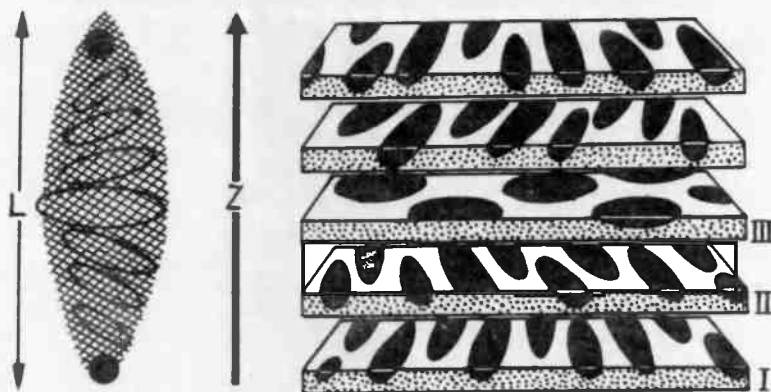
Bardziej złożoną geometrię rozkładu cząsteczek ma mezofaza cholesterolowa. Typowymi związkami tworzącymi tego rodzaju fazę są estry cholesterolowe, stąd nazwa fazy, chociaż obecnie znane są związki tworzące fazę cholesterolową, a nie będące pochodnymi cholesterolu. Sam cholesterol nie ma własności ciekłokrystalicznych.



Mezofaza cholesterolowa stanowi zespół równoległych płaszczyzn zawierających cząsteczki, których długie osie są równoległe do płaszczyzny i jednocześnie równoległe względem siebie.

W płaszczyźnie zorientowane są aromatyczne części cząsteczek, a przestrzeń między płaszczyznami wypełniają części niearomatyczne, głównie łańcuchy pochodnych wyższych kwasów tłuszczowych. W efekcie cząsteczki wbudowane w jedną płaszczyznę tworzą pewien stały kąt z cząsteczkami wbudowanymi w drugą płaszczyznę. Cała struktura ma charakter periodyczny, tj. w odległości L zwanej okresem struktury występują warstwy o tej samej orientacji /rys. 3/. Uporządkowaną strukturę cholesterolową przyjęto charakteryzować za pomocą osi spirali. Struktura, w której wszystkie cząsteczki są zorientowane równoległe do płaszczyzn ograniczających, charakteryzuje się osią spirali skierowaną prostopadle do tych płaszczyzn. Gdy uporządkowanie rozciąga się na dostatecznie dużym obszarze, otrzymamy ciekłokrystaliczny odpowiednik monokryształu. Ten rodzaj struktury cholesterolowej nazwano teksturą płaską lub teksturą Grandjena. Odpowiednikiem polikryształu jest tzw. tekstura konfokalna. Cały obszar

ciekłego kryształu rozbity jest na podobszary o przypadkowej orientacji osi spirali, występuje silna opalescencja, ciecz jest mętna i nieprzezroczysta. Tekstura płaska jest niestabilna energetycznie i samorzutnie przechodzi w teksturę konfokalną.



Rys. 3. Cholesterolowa spirala

WŁASNOŚCI FIZYCZNE SUBSTANCJI CIEKŁOKRYSTALICZNYCH [7,8,9,10,11,12]

Własności optyczne

Podstawową rolę w strukturze cholesterolowej odgrywają trzy zjawiska:

1. aktywność optyczna,
2. dichroizm kołowy,
3. selektywne odbicie światła.

Aktywność optyczna fazy cholesterolowej jest cechą jej struktury a nie własnością pojedynczych cząsteczek. Gdy struktura cholesterolowa zanika, substancja traci aktywność optyczną.

Dichroizm kołowy i selektywne odbicie światła padającego zachodzą w tym obszarze długości fali światła, dla którego spełniony jest warunek:

$$\lambda = 2nL$$

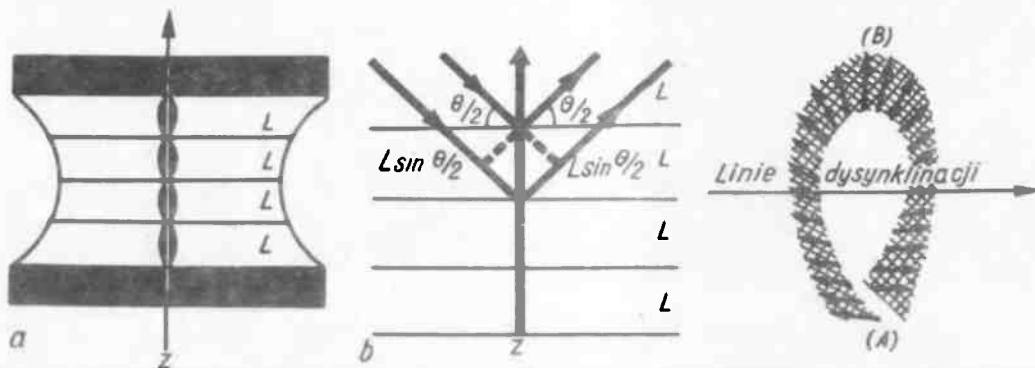
gdzie: n - współczynnik załamania światła,

L - okres struktury cholesterolowej.

Światło spolaryzowane kołowo jest odbite od warstwy ciekłego kryształu albo transmitowane w zależności od kierunku obrotu wektora świetlnego kołowo spolaryzowanej fali /rys. 4/. Wiązki odbijane od poszczególnych warstw interferują, w wyniku czego następuje wzmocnienie określonych długości fal, które uległy selektywnemu odbiciu. Substancja cholesterolowa będzie wyglądała jak zabarwiona, przy czym barwa zmienia się w zależności od okresu struktury L , kąta oświetlenia i obserwacji. Barwa światła odbitego zależy od zmian temperatury, które powodują zmiany okresu struktury L . Zjawisko to stwarza możliwość bezpośredniej wizualnej obserwacji zmian termicznych zachodzących w badanych obiektach. Większość ciekłych kryształów cholesterolowych, to w zwykłych warunkach substancje bezbarwne, zabarwiające się w wyniku ogrzania do temperatury, w której następuje przejście fazowe. Barwa substancji cie-

kłokrystalicznej zmienia się poprzez całą gamę kolorów: od czerwonego dla najdłuższych fal /rzędu 650 nm/ i najniższej temperatury poprzez pomarańczową, żółtą, zieloną, niebieską do fioletowej dla najkrótszych fal /450 nm/ i najwyższej temperatury. Natężenie barwy przy pewnej temperaturze zależy jest od:

- 1/ indywidualnych czynników wewnątrz fazy ciekłokrystalicznej,
- 2/ powierzchni, na którą naniesiona jest substancja,
- 3/ par związków chemicznych, których niewielka zawartość może zmienić strukturę molekularną.



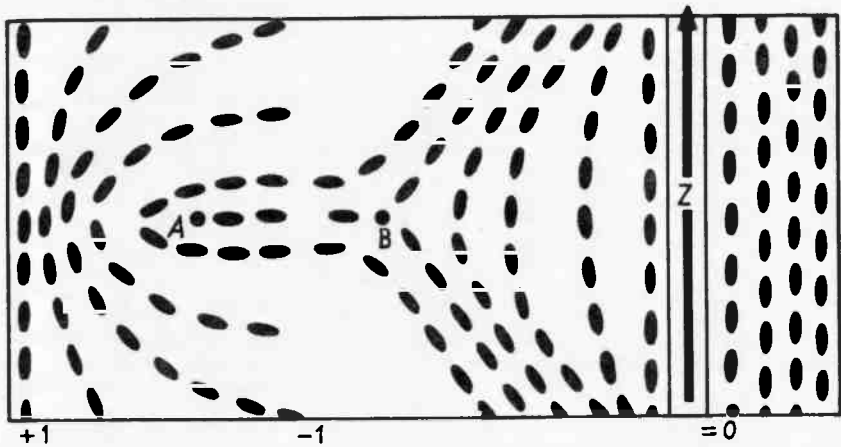
Rys. 4. Selektowne odbicie światła od cienkiej warstwy cholesterolowego kryształu. a/ ułożenie molekuł w cholesterolowej substancji umieszczonej między dwoma szklanymi płytkami, b/ warunek Bragg'a - w wiązce odbitej maksymalną intensywność będzie miało światło o długości fali $\lambda = 2l \sin \theta/2$.

Ciekłokrystaliczne substancje typu smektycznego i nematycznego mają własności optyczne podobne do krystalicznego kwarcu, tj. mają dodatnią optyczną anizotropię. Różnica między współczynnikami załamania światła $n_e - n_o$ mierzona dla substancji nematycznych wynosi 0,3, podczas gdy dla kwarcu 0,01 / n_e - współczynnik załamania promienia nadzwyczajnego, n_o - współczynnik załamania promienia zwyczajnego/. 16

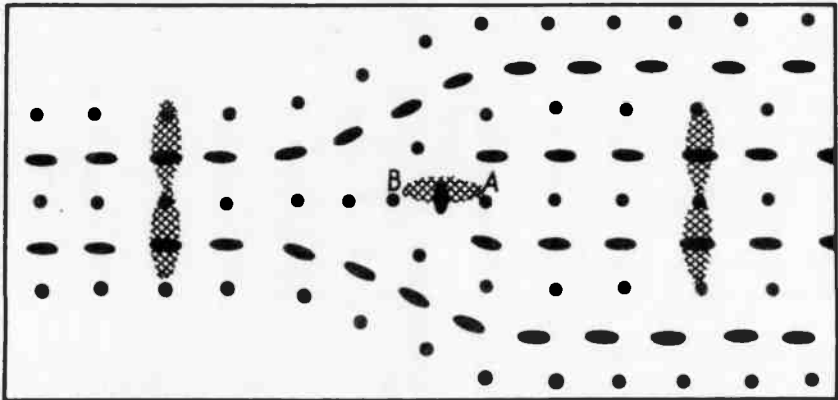
Linie dysynklinacji [3]

W rzeczywistości struktura ciekłych kryształów nie jest tak bardzo uporządkowana - występują w niej defekty, które grupują się w linie widoczne w mikroskopie polaryzacyjnym. Defekty powstają wtedy, gdy w danym punkcie struktury cząsteczki odchylają się od całkowitej orientacji. Faza nematyczna ma dużą różnorodność linii dysynklinacji /rys. 5/, jeszcze ciekawsze są linie dysynklinacji fazy cholesterolowej /rys. 6/, gdyż defekty występują dzięki jej spiralnej strukturze. Zwykle obserwowane są [4] pojedyncze linie dysynklinacji wywołane nieciągłą zmianą jednego półobrotu osi cholesterolowej. Ostatnie badania [2] wykazały istnienie podwójnych dysynklinacji, które wywołane są raptowną zmianą jednego pełnego obrotu w strukturze spiralnej. Linie dysynklinacji są bardzo ruchliwe, poruszają się pod wpływem sił zewnętrznych /np. pola -magnetycznego i elektrycznego/, oddziałują między sobą, przyciągają się i odpychają, jak gdyby miały ładunek elektryczny. Choć istnienie linii dysynklinacji jest pewnym utrudnieniem dla badacza, jednakże w niektórych badaniach może być pomocne.

Na przykład Chatelen i Cano na podstawie występowania linii dysynklinacji obliczali skok śruby w strukturze cholesterolowej.



Rys. 5. Linie dysynklinacji w nematycznym ciekłym kryształcie. Elipsy wyobrażają cząsteczki, których długie osie ułożone są w płaszczyźnie rysunku. W punktach A i B przechodzą linie dysynklinacji prostopadłe do płaszczyzny rysunku



Rys. 6. Para linii dysynklinacji w kryształcie cholesterolowym z przeciwnymi "znakami", np. A i B nie mogą zbliżyć się i wzajemnie oddziaływać - są blokowane okresem struktury. Elipsy wyobrażają orientację molekuł w płaszczyźnie rysunku, kółka - cząsteczki ułożone prostopadle.

Wpływ pola magnetycznego [3]

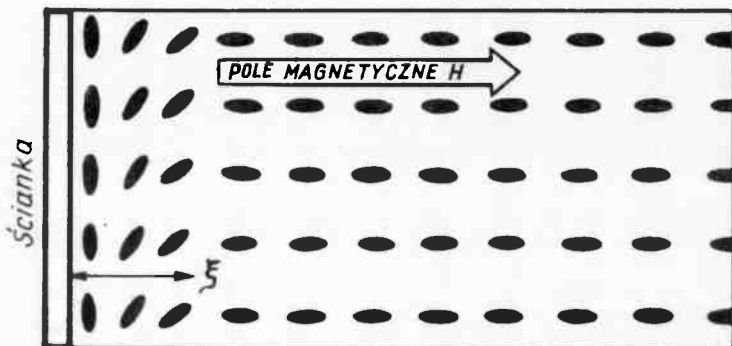
Molekuły fazy mezomorficznej zbudowane są głównie z pierścieni benzenowych, które zachowują się jak nadprzewodzący obwód zamknięty i mają silne własności diamagnetyczne. Pod wpływem pola magnetycznego o natężeniu H molekuły ciekłego

kryształu dążą do ustawienia swoich osi równolegle do linii sił pola magnetycznego H . Jednakże pewien wpływ na ułożenie molekuł mają ścianki naczynia i swobodna powierzchnia cieczy. Wykazano [2,5] że wpływ ścianek istnieje na głębokości określonej przez wzór:

$$\xi/H = \frac{C}{H}$$

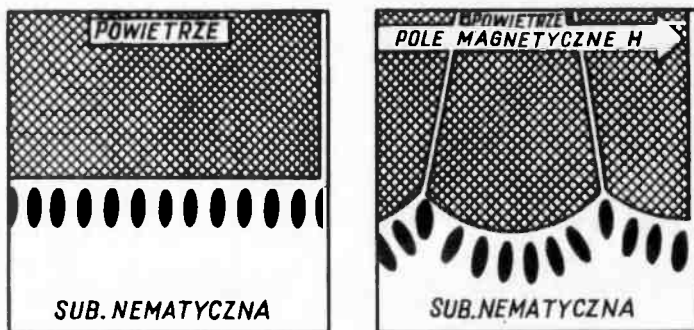
gdzie $C = 1 \text{ Gs} \cdot \text{cm}$.

Przy $H = 10^4 \text{ Gs}$ zakłócenia spowodowane ściankami sięgają głębokości $1 \mu\text{m}$ /rys. 7/; powstała w ten sposób strefa przejściowa jest tym mniejsza, im większe jest



Rys. 7. Zakłócenia spowodowane polem magnetycznym w nematycznej substancji. Pole magnetyczne dąży do ułożenia molekuł prostopadle w stosunku do początkowego stanu. Tworzy się strefa przejściowa ξ

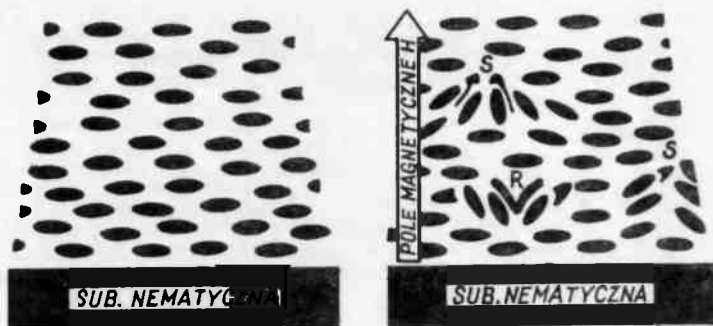
natężenie pola magnetycznego H . Rysunek 8 przedstawia wpływ pola magnetycznego na swobodną powierzchnię nematycznego ciekłego kryształu. Molekuły ustawiają się



Rys. 8. Wpływ pola magnetycznego na swobodną powierzchnię substancji nematycznej, której cząsteczki ułożone są prostopadle do tej powierzchni

prostopadle do swobodnej powierzchni ciekłego kryształu, przyłożone pole ma kierunek prostopadły do długich osi cząsteczek. W tym przypadku siły napięcia powierzchniowego dążą do zmniejszenia energii obrotu cząsteczek i aby nie było zbyt dużego odchylenia powierzchni swobodnej, od poziomu powstaje struktura domenowa. Minimalna

wielkość pola magnetycznego, dla którego wyżej opisana struktura będzie stabilna, wynosi około 10 kGs. Drugi interesujący przypadek można zaobserwować, gdy cząsteczki nematycznej substancji ułożone są swoimi długimi osiami równoległe do powierzchni swobodnej, a linie sił pola magnetycznego działającego na tę powierzchnię są do niej prostopadłe /rys. 9/. Występuje wówczas sieć wypukłości.



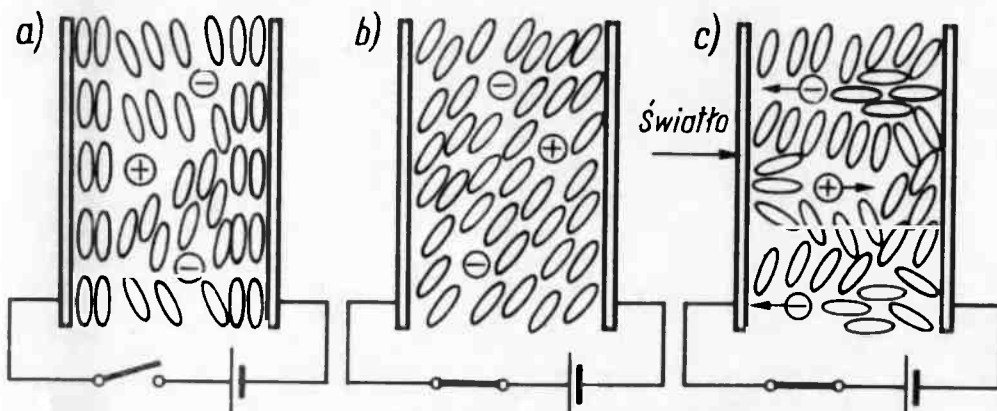
Rys. 9. Orientacja cząsteczek substancji nematycznej ułożonych swoimi długimi osiami równoległe do swobodnej powierzchni, przyłożone pole magnetyczne ma kierunek prostopadły do niej.

Wpływ pola elektrycznego [3,15]

Zjawiska, jakie zachodzą w cholesterolowych i nematycznych ciekłych kryształach poddanych działaniu pola elektrycznego, można badać biorąc pod uwagę zmianę znaku anizotropii dielektrycznej tych substancji. Jeżeli składowa stałej dielektrycznej mierzona wzdłuż długiej osi optycznej molekuly ϵ_{\parallel} jest mniejsza od tej składowej, mierzony w kierunku prostopadłym do osi optycznej ϵ_{\perp} , to molekuly ustawiają się prostopadle do linii sił pola elektrycznego. Anizotropia dielektryczna jest wtedy ujemna a zjawiskiem, jakie między innymi w danym przypadku zachodzi, jest dynamiczne rozproszenie światła. Kiedy anizotropia dielektryczna ciekłego kryształu jest dodatnia $\epsilon_{\parallel} > \epsilon_{\perp}$, obserwowana jest między innymi rotacja osi optycznej.

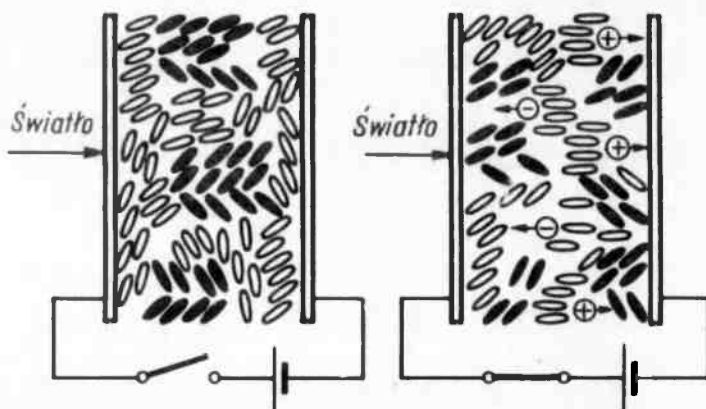
Zjawisko dynamicznego rozproszenia światła zostało zauważone i opisane przez Heilmeyera w 1968 r., o schematycznie przedstawione jest na rys. 10. Między dwoma półprzezroczystymi elektrodami umieszczony jest nematyczny ciekły kryształ /rys. 10a/, którego cząsteczki tworzą lokalne obszary o określonej orientacji. W nematycznym roztworze znajdują się także jony pochodzące od zanieczyszczeń lub powstałe w wyniku dysocjacji składnika nematycznego. Gdy do elektrod zostanie przyłożone napięcie mniejsze od 5V, cząsteczki substancji nematycznej będą układały się swoimi długimi osiami pod pewnym kątem do kierunku pola elektrycznego. Substancja jest wtedy jednorodna i przezroczysta. Zwiększając napięcie powoduje się, że ruch jonów, które dążą do odpowiednich elektrod, będzie utrudniał ułożenie cząsteczek substancji nematycznej wzdłuż linii sił pola elektrycznego. Powstałe zakłócenia wywołują rozproszenie światła /rys. 10c/. Obserwowana między elektrodami ciecz jest mętna i nieprzezroczysta. Kiedy działanie pola elektrycznego zostanie przerwane, cząsteczki wracają do swojego początkowego uporządkowania i substancja jest ponownie przezroczysta. Zjawisko rozproszenia światła występuje także w nematyczno-cholesterolo-

wych mieszaninach ciekłych kryształów. Jest ono wykorzystywane jako sposób magazynowania informacji. W tym celu zmieszano [15] nematyczną substancję z chlorem cholesterolowym w stosunku wagowym 9:1. Kiedy tę mieszaninę poddano działaniu



Rys. 10. Dynamiczne rozproszenie światła w nematycznym ciekłym kryształ

niu prądu stałego lub prądu zmiennego o niskiej częstotliwości /potencjał większy od 20 V/, stawała się ona mlecznobiała. Odjęcie pola powodowało powrót mieszaniny do stanu przezroczystości, lecz proces ten trwał kilka dni, a nawet tygodni. Przezroczystość mieszaniny może być szybko /natychmiast/ odzyskana, gdy zastosujemy prąd zmienny o napięciu większym niż 50 V i częstotliwości 4000 Hz. Zatem informacja może być "zapisana" przy pomocy prądu stałego, a "skasowana" dzięki zastosowaniu prądu zmiennego. W stanie przezroczystym cząsteczki obydwu ciekłych kryształów mają swoje długie osie jednakowo ukierunkowane. Obserwowane jest lekkie rozproszenie



Rys. 11. Dynamiczne rozproszenie światła w cholesterolowo-nematycznej mieszaninie ciekłego kryształu

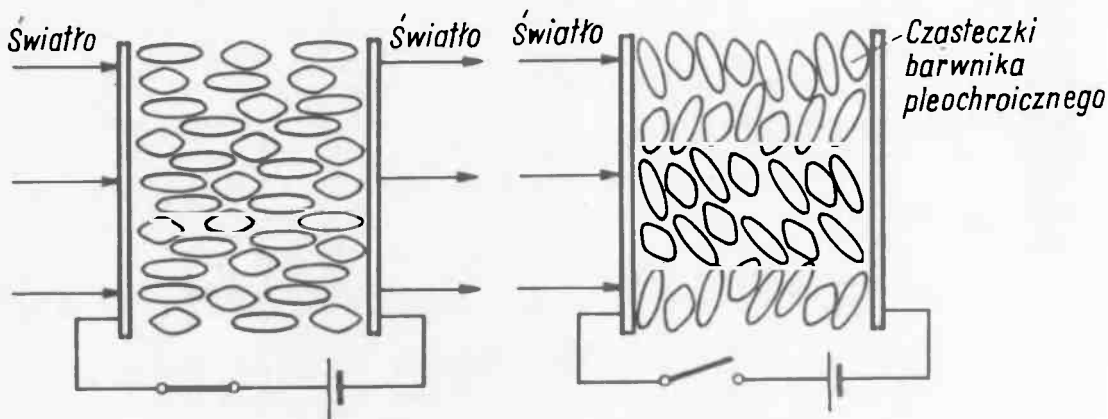
światła spowodowane istnieniem powierzchni rozdzielających obydwu składniki. Zamknięcie obwodu elektrycznego powoduje ruch jonów, tym samym powstanie zakłóceń, zwiększenie powierzchni rozdziału, co w efekcie powoduje zwiększenie rozpraszania światła /rys. 11/. Aby zjawiska te mogły być obserwowane, składniki mieszaniny mu-

szą mieć różne współczynniki refrakcji. Wspomniane wcześniej zjawisko rotacji osi optycznej spowodowane jest tym, że ciekły kryształ nematiczny zorientowany między dwoma płaszczyznami ma optyczne własności kryształu jednoosiowego. Przyłożone pole elektryczne skręca płaszczyznę polaryzacji, co można obserwować pomiędzy skrzyżowanymi lub równoległymi polaroidami.

Innymi zjawiskami zachodzącymi pod wpływem pola elektrycznego są: a/ efekt "gość" - "gospodarz", b/ przejścia teksturowe, c/ przejścia strukturalne.

a/ Efekt "gość" - "gospodarz"

Oddziaływanie "gość" - "gospodarz" ma miejsce w roztworze nematicznego ciekłego kryształu i związku organicznego - pleochroicznego barwnika. Wzajemne oddziaływanie pomiędzy cząsteczkami nematicznej substancji i barwnika pozwala regulować zmianę natężenia światła spolaryzowanego. Pole elektryczne ustawia cząsteczki nematicznej substancji tak, że kierunek ich długich osi jest zgodny z liniami sił pola elektrycznego. "Gospodarz" - cząstki nematicznej substancji wymuszają na "gościu" - cząstkach barwnika takie samo ułożenie. Cząsteczki pleochroicznego barwnika mogą absorbować światło spolaryzowane tylko wtedy, kiedy są zorientowane w inny sposób niż płaszczyzna polaryzacji. Gdy orientacja cząsteczek jest taka jak na rys. 12a, to cząstki barwnika nie absorbują światła, które jest w tym przypadku transmitowane.



Rys. 12. Oddziaływanie "gość" - "gospodarz"

Kiedy obwód elektryczny jest otwarty, cząsteczki barwnika przyjmują różne położenie względem kierunku polaryzacji. W związku z tym część światła jest absorbowana i widoczny jest tylko jeden kolor światła spolaryzowanego przechodzącego przez próbkę /rys. 12b/. Heilmairer opisuje doświadczenie z mieszaniną, w której rolę "gościa" spełnia niebieski indophenol, rolę "gospodarza" p-ethoxybenzylideno-p-aminobenzonitryl /PEBAB/. Jeżeli na tę mieszaninę zamkniętą między przezroczystymi elektrodami znajdującą się pod napięciem pada światło spolaryzowane, to niebieskie zabarwienie znika i próbka staje się przezroczysta. Po usunięciu napięcia niebieskie zabarwienie mieszaniny powraca. Barwniki nie powinny być substancjami jonowymi, gdyż może nastąpić dynamiczne rozproszenie światła.

b/ Przejścia teksturowe

Pod wpływem pola elektrycznego w cholesterolowych ciekłych kryształach obserwowane jest [13] przejście od tekstury płaskiej do konfokalnej. Zorientowana płaska tekstura /Grandjeana/ jest przezroczysta, natomiast nieorientowana tekstura konfokalna intensywnie rozprasza światło.

c/ Przejście strukturalne

Zarówno pole elektryczne, jak i magnetyczne powodują w cholesterolowych ciekłych kryształach rozkręcenie śruby cholesterolowej i występuje ważne zjawisko - przejście ciekłego kryształu o strukturze cholesterolowej do struktury nematycznej. Ciekawy jest fakt, że nie jest znana ani jedna substancja, która zmieniałaby strukturę cholesterolową na nematyczną pod wpływem zmian temperaturowych.

ZASTOSOWANIE CIEKŁOKRYSTALICZNYCH SUBSTANCJI [12,13,14]

Opisane wcześniej termooptyczne własności cholesterolowych ciekłych kryształów zostały wykorzystane do opracowania ciekłokrystalicznych wskaźników temperatury /CWT/. Można tak dobrać skład mieszanin ciekłokrystalicznych substancji, aby otrzymać odczyt temperatury z dokładnością do $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$. Obserwacji zmian temperatury można dokonywać na bardzo małych powierzchniach badanych obiektów zużywając do tego celu znikomą ilość substancji. Zmiana barwy, a więc uzyskana szybkość odpowiedzi, jest rzędu dziesiątych części sekundy. Stąd ogromne praktyczne zastosowanie CWT, między innymi do pomiarów temperatur na powierzchni elementów i podzespołów elektronicznych, grzejników, wykrywania defektów materiałów metodą przewodnictwa cieplnego, pomiarów temperatury skóry ludzi i zwierząt. Inne zastosowania ciekłych kryształów są wyszczególnione w tabelicy.

ZASTOSOWANIE CIEKŁYCH KRYZSTAŁÓW

Nazwa wyrobu	Zastosowanie	Materiał/zasada działania
1	2	3
Wskaźniki/elementy optoelektroniczne przetwarzające sygnały elektryczne na obraz lub cyfrę	Maszyny matematyczne, wskaźniki załączenia, zegarki ręczne	Materiały nematyczne. Działanie oparte o efekty elektrooptyczne
Farba drukarska zmieniająca barwę	Druk ozdobny	Materiały cholesterolowe. Działanie oparte o efekt termooptyczny
Zabawki zmieniające barwę przy dotknięciu	Przemysł zabawkarski	Materiały cholesterolowe. Wykorzystano efekt mechaniczno-optyczny
Przetworniki światła podczerwonego na widzialne	W przemyśle	W oparciu o efekt termooptyczny w materiałach cholesterolowych

1	2	3
Przetworniki promienia mikrofalowego na widzialne	Ochrona pracowników przed prom. mikrofal.	W oparciu o efekt termooptyczny w materialach cholesterolowych
Przetworniki promieniowania	Przemysłowe	Z wykorzystaniem efektu elektrooptycznego w strukturach nematycznych oraz niektórych własności fotoprzewodników
Ekran y z zapisem elektrycznym	Dla zapisu danych	Z wykorzystaniem efektów elektrooptycznych w strukturach cholesterolowych
Ekran y z zapisem cieplnym	Wskaźniki cyfrowe, oraz załączenia, reklamy	Z wykorzystaniem efektów termooptycznych w strukturach cholesterolowych
Detektory śladowych ilości par	W przemyśle	Wykorzystuje zmiany płaskiej struktury cholesterolowej pod wpływem cząsteczek gazów i par
Modelowanie chwilowych rozkładów naprężeń mechanicznych	W przemyśle	Wykorzystuje t zw. efekt mechanooptyczny
Wskaźniki o barwie sterowanej polem elektrycznym	W przemyśle	Wykorzystuje zaburzenia powodowane polem elektrycznym

Prace nad CWT prowadzone są w Polsce między innymi w Instytucie Fizyki Politechniki Łódzkiej, gdzie w latach 1970-1972 wykonano zestaw CWT o zakresie temperatur w granicach 10°C - 200°C. Omówione własności cholesterolowych i nematycznych ciekłych kryształów zostały wykorzystane przez wiele firm elektronicznych do budowy wskaźników cyfrowych. Wykorzystano możliwość zapisu i magazynowania informacji z bezpośrednią zamianą sygnałów elektrycznych na litery, cyfry lub krzywe. Wskaźniki cyfrowe i pełniejsze omówienie zastosowań ciekłych kryształów będzie tematem następnego artykułu. W ostatnich latach zainteresowanie ciekłymi kryształami gwałtownie wzrosło. Prowadzone są prace badawcze nad budową telewizora z płaskim ekranem ciekłokrystalicznym, który miałby wraz z ekranem rozmiary widokówki, a obraz byłby kolorowy i trójwymiarowy. Do wszystkich ważnych naukowych powodów mówiących o konieczności kontynuowania badań nad ciekłymi kryształami, dotacza się zadziwiająca piękność i różnorodność ich zewnętrznego wyglądu, co powoduje, że praca z tymi substancjami jest bardzo przyjemna i interesująca.

Obszerne informacje na temat ciekłych kryształów znajdują się w następujących monografiach:

G.H.Brown, G.J.Dienes, M.M.Labes - Liquid Crystals, Gordon and Breach, New York 1967; G.W.Gray: Molecular Structure and the Properties of Liquid Crystals, Academic Press, New York 1962; R.F.Gould: Ordered Fluids and Liquid Crystals, American Chemical Society, Washington D.C. 1967.

И.Г. ЧЕСТИНЬКОВ, "Индкие кристаллы" Наука, Москва 1966.

Pragnę bardzo serdecznie podziękować Panu doc. dr hab. Aleksandrowi Szymańskiemu z Instytutu Fizyki Politechniki Łódzkiej za cenne uwagi udzielone mi podczas pisania tego artykułu.

Literatura

1. Kast, Landolt-Bornstein W.: 6, Vol. II, Part 2a /1959/.
2. Johnson J.F., Porter R.S.: Liquid Crystals and Ordered Fluids, Ed. 1970.
3. Ponizowski L.Z.: Priroda, 2, 67-75 /1972/.
4. Scheffer T.J.: Phys.Rev. A 5/3/, 1327 /1972/.
5. Rault J.: Mol.Cryst.and Liq. Cryst., 16, 143-152 /1972/.
6. Sackman E., Meiboon S., Snyder L.C.: J.Am.Chem.Soc., 89, 5981 /1967/.
7. Wysocki J.J., Adams J., Haas W.: Phys.Rev.Letters, 20, 1024 /1968/.
8. Geritsma C.J., Van Zanten P.: Mol. Cryst.and Liq. Cryst., 15, 257 /1971/.
9. Beard T.D., Bleha W.P., Wong S.Y.: Appl.Phys. Letters, 22 /3/, 90 /1973/.
10. Clodis P.E., Kleman M.: Mol. Cryst. and Liq. Cryst., 16, 1-20 /1972/.
11. Bertolotti M., Daimo B., Scudieri F., Sette D.: Mol. Cryst and Liq. Cryst., 15, 133-140 /1971/.
12. Szymański A.: Cholesterolowe ciekłe kryształy. Informacja Instytutu Fizyki PŁ.
13. Adamski P., Lipiński A., Szymański A.: Ciekłokrystaliczne wskaźniki cyfrowe. Informacja Instytutu Fizyki PŁ.
14. Grossman B., Rokicka E., Szymański A.: V Krajowa Konferencja Metrologii i Budowy Aparatury Pomiarowej T. VI, str. 24-27.
15. Heilmeyer G.: Scientific American, vol. 222, 4, 3-8 /1970/.