

Ciekłe kryształy – niezwykły stan materii

Każdy z nas zna ciekłe kryształy z życia codziennego. Znajdują się w zegarkach cyfrowych, w monitorach komputerów i telewizorach. Te niezwykłe materiały zrewolucjonizowały sposób przedstawienia informacji w dzisiejszych czasach, umożliwiając rozwój przemysłu płaskich wyświetlaczy ciekłokrystalicznych.

Kamila Nowicka

Ale czym są ciekłe kryształy? W szkole uczymy się o trzech stanach skupienia: stałym, ciekłym i gazowym. W tej klasyfikacji brakuje miejsca na ciekłe kryształy. Nazwa „ciekły kryształ” sugeruje, że jest to stan pomiędzy ciałem stałym a cieczą. Z lekcji fizyki wiemy, że podczas procesu topnienia ciała stałego powstaje zazwyczaj ciecz. Niekiedy jednak proces topnienia może zachodzić w dwóch lub wielu etapach. Stany pośrednie między stanem stałym a ciekłym nazywamy mezofazami – ciekłymi kryształami.

Ciało stałe od ciekłego odróżnimy na podstawie uporządkowania cząsteczek. W ciele stałym cząsteczki zajmują ściśle określone położenie, charakteryzuje je porządek pozycyjny dalekiego zasięgu. Ciecze tego porządku nie wykazują.

Mezofazy charakteryzuje zarówno porządek pozycyjny jak i płynność [1-3]. Jednakże ich uporządkowanie nie jest tak idealne jak w kryształach. Fazę ciekłokrystaliczną mogą tworzyć cząstki o wydłużonym kształcie, tworzące lokalnie orientacyjny porządek wzdłuż pewnego średniego kierunku n , nazywanego direktorem. Gdy cząsteczki są chiralne (różnią się od swego odbicia zwierciadlanego), pojawia się spontaniczne skręcenie orientacji molekular-

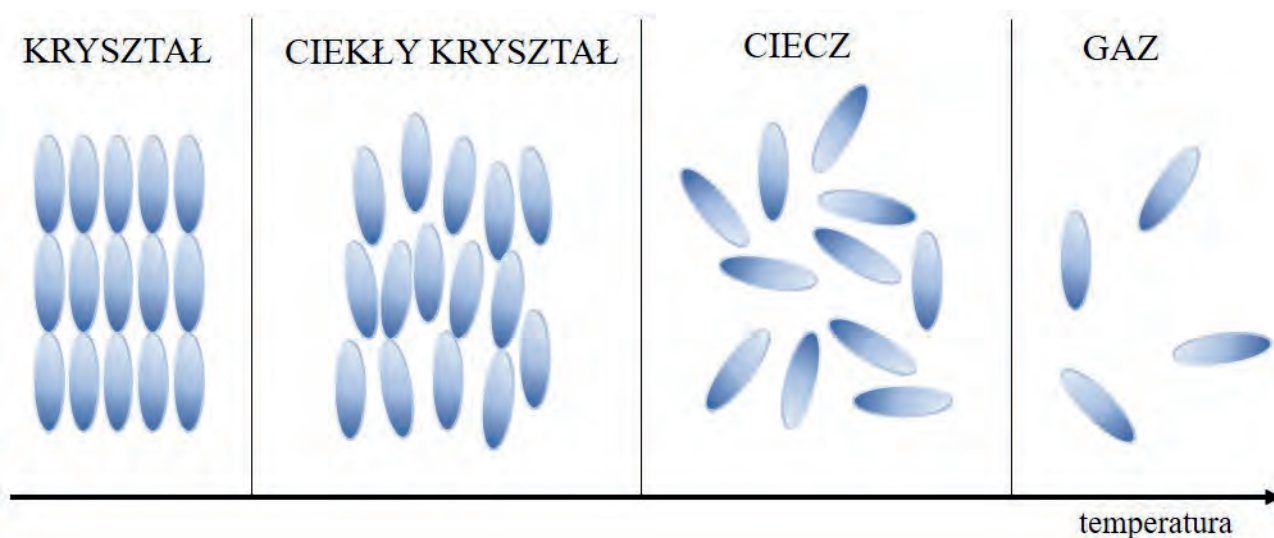
nej. A lokalny porządek orientacyjny może wywoływać frustrację, a zatem występowanie struktur złożonych.

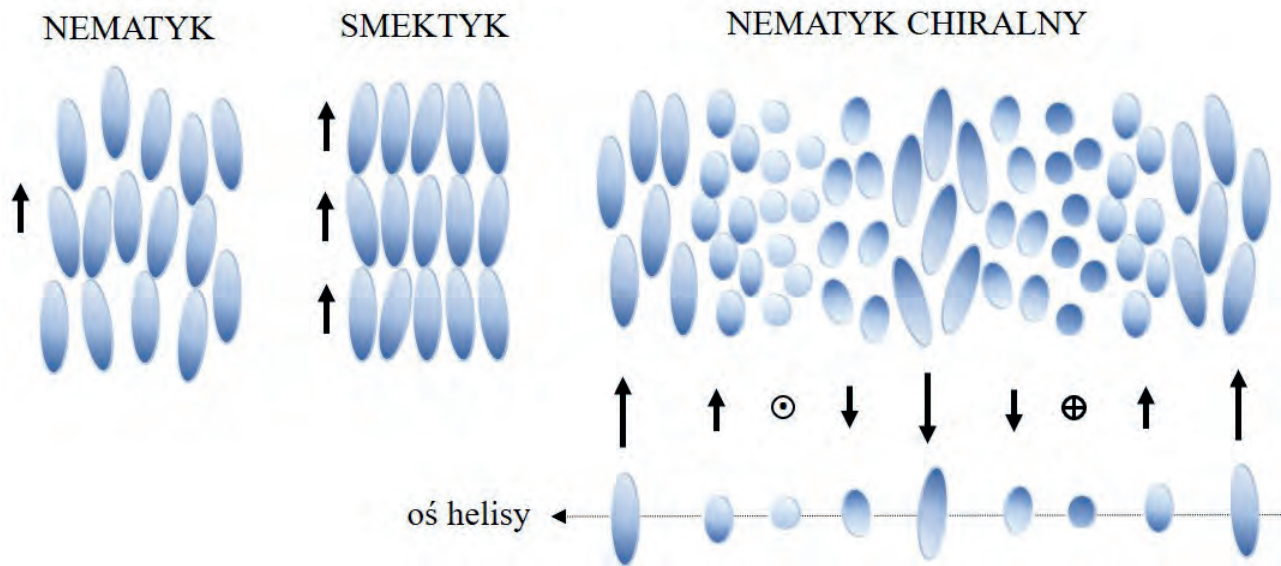
W różnych temperaturach obserwuje się różne uporządkowania, a w klasyfikacji ciekłych kryształów, poza dobrze znanymi fazami jak nematyczna, smektyczna i cholesteryczna, istnieje również oddzielna kategoria, zwana fazami sfrustrowanymi (rys. 1-3).

Fazy ciekłokrystaliczne

Pomiędzy fazą stałą a fazą izotropową (fazą ciekłą) może występować jedna, dwie lub więcej faz ciekłokrystalicznych. W miarę wzrostu temperatury mają one ściśle określoną kolejność pojawiania się, związaną ze spadkiem uporządkowania w następującej po sobie fazach. Sekwencję tę można przedstawić następująco: kryształ – smektyki – nematyk – cholesteryk – faza izotropowa [1-3].

Najprostsze ciekłe kryształy, zwane nematykami, odznaczają się jednowymiarowym porządkiem orientacyjnym. Oznacza to, że tworzą je molekuly, które ustawiają się osiami w wyróżnionym kierunku. Z tego powodu wiele ich własności fizycznych ma charakter anizotropowy tzn. zależny od kierunku obserwacji. Faza smektyczna ma bardziej złożoną budowę. Oprócz uporządkowania orientacyjnego, charakteryzuje się dodatkowo pewnym stopniem uporządkowania pozycyjnego, tworząc strukturę warstwową.



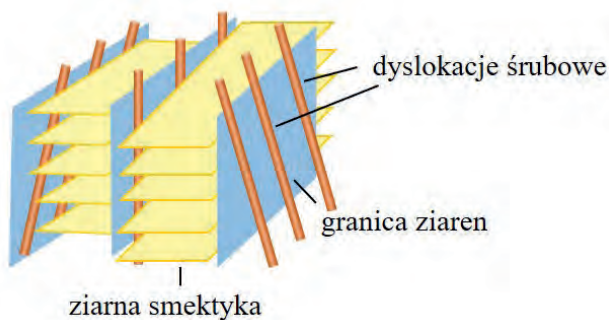


Rysunek 1. Struktury ciekłych kryształów. Strzałka oznacza orientację direktora – średniego kierunku orientacji cząsteczek ciekłego kryształu.

Molekuły w warstwach mogą być mniej lub bardziej uporządkowane i w zależności od sposobu tego uporządkowania wyróżniono kilkanaście rodzajów smektyków (A, B, C, D, E, G...). Jeśli niektóre molekuły w kryształach są chiralne mogą tworzyć struktury śrubowe – chiralne smektyczne ciekłe kryształy. Okres struktur śrubowych bardzo często jest porównywalny z długością fali światła

widzialnego. Cholesteryczne ciekłe kryształy – chiralna faza nematyczna, charakteryzują się tym, że długie osie molekuł leżą w płaszczyznach, w których ustawione są one w przybliżeniu równoległe do siebie. Direktory n są skręcone wzajemnie o niewielki kąt, nadając tej strukturze charakter spiralny tworząc tzw. helisę.

FAZA KRĘCONYCH GRANIC ZIAREN



Rysunek 2. Schemat struktury fazy TGB-A. Ziarna smektyka nie muszą mieć struktury smektyka A. Obserwowano również fazy TGB, których ziarnom przypisano strukturę pochylonego smektyka C (TGB-C), a nawet chiralnego smektyka C.

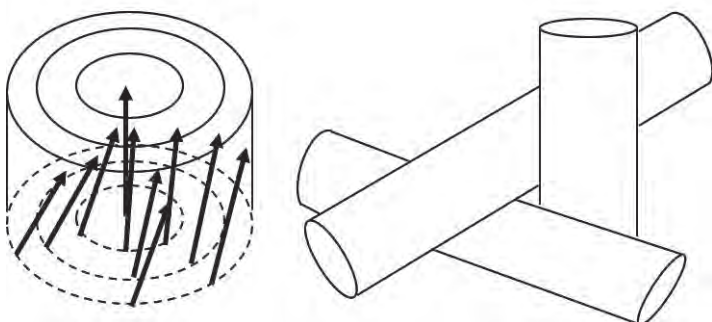
Niektóre chiralne smektyczne ciekłe kryształy mogą tworzyć struktury sfrustrowane tzn. fazy skręconych granic ziaren (ang. Twis Grain Boundary phases, TGB). Faza TGB zbudowana jest ze smektycznych ziaren oddzielonych między sobą defektami (dyslokacjami śrubowymi), przy czym warstwy smektyczne w sąsiednich ziarnach są skręcone tworząc makrostrukturę helikoidalną (śrubową) (rys. 2). Istnienie takiej struktury możliwe jest dzięki pojawieniu się wielkiej liczby defektów.

Innego rodzaju frustracje są powodem wystąpienia błękitnych faz (ang. Blue phases, BP). Błękitne fazy (znane są trzy fazy błękitne: BPI, BPII i BPIII) powstają w przypadku silnych oddziaływań chiralnych, które prowadzą do powstania helisy. Skręcenie helisy występuje nie tylko w jednym kierunku, jak na przykład w fazie chiralnego nematyka, ale w dwóch prostopadłych kierunkach tworząc tzw. podwójnie skręcone cylindry. Jednakże rozłożenie cylindrów w strukturze trójwymiarowej jest topologicznie niemożliwe, dlatego pojawiają się linie defektów (rys. 3). Tworzone dysklinacje przechodzą przez punkt zetknięcia się trzech cylindrów, tworząc sieci defektów o określonej symetrii kubicznej [1-3].

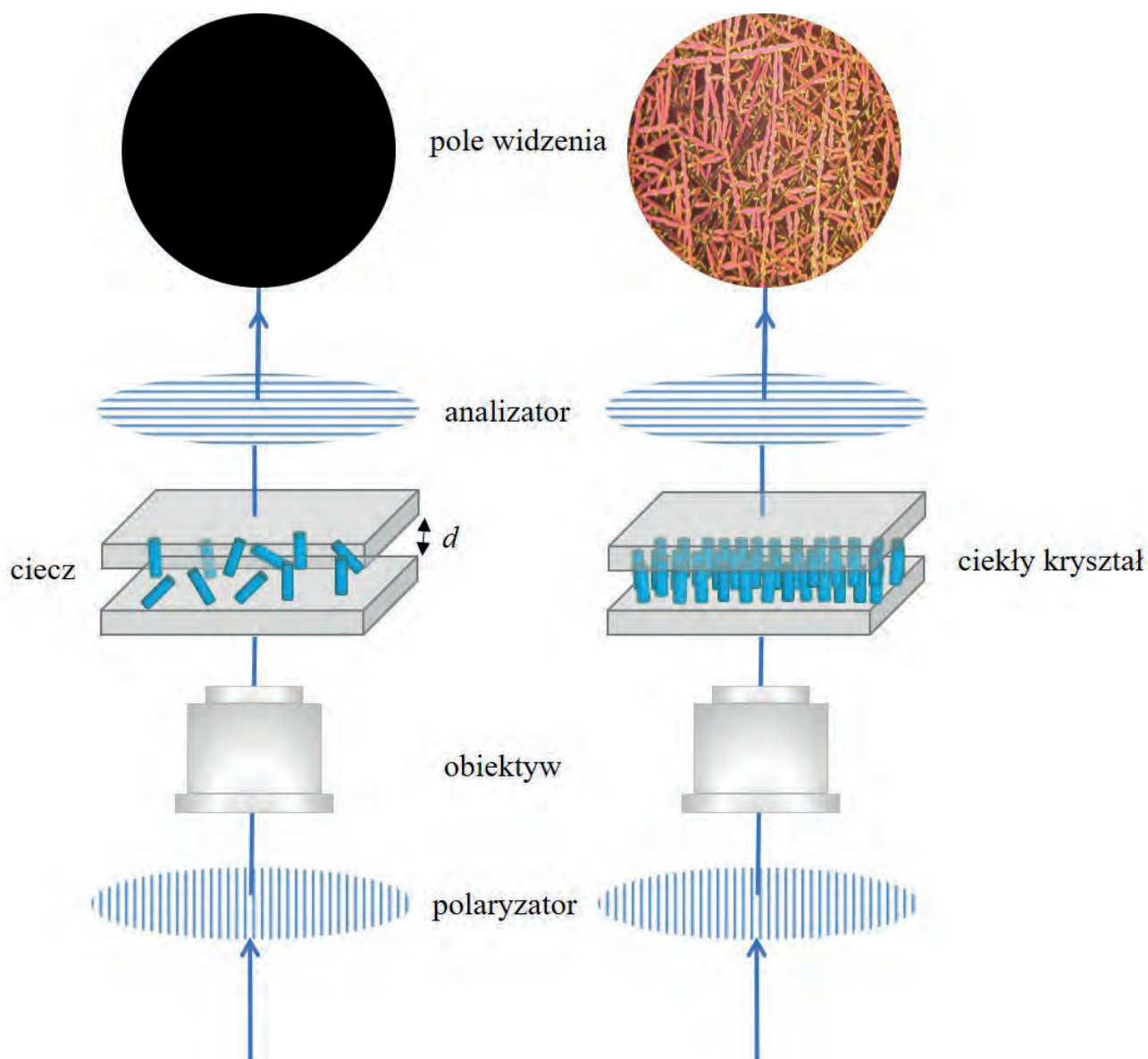
Tekstury ciekłokrystaliczne

Różne typy struktur ciekłych kryształów są zwykle identyfikowane poprzez obserwację cienkich warstw ciekłokrystalicznych za pomocą polaryzacyjnego mikroskopu optycznego. Fazy ciekłokrystaliczne wykazują anizotropię, czyli zależność własności fizycznych od kierunku. Szczególnie użyteczną jest własność dwójłomności oraz aktywność optyczna w przypadku chiralnych ciekłych kryształów. Obie własności anizotropii powodują, że

BŁĘKITNA FAZA



Rysunek 3. Model struktury błękitnej fazy BPII.



Rysunek 4. Schemat układu do obserwacji tekstur.

ciekłe kryształy przejawiają bardzo interesujące zachowanie w świetle spolaryzowanym [1-3].

Głównymi elementami mikroskopu polaryzacyjnego są polaryzator i analizator, których kierunki polaryzacji są wzajemnie prostopadłe (rys.4). Wówczas analizator wygasza całkowicie promień, sam bowiem może przepuszczać tylko drgania zgodnie z kierunkiem jego polaryzacji. Jeżeli badany obiekt jest ciałem izotropowym, to tło pola widzenia mikroskopu jest czarne. Światło, które przeszło przez polaryzator jest spolaryzowane liniowo. Oznacza to, że jego drgania zachodzą tylko w jednej płaszczyźnie. Jeżeli między dwie płytki skrzyżowane ze względu na kierunki polaryzacji wprowadzimy ciało dwójłomne albo ciało skręcające płaszczyznę polaryzacji (czyli ciało optycznie aktywne) to okaże się, że światło, które przeszło przez ciało przejdzie częściowo przez analizator. W polu widzenia mikroskopu obserwuje się wówczas tekstury charakterystyczne dla poszczególnych faz ciekłokrystalicznych. Tekstura oznacza charakterystyczny

sposób ułożenia jednorodnych elementów badanego materiału. Jasność i barwa jednorodnych elementów materiału ciekłokrystalicznego, czyli obszarów o mniej więcej jednakowej orientacji direktora, zależą od kąta, jaki tworzy lokalna oś optyczna (lub direktor) z kierunkiem drgań wektora świetlnego. W przypadku gdy badany materiał umieszczony jest pomiędzy dwoma polaryzatorami, których płaszczyzny polaryzacji są prostopadłe, natężenie przechodzącego światła I opisuje wzór [1, 4]:

$$I = I_0 \sin^2 2\alpha \sin^2 \frac{\pi d \cdot \Delta n}{\lambda}$$

W powyższym wzorze I_0 oznacza natężenie światła o długości fali λ padająca na próbkę, α – kąt między kierunkiem drgań polaryzatora a rzutem lokalnej osi optycznej na płaszczyznę próbki o grubości d , Δn – różnicę współczynników załamania promienia nadzwyczajnego i zwyczajnego w kierunku propagacji światła. Przykłady kilku tekstur ciekłokrystalicznych przedstawia rysunek 5.

Podsumowanie

Pomimo, że ciekłe kryształy zostały odkryte ponad 100 lat temu to ciągle jeszcze materiały o intrygujących własnościach fizycznych wywołujące wielkie zainteresowanie fizyków i inżynierów. Stymulują rozwój badań naukowych i technologii.

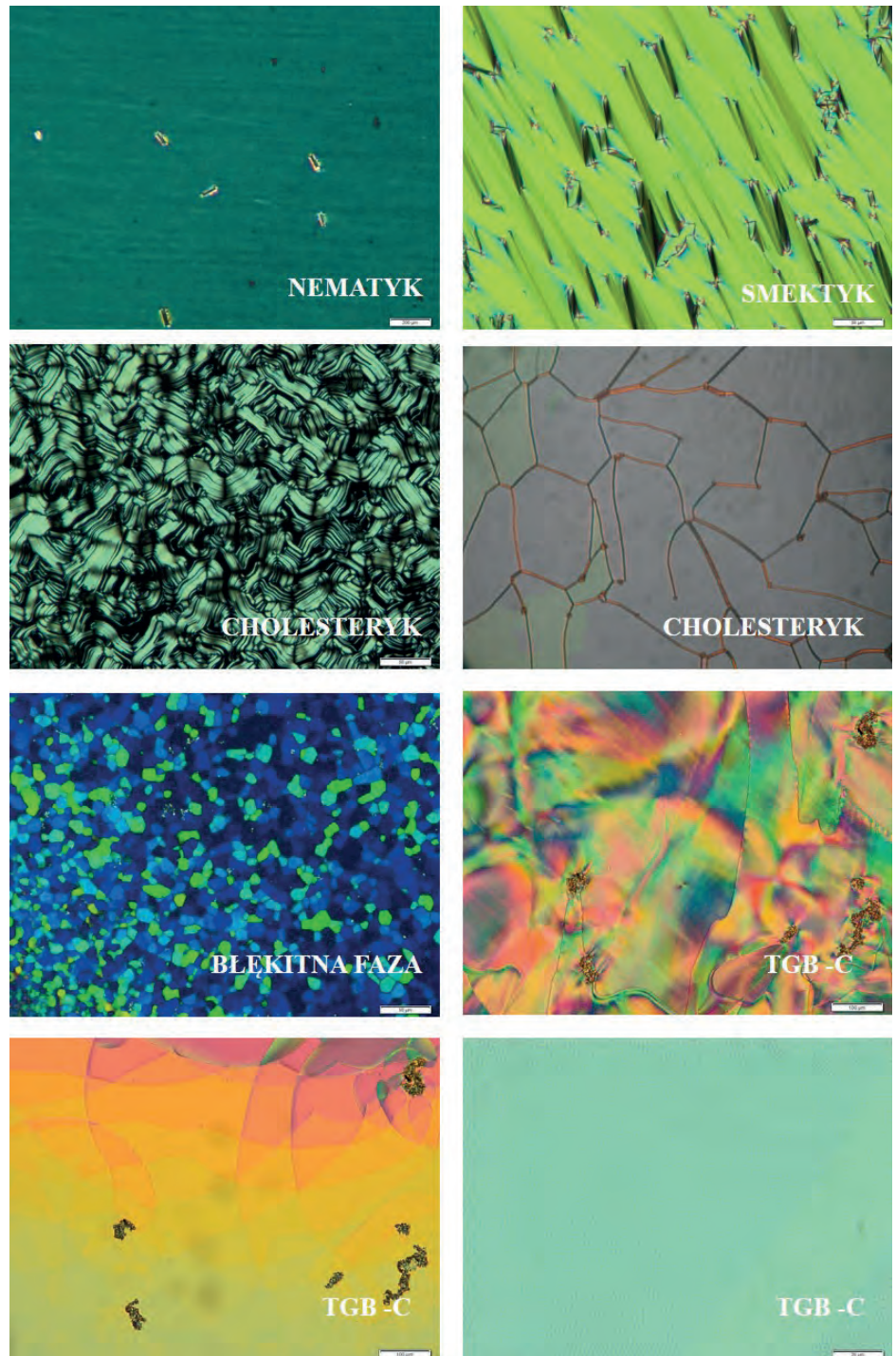
Rosnące wymagania w zakresie technologii wyświetlaczy elektronicznych powoduje nieustanną presję na poszukiwania i badania nowych materiałów nadających się do wykorzystania w zaawansowanych technologicznie wyświetlaczach. Dziś użytkownicy oczekują urządzeń o wysokim kontraście, lepszym odwzorowaniu kolorów, większych rozmiarach i kątach widzenia.

Kluczowymi wyzwaniem w poprawie jakości wyświetlaczy ciekłokrystalicznych przyszłej generacji są, rozwinięcie nowych ciekłokrystalicznych materiałów z szybką odpowiedzią elektro-optyczną oraz uproszczonym procesem produkcji urządzeń. W odpowiedzi na te wymagania proponuje się wykorzystanie faz sfrustrowanych takich jak na przykład błękitna faza [5-6]. Jest to idealny kandydat do zastosowań w wyświetlaczach ciekłokrystalicznych przyszłej generacji, ponieważ po pierwsze daje możliwość poprawy jakości a po drugie obniżenie kosztów ich wytwarzania. Związane jest to z tym, że fazy te, nad zazwyczaj wykorzystywanymi w wyświetlaczach ciekłokrystalicznych fazami nematycznymi, mają dwie znaczące zalety, są optycznie izotropowe (nie wymagają warstw orientujących, oznacza to obniżenie kosztów produkcji) i wykazują szybki czas reakcji (10-100 μ s) [7-8].

W maju 2008 roku Samsung Electronics ogłosił, że opracował pierwszy na świecie wyświetlacz ciekłokrystaliczny na stabilizowanej polimerem błękitnej fazie, który może pracować z niespotykaną dotychczas częstotliwością odświeżania 240 Hz!

Współpraca uczonych i techników prowadzi do pojawienia się nowych zastosowań i otwiera bramę do nowych odkryć w fizyce ciekłych kryształów.

dr Kamila Nowicka



Rysunek 5. Przykładowe tekstury faz ciekłokrystalicznych.

LITERATURA

- [1] W. Kuczyński, *Przemiany Fazowe Tom II*, Ośrodek Wydawnictw Naukowych, Poznań (2003).
- [2] A. Adamczyk, *Niezwykły stan materii – ciekłe kryształy*, Wiedza Powszechna, Warszawa (1981).
- [3] I. Dierking, *Textures of Liquid Crystals*, Wiley – VCH Verlag (2003).
- [4] K. Nowicka, W. Kuczyński, *Liquid Crystals*, 46 (2018) 977.
- [5] D. C. Wright, N. D. Mermin, *Rev. Mod. Phys.*, 61 (1989) 385.
- [6] T. Seideman, *Rep. Prog. Phys.*, 53 (1990) 659.
- [7] A. Rahman et. al., *Sci. Technol. Adv. Mater.*, 16 (2015) 033501.
- [8] A. Yoshizawa, *RSC Adv.*, 3 (2013) 25475.