Tekući kristali

Kovač, Patricija

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:712545

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb







Sveučilište u Zagrebu
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
Kemijski odsjek

Patricija Kovač

Studentica 3. godine Preddiplomskog sveučilišnog studija KEMIJA

TEKUĆI KRISTALI

Završni rad

Rad je izrađen u Zavodu za opću i anorgansku kemiju

Mentor rada: doc.dr.sc. Marijana Đaković

Zagreb, 2018.

Datum predaje prve verzije Završnog rada: 25. ožujka 2018.

Datum ocjenjivanja Završnog rada i polaganja Završnog ispita: 21. rujna 2018.

Mentor rada: doc.dr.sc. Marijana Đaković Potpis:

Sadržaj

§ SAŽETAK VII
§ 1. UVOD 1
§ 2. PRIKAZ ODABRANE TEME II
2.1. Osnovne faze tekućih kristala ii
2.1.1. Termotropni tekući kristali ii
2.1.2. Liotropni tekući kristali iv
2.2. Tekući polimerni kristali (LCP – *liquid crystal polymer*) vi
2.3. Primjena tekućih kristala xi
2.3.1. Tekući kristali kod LCD zaslona xi
2.3.2. Primjena tekućih kristala u farmaceutskoj industriji xvi
2.3.3. Ostale primjene tekućih kristala xvii
§ 3. LITERATURNI IZVORI XIX

§ Sažetak

Tekući kristali su tvari koje posjeduju svojstva i tekućina i čvrstih tvari. U tekućem su agregatnom stanju, ali im molekule posjeduju orijentaciju i visoku uređenost poput one u kristalnim rešetkama kristala. Plinovi i tekućine su izotropne tvari jer njihova fizikalna svojstva ovise o smjeru promatranja, odnosno mjerenja. Za razliku od njih, tekući kristali su anizotropni. Oni posjeduju određen stupanj uređenosti te su njihova fizikalna svojstva posljedično ovisna o smjeru.

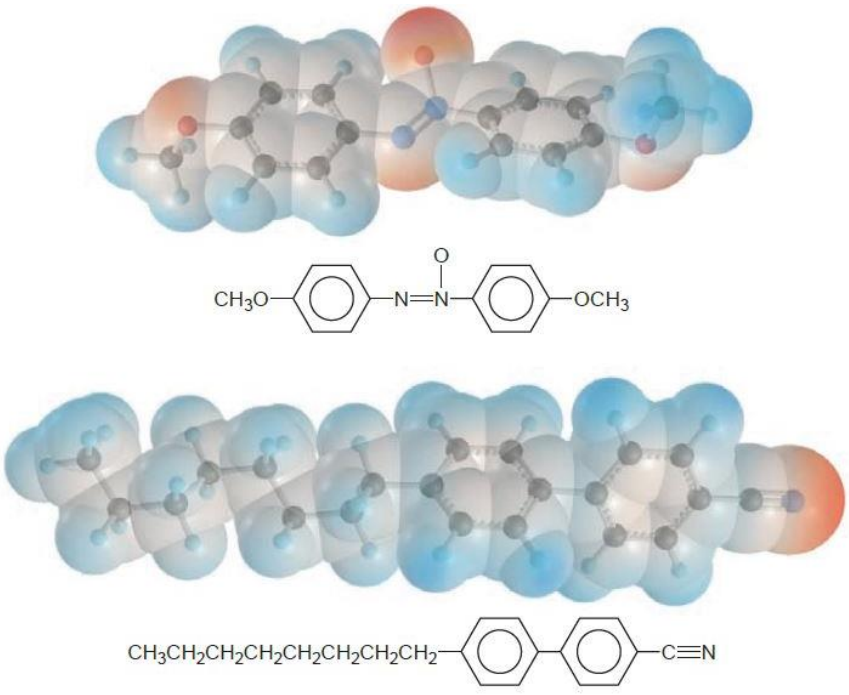
Ovisno o stupnju uređenosti, orijentaciji molekula i uvjetima u kojima se nalaze, postoje nekoliko faza tekućih kristala. Dvije su faze osnovne: termotropna i liotropna. Termotropna faza egzistira u određenom temperaturnom intervalu. Ako je temperatura previsoka, narušava se struktura tekućeg kristala i on prelazi u tekuće agregatno stanje. U slučaju preniske temperature, tekući kristal uglavnom prelazi u čvrsto agregatno stanje stanje poprima pravilno uređenje poput onoga u kristalima. Liotropna faza osim o temperaturi ovisi i o koncentraciji molekula tekućeg kristala.

Orijentaciju molekula u tekućem kristalu moguće je kontrolirati što omogućava proizvodnju materijala željenih svojstava, npr. visoke čvrstoće ili jedinstvene optičke orijentacije. Najvažnija primjena tekućih kristala danas su LCD (engl. *liquid crystal display*) zasloni koji se koriste u raznim uređajima poput mobitela, računala, satova, kalkulatora i slično.

§ 1. UVOD

Tekuće kristale uglavnom tvore organski spojevi, a kao što samo ime kaže egzistiraju u stanju materije koje se nalazi između tekućeg i krutog agregacijskog stanja, stoga su i njihova svojstva slična svojstvima anizotropnih kristala i svojstvima tekućina. Upravo zbog takve njihove prirode kao i utjecaja vanjskih faktora na njih (kao što su električno polje, magnetsko polje, temperatura i drugi), njihova primjena je vrlo široka. Osim u zaslonima računala, televizora, pametnih telefona i sličnih elektroničkih uređaja, tekući kristali koriste se i u optičkim računalnim sustavima, projektorima, u proizvodnji boja te u proizvodnji vlakana vrlo velike otpornosti na rastezanje.

Molekule tekućih kristala u većini slučajeva imaju oblik izduženog valjka čiji smjer se proteže duž određene osi te se međusobno orijentiraju sukladno disperznim silama, dipol-dipol interakcijama, odnosno vodikovim vezama koje ih međusobno povezuju, tj. drže na okupu kako bi cjelokupna struktura bila što bolje pakirana (slika 1.) .



Slika 1. Molekulske strukture dviju tipičnih molekula koje tvore termotropne faze tekućih kristala[1]

§ 2. PRIKAZ ODABRANE TEME

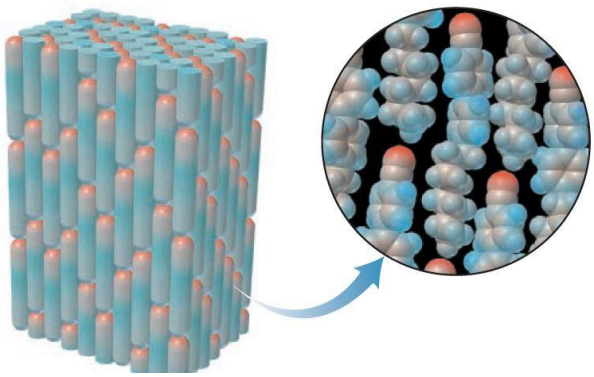
2.1. Osnovne faze tekućih kristala

2.1.1. Termotropni tekući kristali

Termotropna faza tekućih kristala egzistira u uskom temperaturnom rasponu. Do nastanka termotropne faze dolazi zagrijavanjem kristalne krutine. Zagrijavanjem, dolazi do raspada kristalne strukture, ali molekule i dalje, zbog jakih međumolekulskih interakcija koje održavaju molekule usmjerene i poredane duž određene osi, zadržavaju određen stupanj uređenosti, i ne dolazi do prijelaza u tekuće agregacijsko stanje. Ako se grijanje nastavi iznad gornje temperature intervala u kojem je termotropna faza stabilna,molekule će posjedovati dovoljno kinetičke energije da se počnu slobodno gibati , te dolazi do prijelaza u tekuće stanje. Temperaturni interval u kojem je termotropna faza stabilna obično iznosi od 1- 10°C. No taj interval moguće je i proširiti dodatkom određenih aditiva. Ukoliko se temperatura snižava ispod doljnje temperature intervala u kojem je termotropna faza stabilna, dolazi do kristalizacije.

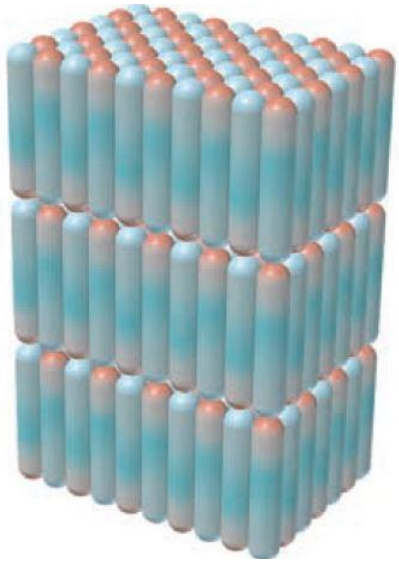
Podvrste termotropne faze tekućih kristala su nematična, smektična i kiralna faza. Te se faze razlikuju obzirom na slaganje i usmjerenost molekula u prostoru.

Nematična faza jedna je od najčešćih faza tekućih kristala i u toj fazi molekule uglavnom nemaju definiran položaj, ali su međusobno jednako usmjerene duž određene osi. Iako su sve molekule jednako usmjerene, njihovi krajevi nisu posloženi duž jedne linije , odnosno ne nalaze se u jednoj ravnini što je prikazano na slici 2. Nematična faza je najmanje uređena faza od sve tri podvrste termotropne faze.



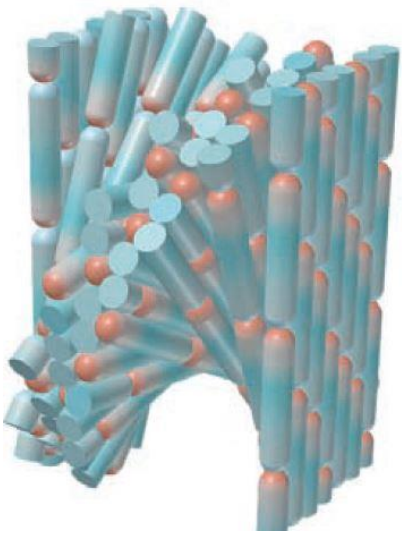
Slika 2. Prikaz molekula u nematičnoj fazi [1]

Smektičnu fazu čine molekule koje su istog smjera, međusobno paralelne i krajevi im se nalaze u istoj ravnini za razliku od nematične faze. Molekule tvore podjednake slojeve koji su međusobno paralelni i protežu se duž određene osi. Ova faza ima najpravilnije slaganje molekula u prostoru od svih faza tekućih kristala i to je prikazano na slici 3.



Slika 3. Usmjerenost molekula u smektičnoj fazi [1]

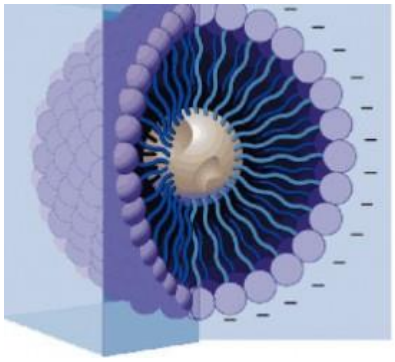
Kiralna faza je faza nešto više uređena od nematične faze. Molekule su posložene kao u nematičnoj fazi, ali svaki pojedini sloj je zakrenut za određeni kut u odnosu na sljedeći ili prethodni sloj što rezultira spiralnim uređenjem susjednih slojeva. Ova se faza iz tog razloga još naziva i zakrivljenom nematičnom fazom. Treći naziv ove faze je kolesterična faza jer je prvi put uočena u derivatima kolesterola



Slika 4. Usmjerenost molekula u kiralnoj fazi [1]

2.1.2. Liotropni tekući kristali

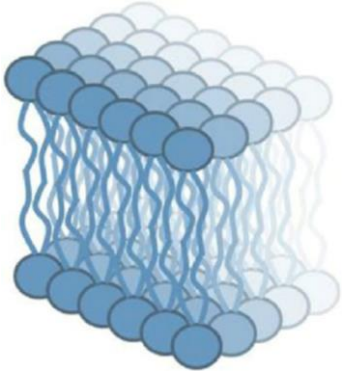
Liotropna faza tekućih kristala događa se u otopini i nastaje promjenom koncentracije otopljene tvari. Mnoge amfipatske molekule pokazuju svojstva liotropne faze ovisno o koncentraciji otopine. Amfipatske molekule su molekule koje se sastoje od hidrofilnog dijela (koji ima neku polarnu skupinu pa se lako veže na vodu) i od hidrofobnog dijela (koji ima neku nepolarnu i nenabijenu skupinu pa odbija vodu). Kada se takve molekule nalaze u vodenom mediju, one se međusobno slažu u nakupine čiji je hidrofilni dio okrenut prema površini zbog povoljnih interakcija s vodom, dok je hidrofobni dio okrenut prema unutrašnjosti takve nakupine. Ako je koncentracija otopine jako niska, amfipatske molekule će se nalaziti u disperznom stanju bez ikakvog prostornog uređenja. Pri nešto višoj koncentraciji dolazi do nastanka micela ili vezikula (slika 5) .



Slika 5. Struktura micele koju čine amfipatske molekule [15]

Te strukture sfernog oblika slobodno se kreću otapalom i ne dolazi do njihovog prostornog uređenja, ali ako se koncentracija otopine poveća, moguće je njihovo uređivanje.

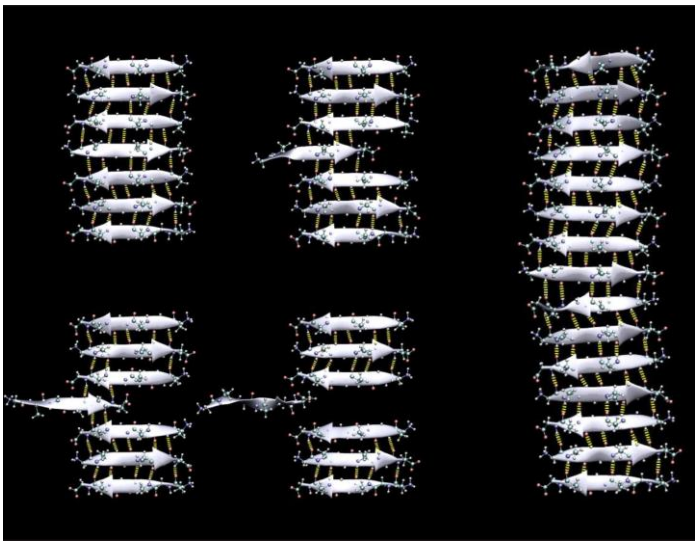
Još jedno tipično slaganje amfipatskih molekula je dvosloj (slika 6) gdje je hidrofilni dio, kao i kod micela, izložen otapalu, a hidrofobni je okrenut prema unutrašnjosi. Takvi dvosloji mogu stvarati dugačke lance koji mogu formirati strukturu približno jednakoj heksagonskoj.



Slika 6. Prikaz dvosloja amfipatskih molekula [16]

Stabilnost liotropne faze omogućuju međumolekulske interakcije koje su slabe, osjetljive na promjene okoline i vrlo lako se mogu narušiti pa je iz tog razloga teško proučavati njihovu strukturu i svojstva.

Primjeri liotropnih tekućih kristala mogu se naći u živim organizmima pa čak i u mineralima. Živa bića imaju obilje amfipatskih molekula koje pokazuju svojstva liotropnih tekućih kristala i to se većinom odnosi, naravno, na membrane stanica koje su građene od fosfolipidnog dvosloja. Još jedan zanimljiv primjer tekućih kristala kod živih bića je koncentrirana otopina proteina koju izlučuju pauci prilikom stvaranja svilenih niti. Čvrstoća tih niti leži upravo u preciznom uređenju i slaganju molekula proteina koji stvaraju tanke planarne strukture međusobno povezane vodikovim vezama. Te molekule imaju sposobnost brze obnove narušenih međumolekulskih interakcija (slika 7.). Zbog jako velike čvrstoće i rastezljivosti tih niti, znanstvenici diljem svijeta sve više rade na sintetiziranju materijala sličnih svili pauka.



Slika 7. Prikaz obnove narušenih međumolekulskih interakcija između molekula u svilenim nitima koje stvaraju pauci [17]

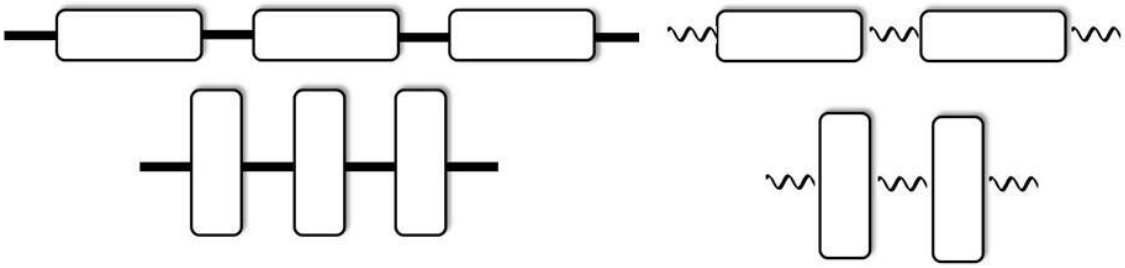
Prvi otkriven anorganski spoj koji pokazuje svojsta tekućih kristala je vanadijev (V) oksid. Svojstva tog minerala koja odgovaraju dijelom nematičnoj i dijelom smektičnoj fazi dugo nisu bila potvrđena, sve do nedavno. Zahvaljujući brzom razvoju nanoznanosti i pripravi mnogih anizotropnih nanočestica dolazi do sve većeg broja otkrivenih mineralnih tekućih kristala.

2.2. Tekući polimerni kristali (LCP – *liquid crystal polymer*)

Tekući polimerni kristali su uglavnom tekući kristali koje čine aromatski polimeri. Odlikuje ih izuzetna čvrstoća, inertnost, električna otpornost, otpornost na jako visoke temperature te kemijsku reaktivnost. Upravo zbog tih svojstava imaju jako široku primjenu u raznim industrijskim procesima.

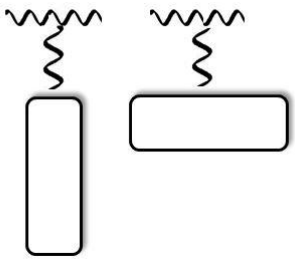
Tekući polimerni kristali mogu biti liotropni, koji egzistiraju u točno određenoj koncentraciji otopine i rasponu temperature, i termotropni čija svojstva, struktura i stabilnost sustava ovisi o temperaturi.

Glavna podjela ovih vrsta polimera je na tekuće polimerne kristale glavnog lanca, tekuće polimerne kristale sporednog lanca i kombinirane tekuće polimerne kristale. Makromolekule koje tvore LCP-glavnog lanca mogu cijele biti rigidne (s vrlo malim stupnjem konformacijske slobode) ili fleksibilne (tj. velike konformacijske slobode). Kod fleksibilniih makromolekula, kao što je prikazano na slici 8., monomerne jedinic su i dalje vrlo rigidni te su povezani fleksibinim poveznicama (*spacers*).



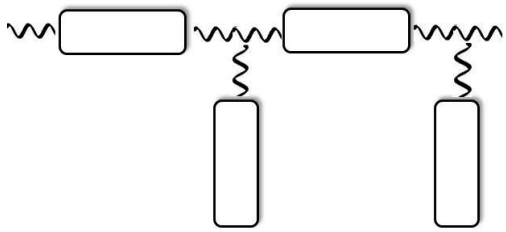
Slika 8. Primjeri LCP-glavnog lanca čvrste (lijevo) i fleksibilne strukture (desno)

Drugi primjer polimera je LCP-sporednog lanca u kojem su individualne rigidne monomerne jedinice također povezane fleksibilnim poveznicama, ali su kao što samo ime kaže dio sporednog lanca fleksibilne makromolekule.



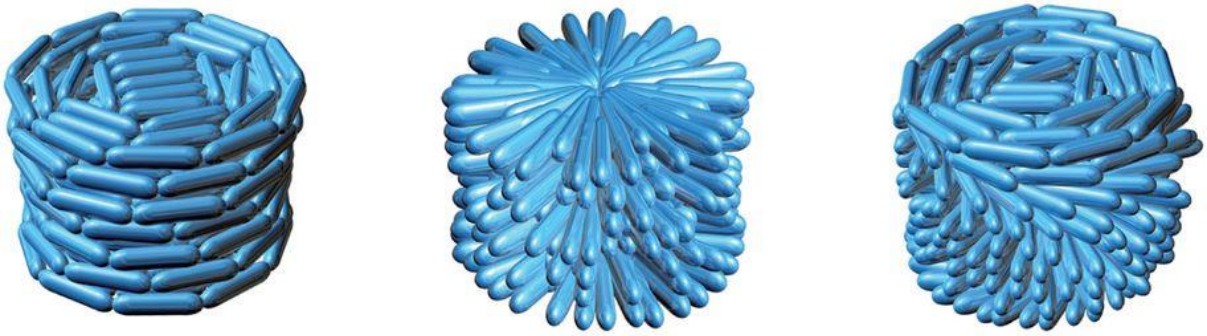
Slika 9. Primjer LCP-sporednog lanca

Kombinirani polimeri sastoje se naizmjence od glavnog i sporednog lanca koji zajedno čine fleksibilnu cjelinu kao što je prikazano na slici 10.



Slika 10. Kombinirani tekući polimerni kristali

Polimeri glavnog lanca, neovisno jesu li liotropni ili termotropni uglavnom stvaraju nematičnu fazu. Ako su LCP-glavnog lanca u termotropnoj fazi i dolazi do sniženja temperature, nematična faza prelazi u kristalno stanje sa stupnjem kristalizacije višim od 90 %. Ista promjena se događa kod liotropnih LCP-glavnog lanca ako se ekstrahira otapalo. Promjena smjera i orijentacije nematične faze moguća je ako se primjeni vanjsko električno ili magnetsko polje. Usmjeravanje uređenja polimera može biti na više različitih načina. Na slici 11. prikazani su redom azimutni, radijalni i kružno zavijeni načini slaganja polimera tekućih kristala u nematičnoj fazi.

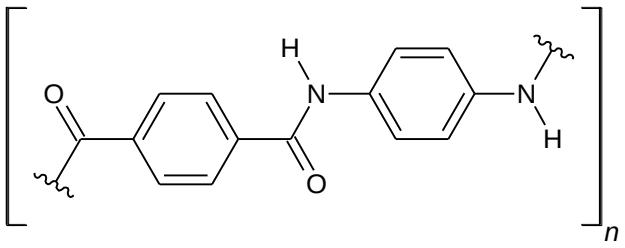


Slika 11. Trodimenzionalni prikaz slaganja polimera tekućih kristala ; azimutni, kružni i kružno zavijeni [18]

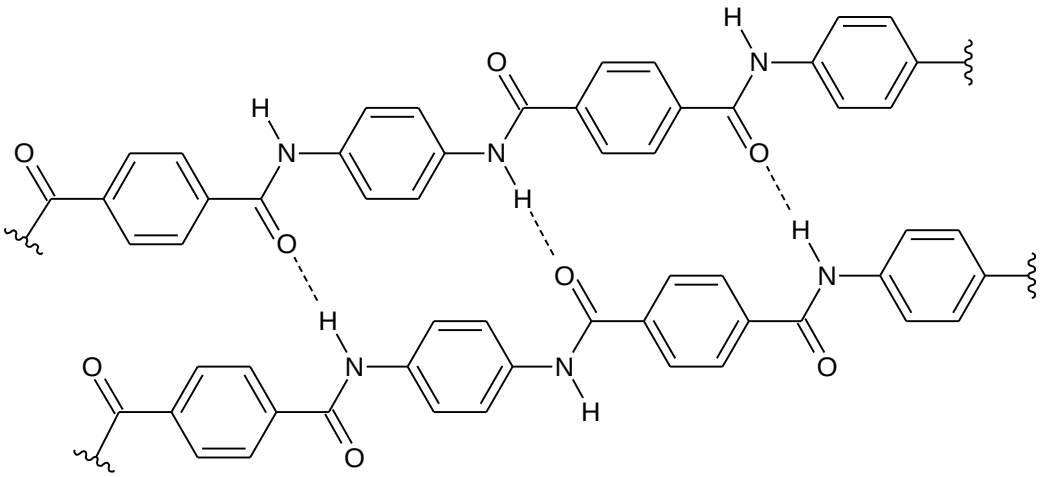
Tekući polimerni kristali su materijali visoke čvrstoće, ali ih je lako moguće formirati i modelirati. Temperatura taljenja polimera je između 280 °C i 330 °C dok se temperatura modeliranja kreće već od 70 °C do 130 °C. Prilikom modeliranja, molekule tekućih polimernih kristala održavaju svoju orijentaciju i anizotropnost. To svojstvo ih čini boljim sintetičkim materijalima od npr. poliplasta, koji su danas najviše u uporabi, i omogućava raznoliku

primjenu. Često se koriste u izradi dijelova za štednjake i mikrovalne pećnice ili za zaštitu motora u strojevima upravo zbog otpornosti na visoku temperaturu. Visoka čvrstoća i otpornost na kemijsku reaktivnost čini ih pogodnim u automobilskoj industriji za izradu visokotlačnih spojnica pri dovodu goriva. Još jedna od bitnih primjena tih polimera je u izradi poluvodiča i kučišta za elektroničke uređaje zbog njihovih električno-izolacijskih svojstava. Unutarnje uređenje polimera tekućih kristala može se reći da je slično vlaknima u drvu. Hlađenjem i skrućivanjem poprimaju oblik tanke ploče ili štapa koji se zatim mogu lako oblikovati u materijale koji se koriste kao vlakna za izradu razne odjeće i opreme.

Najpoznati tekući polimerni kristal je poli-parafenilen tetraftalamid, komercialnog naziva-kevlar (slika 12.). Kevlar je polimer kemijske formule $[\text{-CO-C}_6\text{H}_4\text{-CO-NH-C}_6\text{H}_4\text{-NH-}]_n$ i ima najširu primjenu od svih tekućih polimernih kristala.



Slika 12. Strukturna formula kevlara



Slika 13. Prikaz povezivanja dvaju polimernih lanaca kevlara vodikovim vezama

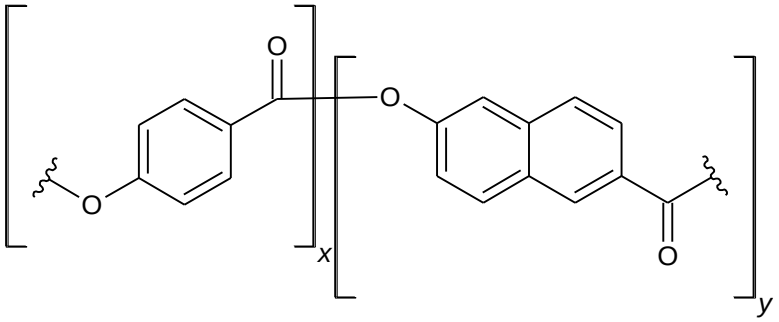
Na tržištu je dostupno nekoliko vrsta kevlara; npr.Kevlar K100 koji je obojena verzija kevlara. Podjela kevlara na različite vrste temelji se na njihovoj primjeni, npr. neki su namijenjeni za izradu odjeće, drugi za elektroničke uređaje i dijelove, treći služe za izradu užeta i slično.

Čvrstoća tog materijala leži u stvaranju vodikovih veza, van der Waalsovih interakcija i nastanku jakih nekovalentnih interakcija između aromatskih prstenova susjednih lanaca, tzv. π-interakcije. Kevlar se koristi za izradu razne zaštitne odjeće poput balističkih prsluka i neprobojnih maski za lice, raznih kaciga i oklopa koje koriste zaštitarske službe, policija ili specijalne službe, te za izradu rukavica, jakni i ostalih dijelova odjeće koji se koriste za zaštitu od topline ili posjekotina. U izradi sportske opreme koristi se za zaštitna odijela motociklista, prsluka mačevalaca, za izradu tenisica ili vezica. Primjenu nalazi čak i u glazbenoj industriji gdje se koristi za izradu dijelova žičanih instrumenata i bubnjeva te razne audio opreme. Kevlar se još koristi i za izradu raznih kablova, užeta i cijevi.



Slika 14. Kevlar [19]

Još jedan od primjera tekućih polimernih kristala je i Vectran čija je molekulska struktura prikazana na slici 15. Vectran vlakna su pet puta snažnija od čelika i deset puta snažnija od aluminija što ih čini izrazito čvrstima i učinkovitima za raznu primjenu. Ta se vlakna (slika 16.) , između ostalog koriste u izradi užeta, kablova, profesionalnih guma za bicikle, vojne opreme, odijela za astronaute i opreme koja se koristi u istraživanju podmorja na velikim dubinama. Osim čvrstoće, još neka bitna svojstva Vectrana su otpornost na ogrebotine, širok raspon termičke stabilnosti, otpornost na visoke stupnjeve radijacije i dugotrajna izdržljivost. Još jedna od prednosti ovog materijala je da pri radu s plinovima dolazi do pravilne razgradnje ili otpuštanja plinovitih para bez da se one apsorbiraju u sama vlakna. Time su izbjegnuta potencijalna trajna oštećenja Vectran vlakana.



Slika 15. Strukturna formula Vecrana



Slika 16. Vectran vlakna [21]

2.3. Primjena tekućih kristala

2.3.1. Tekući kristali kod LCD zaslona

Osim već navedenih primjena tekućih polimernih kristala, tekući kristali danas se najviše koriste u optičkom računalstvu. To se poglavito odnosi na zaslone raznih elektroničkih uređaja tzv. LCD zasloni (engl. *liquid crystal display*). Način rada tih zaslona temelji se na optičkim svojstvima tekućih kristala poput svojstva cirkularnog dikroizma.

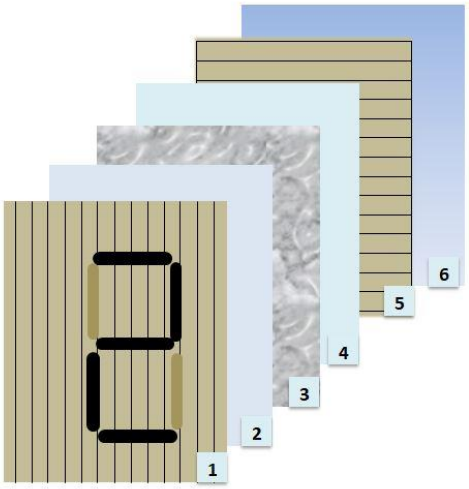
Općenito, za materijale koji ili uzrokuju razdvajanje vidljive svjetlosti na zrake različitih valnih duljina, ili apsorbiraju polariziranu svjetlost, kažemo da posjeduju svojstvo dikroizma. Cirkularni dikroizam je dikroizam koji se temelji na nejednakoj apsorpciji lijevo i desno polariziranog svjetla. Do te pojave dolazi pri prolasku svjetlosti kroz optički aktivan spoj. Tekući kristali koji pokazuju optičku aktivnost podvrsta su termotropne faze tekućih kristala – kiralnih tekućih kristala. Kiralne molekule su one koje se ne mogu preklopiti sa svojom slikom u zrcalu, nemaju ravninu simetrije, centar inverzije ni os neprave rotacije, a glavno obilježje im je zakretanje ravnine polarizirane svjetlosti.

Ukoliko bijela svjetlost padne na tekuće kristale koji se nalaze u kiralnoj fazi i posjeduju svojstvo kružnog dikroizma, valna duljina reflektirane zrake ovisit će o upadnom kutu svjetlosti. Ovisno o valnoj duljini reflektirane svjetlosti, vidljive su različite boje na zaslonu. Boja zaslona se može još podesiti i pomoću različith filtera te orijentacije samih molekula. Na smjer i orijentaciju molekula tekućih kristala moguće je utjecati pomoću električnog polja. Upravo zbog tih svojih karakteristika, tekući kristali kiralne termotropne faze se upotrebljavaju u zaslonima televizijskih prijamnika, satova, mobitela, raznih monitora računala, projektora i sličnih uređaja.

LCD zasloni kakve nalazimo kod gore navedenih uređaja, najčešće se sastoje od polarizatora, staklenih ploča, LCD matrice (sloj tekućih kristala, slika 17.3), pozadinskog svjetla i pripadajućih elektroničkih dijelova (slika 17). LCD matrica može biti aktivna ili pasivna, ovisno o tome radi li se o LCD zaslonima u boji ili ne. Ako je zaslon u boji onda sadrži aktivnu matricu, ako je monokromatski onda sadrži pasivnu matricu. Sloj tekućih kristala nalazi se između dva polarizatora koji su međusobno orijentirani pod 90 stupnjeva. Pozadinsko svjetlo prolazi kroz prvi polarizatorski filtar, a kada prođe kroz sloj kiralnih tekućih kristala koji su posloženi kao molekule nematične faze uz spiralno usmjerenje, dolazi do promjene orijentacije propuštene svjetlosti. Upravo zbog te reorijentacije elektro-magnetskog vektora svjetlosti ona

dalje može proći kroz drugi polarizacijski filtar i time omogućava prozirnost cjelokupnog zaslona. Kad ne bi bilo sloja tekućih kristala između dva polarizatora, svjetlost propuštena kroz prvi polarizator bila bi zaustavljena na drugom polarizatorskom filtru što bi rezultiralo crnim zaslonom. LCD zasloni sami po sebi ne stvaraju nikakvu svjetlost pa je potreban vanjski izvor svjetlosti da bi nastala vidljiva slika na zaslonu. Kod zaslona sa pasivnom matricom (monokromatski LCD zasloni), svjetlost se emitira prolaskom električne struje kroz staklene ploče sa elektrodama, dok se kod kvalitetnijih LCD zaslona u boji koji imaju aktivnu matricu koristi neka vrsta pozadinskog svjetla poput LED žaruljice (engl. *Light Emitting Diode*).

Ukoliko se na LCD zaslon primijeni električno polje, dolazi do postupne promjene orijentacije molekula tekućih kristala. Na slici 17. dan je shematski prikaz LCD zaslona u ručnom satu. Svjetlost se širi u svim smjerovima i kada dođe do prvog polarizatora, samo svjetlost s orijentacijom elektro-magnetskih vektora u jednom smjeru može proći taj polarizator i doći do sloja tekućih kristala. Ako je električno polje uključeno, molekule tekućih kristala će se pravilno usmjeriti i time će zapriječiti prolaz svjetlosti do drugog polarizatora i na kraju na ogledalo (reflektirajuća pozadina) što ima za posljedicu znatno povećanje tamnog dijela zaslona. Ako dođe do proširenja svijetlog dijela na zaslonu to ukazuje da je električno polje isključeno i da su tekući kristali nepravilnog uređenja što omogućava svjetlosti prolaz kroz oba polarizatora do ogledala gdje se reflektira natrag. Orijentaciju molekula kontrolira prolazak električne struje koju stvara baterija u ručnom satu. Povećanjem napona električnog polja veći je kontrast između prozirnog i tamnog dijela zaslona. Na takav se način električno polje koristi za promjenu prozirnosti piksela zaslona koji se koriste za razne uređaje.



Slika 17. Shematski prikaz zaslona ručnog sata, 1. Polarizator sa vertikalnim osima, 2. i 4. Staklene ploče sa elektrodama, 3. Sloj tekućih kristala, 5. Polarizator sa horizontalnim osima, 6. Pozadinsko svjetlo ili reflektirajuća pozadina

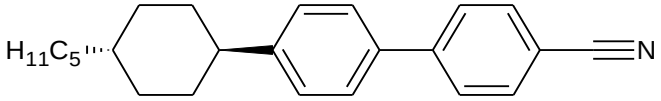
Prozirnost određenih piksela, odnosno njihova neprozirnost, omogućava nam da vidimo razne znakove, slova ili brojeve na zaslonima. Način na koji se prikazuju podaci u LCD zaslonu ručnog sata (monokromatski zaslon sa pasivnom matricom), također se puno koristio u zaslonima igraćih konzola poput popularnog *Gameboy*-a sve do sredine devedesetih godina prošlog stoljeća kada su se počeli koristiti LCD zasloni sa aktivnim matricama. U današnje vrijeme se monokromatski LCD zasloni još koriste u raznim uređajima koji su manje zahtjevni od računala ili televizora poput satova, kalkulatora i općenito kod nekih prijenosnih uređaja koji prikazuju manji sadržaj informacija i koriste slabiji izvor energije.

Kod zaslona u boji, princip rada je dosta sličan onom kod zaslona sa različitim nijansama jedne boje. Najveća razlika između te dvije vrste zaslona je u tome što zasloni u boji koriste samo aktivne matrice, imaju vanjski izvor svjetlosti i dodatne filtere koji su zaslužni za nastanak crvenih, zelenih i plavih piksela. Svaki taj piksel sastoji se od manjeg dijela molekula tekućih kristala koji su smješteni između prozirnih elektroda, polarizatora i pozadinskog svjetla što je prikazano na slici 17.

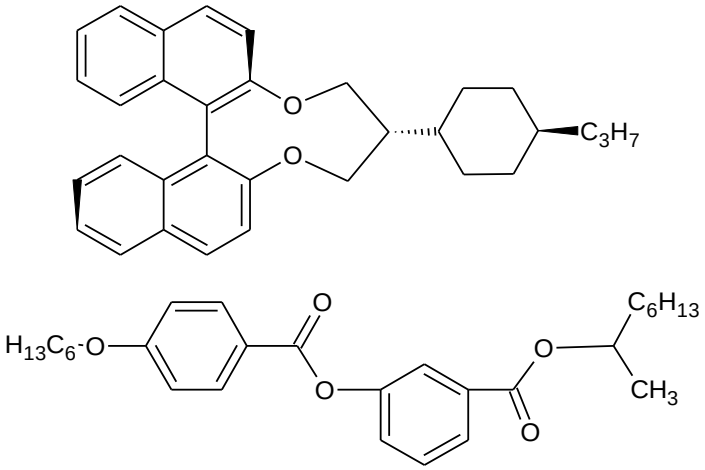
LCD zasloni sa aktivnim matricama sadrže više slojeva tranzistora između staklenih dijelova zaslona. Ti tranzistori su zaslužni za moduliranje napona u svakom elementu za prikaz slike (pikselu) čime se postiže kvalitetniji prikaz slike, bolji kontrast i svjetlina. Ovisno o slaganju, fazi i načinu orijentacije molekula tekućih kristala postoji nekoliko vrsta LCD zaslona sa aktivnim matricama koji koriste različite tehnologije, na primjer TN (*twisted nematic)* , IPS (*in-plane switching),* AFFS (*advanced fringe field switching),* VA (*vertical alignment)* i još nekoliko drugih.

TN (engl. *twisted nematic*) je vrsta tehnologije LCD zaslona kod koje se tekući kristali nalaze u nematičnoj fazi i ovisno o orijentaciji molekula tekućih kristala, mogu propustiti svjetlost kroz zaslon ili je zaustaviti. Kada se na zaslon ne primjenjuje napon električne struje, polarizirana svjetlost prolazi kroz sloj tekućih kristala i kao rezultat nema slike na zaslonu. Pod utjecajem primijenjenog napona, molekule tekućih kristala mijenjaju svoju orijentaciju i dolaze u položaj kojim zaustavljaju put prolaza polarizirane svjetlosti. Točno određenim podešavanjem napona koji se primjenjuje na zaslon, moguće je dobiti gotovo sve nijanse sive

boje. Nedostaci ove tehnologije su velika ovisnost kvalitete slike o kutu gledanja i loš prikaz boja. Jedan od primjera spoja koji gradi tekuće kristale ove vrste tehnologije su fenilcikloheksani (slika 18.) koji su se koristili na samom početku razvoja LCD zaslona. Kasnije, krajem dvadesetog stoljeća, počeli su se koristiti spojevi poput alkena prikazanih na slici 19.

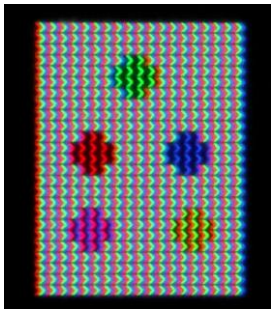


Slika 18. Strukturna formula jednog od derivata fenilcikloheksana

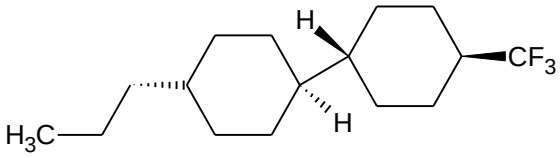


Slika 19. Strukturne formule spojeva koji se koriste u TN vrsti LCD zaslona

IPS (engl. *in-plane switching*) tehnologija nadopunjava TN tehnologiju i razvijena je s namjerom da riješi glavne nedostatke TN tehnologije. Kod IPS tehnologije je usmjerenje molekula tekućih kristala slično kao i kod TN tehnologije, ali se razlikuje položaj elektroda što u konačnici rezultira drugačijim smjerom električnog polja. To utječe na vidljivost boja na zaslonu, kontrast i svjetlinu. Kasnije je razvijena S-IPS (*super*-IPS) tehnologija (slika 20) koja je malo poboljšana verzija IPS tehnologije. Prednosti ove tehnologije su jasnoća slike, vidljivost i postojanost boja sa svih kuteva gledanja i da prilikom dodira zaslona ne dolazi do promjene boje ili titranja. Primjer spoja koji grade tekuće kristale koji se koriste u ovoj tehnologiji su derivati trifluorometil-bicikloheksana (slika 21.).



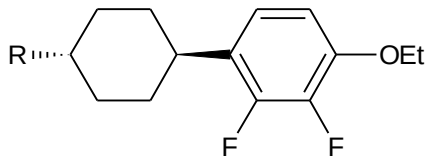
Slika 20. Prikaz sloja piksela kod LCD zaslona sa S-IPS tehnologijom [20]

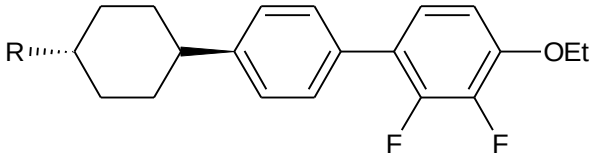


Slika 21. Prikaz strukturne formule derivata trifluorometil-bicikloheksana

AFFS tehnologija (engl. *advanced fringe field switching*) slična je S-IPS tehnologiji, ali s određenim poboljšanjem. Kod zaslona koji koriste aktivnu matricu sa AFFS tehnologijom smanjena je deformacija boja na zaslonu i proširen je kut gledanja.

VA (engl. *vertical alignment*) tehnologija kod LCD zaslona razlikuje se od ostalih po usmjerenju molekula tekućih kristala. Kad se ne primjenjuje napon u uređaju, molekule su usmjerene okomito na staklenu podlogu čime se stvara crni zaslon između ploha polarizatora. Primjenom napona, dolazi do zakretanja molekula tekućih kristala u odnosu na njihov prvobitni položaj (tj. položaj koji su imale u trenutku bez primjene napona) čime se omogućuje prolaz svjetlosti i nastanak raznih nijansa sive boje. Time je ostvaren veći raspon kontrasta. Još neke prednosti ove tehnologije su širi kut gledanja i bolja kvaliteta slike pri ekstremnim temperaturama. Kod ove tehnologije se koriste tekući kristali poput derivata 2,3-difluorofenilena (slika 22.)





Slika 22. Strukturne formule derivata 2,3-difluorofenilena

LCD zasloni se danas koriste više od nekih drugih zaslona poput plazme ili CRT (engl. *Cathode-Ray Tube*) monitora koji spadaju u klasične kompjuterske monitore. Glavne prednosti LCD zaslona su bolji prikaz boja (zbog postojanja piksela od kojih svaki posjeduje crveni, zeleni ili plavi segment), duži vijek trajanja čime su pogodniji za dvadesetčetverosatno korištenje. Nadalje, LCD zasloni podržavaju veće rezolucije slike i nemaju staklenu površinu pa time ne reflektiraju svjetlost iz okoline. Uz navedene prednosti ovih zaslona, najveća im je prednost što u usporedbi s ostalim zaslonima troše upola manje električne energije.

2.3.2. Primjena tekućih kristala u farmaceutskoj industriji

U kozmetici se većina korištenih proizvoda radi u obliku emulzije, bilo da je ta emulzija više kremasta, tekuća ili namijenjena za boce sa raspršivačem. Emulzija je općenito smjesa dviju tekućina koje se međusobno ne miješaju; poput neke lipofilne i hidrofilne supstance. Da bi takva smjesa bila stabilna dodaje se emulgator koji raspršuje jednu supstancu u drugoj u obliku sitnih kapljica.

Tekući kristali mogu se koristiti kao emulgatori koji stabiliziraju razne kozmetičke proizvode. Za razliku od voska i njemu sličnih tvari koji se ponajviše koriste kao emulgatori, tekući kristali omogućuju bolju teksturu krema, gelova ili sprejeva te lakšu i jednostavniju mazivost ili raspršenje pri korištenju tih proizvoda. Iz tog se razloga tekući kristali više primjenjuju u kozmetici u današnje vrijeme.

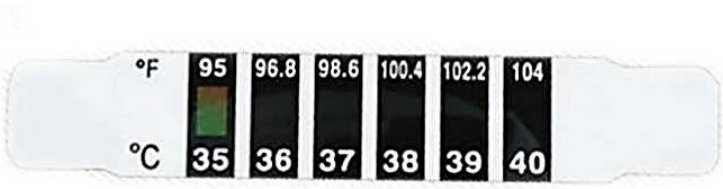
Jedna od najvećih prednosti tekućih kristala kao emulgatora je sama stabilnost emulzije. Naime, tekući kristali omogućavaju da se uljasti spojevi duže zadržavaju raspršeni u vodenom mediju bez da dođe do njihovog međusobnog odvajanja. Nadalje, tekući kristali produžavaju hidrataciju kozmetičkih proizvoda jer se između polimernih lanaca zadržava dosta vode koja je time manje sklona isparavanju. Na taj se način osigurava dulja hidratacija kože što je veoma bitno za ulazak ljekovitih sastojaka u kožu. Još jedna od prednosti tekućih kristala kod ove primjene je kontrolirano otpuštanje ljekovitih tvari otopljenih u uljnom dijelu emulzije. To je

moguće zbog slojevite strukture polimernih lanaca koji okružuju uljne kapljice i postepeno ih otpuštaju u kožu te ih štite od mogućeg prijenosa na drugu površinu.

Osim navedenih primjera u kozmetici, tekući kristali se u današnje vrijeme razmatraju kao novi kandidati za potencijalne lijekove koji bi se koristili za liječenje raznih bolesti. Neki od takvih lijekova su još u predkliničkim ispitivanjima i trenutno se razmatra o mogućem kliničkom ispitivanju te kasnijoj redovnoj primjeni. Primjeri farmakoloških tekućih kristala su olecin, apaton i tolicin koji su namijenjeni za liječenje kancerogenih stanica.

2.3.3. Ostale primjene tekućih kristala

Termotropni tekući kristali se zbog svojih specifičnih svojstava koriste i u termometrima. Tekući kristali u termotropnoj fazi su osjetljivi na promjenu temperature što rezultira promjenom njihove boje. Molekule u toj fazi imaju sposobnost reflektiranja svjetlosti određene valne duljine koja u konačnici ovisi o temperaturi. Iz tog je razloga moguće odrediti temperaturu na temelju boje tekućih kristala u termometru. Termotropni tekući kristali mijenjaju boju u uskom temperaturnom području pa je termometar crne boje ispod i iznad tog raspona, a u samom tom temperaturnom području se boja kristala mijenja od ljubičaste prema crvenoj boji. Ako se tekućim kristalima određeni reagensi i/ili aditivi, moguće je napraviti termometre različitih temperaturnih raspona. Takvi termometri se danas koriste za mjerenje sobne ili tjelesne temperature (slika 23.), temperature u hladnjacima, dječjim bočicama ili za mjerenje temperature vode u akvariju ili bazenima.



Slika 23. Prikaz termometra s tekućim kristalima za mjerenje tjelesne temperature[22]

Tekući kristali zbog svojih specifičnih svojstava u današnje vrijeme pronalaze široku primjenu u industrijskoj proizvodnji, ali i u svakodnevnom životu. Osim svih do sad navedenih primjera, tekući kristali se zbog svojih optičkih svojstava i sposobnosti promjene boje u ovisnosti o temperaturi još koriste i u dekorativne svrhe. Jedan od takvih primjera je takozvani

prsten raspoloženja (slika 24.) koji mijenja boju ovisno o tjelesnoj temperaturi osobe koja ga nosi.



Slika. 24. Prsten raspoloženja[23]

§ 3. LITERATURNI IZVORI

1. M. S. Silberberg, *Chemistry – The Molecular Nature of Matter and Change*, 5th ed., McGraw-Hill, New York, 2008, str. 478 – 481.
2. B. Bahadur, *Liquid Crystals – Applications and Uses*, Vol. 3, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore, 1992.
3. R. Vuković, *Nomenklatura i terminologija polimera*, Vol. 1, *Kem.Ind.* **55**, (2006), 11-12
4. C. A. Harper, *Modern Plastics Handbook*, McGraw-Hill, New York, 2000.
5. L. Lam, V. P. Shibaev, *Liquid Crystalline and Mesomorphic Polymers*, Springer – Verlag New York, 1994.
6. J. A. Castellano, *Liquid Gold – The Story of Liquid Crystal Displays and the Creation of an Industry*, World Scientific Publishing, 2005.
7. S. Chandrasekhar, *Liquid Crystals*, 2nd ed., Cambridge University Press, 1992.
8. P. J. Collings, M. Hird, *Introduction to Liquid Crystals : Chemistry and Physics*, Taylor & Francis Group, Bristol, 1997.
9. M. D. Bachmann, F. F. Balakirev, L. Balicas, E. D. Bauer, M. K. Chan, T. Helm, M. Jaime, R. D. McDonald, P. J. W. Moll, B. J. Ramshaw, F. Ronning, K. R. Shirer, *Electronic In-Plane Symmetry Breaking at Field-tuned Quantum Criticality in $CeRhIn_5$*, Nature **548**, (2017), 313 – 317
10. E. Gatdula, J. A. A. Harvey, A. L. MacKinnon, J. A. Rego, *Asymmetric Synthesis of a Highly Soluble 'Trimeric' Analogue of the Chiral Nematic Liquid Crystal Twist Agent Merck S1011*, Liquid Crystals **37**, (2009), 37 – 43
11. D. Hong, X. Jian, Y. Li, Q. Liang, C. Liu, P. Liu, *Synthesis and Properties of Lyotropic Liquid Crystalline Copolyamides Containing Phthalazinone Moieties and Ether Linkages*, Polymer **46**, (2005), 6258 – 6265
12. A. K. Datta, S. Munshi, *Information Photonics: Fundamentals, Technologies and Applications*, CRC Press, Florida, 2016.
13. T. P. Brody, *Birth of the Active Matrix* , Information Display **13**, (1997), 28 – 32
14. A. J. S. M. de Vaan, *Competing display technologies for the best image performance*, Journal of the society of information displays **15,** (2007), 657–666;

15. http://www.jrhessco.com/critical-micelle-concentration-measuring-surfactant-efficiency/ (datum pristupa 07. lipnja 2017.)
16. https://www.researchgate.net/figure/221676051_fig2_Fig-2-Amphiphilic-molecules-forming-bilayer-membrane (datum pristupa 07. lipnja 2017.)
17. http://news.mit.edu/2010/spider-silk-0315 (datum pristupa 08. lipnja 2017.)
18. http://www.nature.com/nmat/journal/v12/n1/fig_tab/nmat3526_F2.html(datum pristupa 09. lipnja 2017.)
19. https://en.wikipedia.org/wiki/File:Aramid_fiber2.jpg (datum pristupa 12. lipnja 2017.)
20. https://en.wikipedia.org/wiki/File:Wiki_dell_lcd.jpg (datum pristupa 23. ožujka 2018.)
21. http://www.servicethread.com/blog/what-is-vectran (datum pristupa 13. kolovoza 2018.)
22. https://www.google.hr/search?q=liquid+crystal+thermometer+compounds&num=50&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiOlrSzyZ7dAhWRct8KHZpcBwgQ_AUICigB&biw=1366&bih=662#imgrc=oMUXVZHmK0gMPM: (datum pristupa 30. kolovoza 2018.)
23. https://www.thesacredspirit.net/products/mood-ring-body-temperature-as-an-spiritual-indicator-of-your-mood-and-state-of-mind-new-age-jewelry.html (datum pristupa 31. kolovoza 2018.)
24. V. Remteke, S. Shahi, I. Syed, I. Tadwee, *Liquid Crystals Pharmaceutical Application: A Review*, Vol 1, International Journal of Pharmaceutical Research and Allied Sciences, (2012), 06-11
25. D. Andrienko, *Introduction to liquid crystals*, Journal of Molecular Liquids (2018), https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.01.175