

PRIKAZOVALNIKI S TEKOČIMI KRISTALI

Milan Ambrožič, Institut "Jožef Stefan", Jamova 39, Ljubljana

Liquid Crystal Displays

ABSTRACT

Liquid crystals are interesting both, from thermodynamic point and because of their application in liquid crystal displays. In this article a short review of their characteristics is given, especially of nematics which are technologically the most important. A liquid crystal cell will also be described.

POVZETEK

Tekoči kristali so zanimivi s termodinamskega stališča in zaradi rabe v prikazovalnikih. V tem članku so na kratko opisane njihove lastnosti, posebno pa nematkov, ki so tehnološko najzanimivejši. Ogleдали si bomo tudi standardno celico tekočokristalnega zaslona.

1 Uvod

Tekoči kristali so vmesna (mezomorfna) faza med izotropnimi tekočinami in kristalnimi trdnimi snovmi. Prva sta jih opazovala Reinitzer in Lehmann konec prejšnjega stoletja. Reinitzer je ugotovil, da ima holesteril benzoat pri taljenju dve značilni temperaturi: pri 145,5 °C se stali v motno tekočino, ki se zbistri šele pri 178,8 °C. Lehmann je opazoval ta kristal med prekrizanimi polarizatorjema. Ker je ta sistem prepuščal svetlobo, je sklepal, da je snov optično anizotropna v nasprotju z navadnimi tekočinami. Zato ji je dal ime tekoči kristal.

Danes poznamo na tisoče organskih snovi, ki tvorijo mezomorfno fazo. V tridesetih letih tega stoletja, potem ko so izdelali teorijo o tekočih kristalih, je zanimanje zanje skoraj popolnoma zamrlo. Šele v šestdesetih letih so obudili raziskave na tem področju, največ zaradi možnosti njihove uporabe v prikazovalnikih na digitalnih urah, žepnih računalnikih in raznih merilnih instrumentih. Glavni poudarek je na izboljševanju elektrooptičnih lastnosti teh materialov, kot so velik kontrast svetlotemno, majhna električna moč (nizka vzbujevalna napetost) in hiter odziv na spremembo električnega polja. Pomembni so tudi kemijska obstojnost, ponovljivost in reverzibilnost glede na spreminjanje električne napetosti. Pri velikih tekočokristalnih zaslonih se poleg težav pri doseganju ugodnih lastnosti samih kristalov pojavlja tudi problem naslavljanja, to je vzbujanja posameznih točk zaslona. Poleg tega mora biti tehnologija teh prikazovalnikov združljiva s C-MOS, ki temelji na polprevodniku siliciju. V nadaljevanju si bomo najprej ogledali lastnosti in klasifikacijo tekočih kristalov, potem pa še princip delovanja najpogostejše izpisne celice tipa TNC.

2 Osnovne lastnosti tekočih kristalov

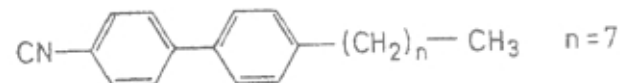
Mezomorfno fazo lahko dobimo pri segrevanju nekaterih organskih spojin v temperaturnem območju med trdnim in tekočim agregatnim stanjem. Pri temperaturi tališča T_t preide snov iz kristalne v mezomorfno fazo, ki je največkrat motna, pri višji temperaturi T_b (temperatura zbitritve) pa v izotropno tekočino. Razlika med temperaturama je lahko več deset stopinj. Pri mnogih tekočih kristalih obstaja več strukturno različnih mezomorfnih faz, ki so stabilne v intervalih med tem-

peraturama T_t in T_b . Pri segrevanju take snovi od T_t do T_b dobimo torej zaporedje vmesnih faznih prehodov. Mezomorfne faze se od navadne tekočine razlikujejo predvsem v tem, da se uredijo smeri molekul. V nasprotju s trdnimi kristali pa nimajo translacijske urejenosti (ali pa je ta le delna) - težišča molekul niso razporejena v periodično strukturo. Da dopolnimo sliko, omenimo še tako imenovane plastične kristale, ki imajo translacijski red, nimajo pa orientacijskega. Vse štiri faze prikazuje tabela 1.

TABELA 1. Translacijski in orientacijski red različnih struktur

Struktura	Translacijski red	Orientacijski red
Trdni kristali	Da	Da
Tekoči kristali	Ne (delen)	Da
Plastični kristali	Da	Ne
Izotropne tekočine	Ne	Ne

Najpomembnejša lastnost tekočih kristalov je močna anizotropnost v različnih fizikalnih lastnostih: mehanskih, električnih, magnetnih in optičnih. Ta izhaja iz anizotropne oblike sestavnih molekul: lahko so podolgovate ali pa sploščene (diskaste). Omejili se bomo na obravnavo prvih, ker so tehnološko pomembnejše. Največkrat vsebujejo eden ali dva benzenova obroča.

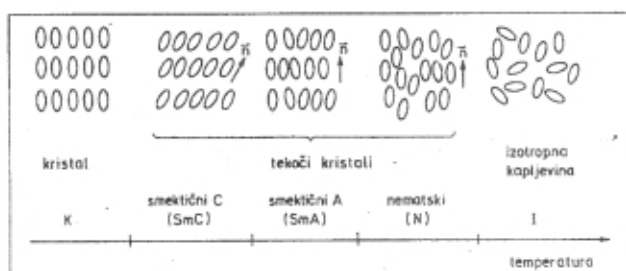


Slika 1. Molekula tekočega kristala 8CB /5/

3 Klasifikacija tekočih kristalov

Tekoči kristali se delijo na dve veliki skupini: liotropne in termotropne. Liotropni so sestavljeni vsaj iz dveh kemijsko različnih komponent. Največkrat so to vodne raztopine organskih snovi. Pri njih lahko dosežemo prehod v mezomorfno fazo tudi s spreminjanjem koncentracije topljenca. Nas bodo zanimali le termotropni tekoči kristali, kjer pridemo do mezomorfne faze predvsem s spreminjanjem temperature. To skupino delimo na nematike in smektike. Obe imeni izhajata iz grških besed: νημα (izgovori nema) = nit, σμεγμα (izgovori smegma) = milo. Pri nematkih res vidimo pod mikroskopom nitaste strukture, smektiki pa po nekaterih mehanskih lastnostih spominjajo na mila. Lege težišč molekul nematskih tekočih kristalov so popolnoma neurejene v prostoru, medtem ko je za smektike značilna plastnatost (sl. 2). Pri smektikih lahko torej govorimo o delni translacijski urejenosti: molekule so razporejene v

plasti, torej imamo periodičnost v smeri, pravokotni na plast. Glede na razporeditev in orientacijo molekul v plasteh se smektiki delijo na več skupin. Najpreprostejša je smektična faza A (SmA), kjer so molekule orientirane pravokotno na plast ter so lege težišč molekul v plasti neurejene. Pri smektični fazi C pa so molekule nagnjene glede na pravokotnico na plast. V tem članku nas bodo zanimali predvsem nematski tekoči kristali zaradi njihove uporabe v prikazovalnikih.



Slika 2. Nematiki in smektiki /5/

4 Orientacija nematskih molekul

Nematski tekoči kristali so lahko dvoosni (značilni fizikalni tenzorji imajo vse tri lastne vrednosti med seboj različne) ali pa enoosni (dve lastni vrednosti sta enaki). Pri enoosnih tekočih kristalih obstaja v vsaki točki prostora os, v smeri katere ima neka fizikalna količina (npr. dielektrična konstanta ϵ) določeno vrednost (ϵ_v), v vseh smereh, pravokotnih na os, pa ima drugo vrednost (ϵ_p). Enoosnost oziroma dvoosnost tekočih kristalov je odvisna od simetrije samih molekul. Vendar ni nujno, da enoosne (rotacijskosimetrične) molekule tvorijo enoosne, dvoosne molekule pa dvoosne mezomorfne faze. V večini primerov je dvoosnost zanemarljiva ali pa je ni. Za opis enoosnih tekočih kristalov zadostujeta dva parametra:

- nematski direktor - to je enotski vektor, ki v vsaki točki prostora kaže v smeri povprečne usmerjenosti dolgih osi molekul. Označujemo ga z $\vec{n}(\vec{r})$. Ker predznak usmerjenosti molekul (v večini primerov) ni pomemben, sta nasprotno predznačeni vrednosti nematskega direktorja ekvivalentni: $\vec{n} \equiv -\vec{n}$.
- ureditveni parameter S, ki v vsaki točki prostora meri stopnjo urejenosti dolgih osi molekul glede na nematski direktor:

$$S(\vec{r}) = \frac{1}{2}(3 \langle \cos^2 \theta \rangle - 1),$$

kjer je θ kot med nematskim direktorjem in posamezno molekulo, trikotna oklepaja pa označujeta termodinamsko povprečje izraza, ki ga oklepata. V izotropni tekočini je $S = 0$, v popolnoma urejeni fazi pa je $S = 1$. V resnici ta vrednost ni nikoli dosežena zaradi termičnih fluktuacij smeri molekul okrog povprečne smeri. V nematskih kristalih velja: $0,4 < S < 0,6$.

Glede na ravnovesno porazdelitev nematskega direktorja v prostoru se nematiki delijo na nevijačne in vijačne. Pri nevijačnih so molekule povsod enako

usmerjene: $\vec{n}(\vec{r}) = \text{konstanta}$. Pri vijačnih pa nematski direktor opiše vijačnico. V vsaki ravnini, pravokotni na vijačno os, so molekule enako usmerjene, vendar se njihova usmerjenost spreminja od ravnine do ravnine. Če izberemo koordinatni sistem z osjo z v smeri vijačne osi, opišemo nematski direktor z enačbami:

$$n_x = \cos(qz),$$

$$n_y = \sin(qz),$$

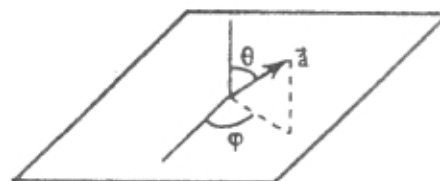
$$n_z = 0$$

To fazo imenujemo spiralno ali helično.

Parameter q imenujemo vijačnost. Če je pozitiven, je vijačnica desno-, v nasprotnem primeru pa levosučna. Njena perioda je enaka $L = \pi/q$ in ne $2\pi/q$, ker sta nasprotni smeri nematskega direktorja ekvivalentni. Molekule vijačnih nematikov se od nevijačnih razlikujejo po tem, da niso simetrične glede na inverzijo koordinatnega sistema (inverzija je operacija, ki vsak vektor preslika v nasprotno predznačen vektor). Seveda se molekule uredijo na zgoraj opisan način le, če nanje ne deluje nobena zunanja sila. Električno ali magnetno polje spremeni orientacijo molekul. Zelo pomemben je tudi vpliv površin (mejnih ploskev med tekočim kristalom in drugimi snovmi). Oglejmo si primer ravne površine. Ta hoče vsiliti (odvisno od obeh stičnih komponent) molekulam tekočega kristala tik ob njej določeno smer \vec{a} (sl. 3). Ta pojav imenujemo sidranje.

Enotski smerni vektor \vec{a} je definiran z dvema kotoma: θ in ϕ . Polarni kot θ je kot med vektorjem in normalo na ravnino, azimutalni kot ϕ pa je kot med določeno smerjo v ravnini in projekcijo \vec{a} na ravnino. Lahko obstaja več takih energijsko ugodnih smeri - v tem primeru defini-

ramo množico smernih vektorjev \vec{a}_i . Glede na polarni kot razlikujemo pravokotno ($\theta=0$), poševno ($0 < \theta < \pi/2$) in vzporedno sidranje ($\theta=\pi/2$). Pri poševnem in vzporednem je lahko ena ali več ali celo neskončno energijsko ugodnih smeri v prostoru. Najpogostejša sidranja so pravokotno, degenerirano vzporedno ($\theta=\pi/2$, ϕ je poljuben) in vzporedno s preferenčno smerjo ($\theta=\pi/2$, ϕ ima eno samo določeno vrednost). Vpliv površin postane pomemben tam, kjer je tekoči kristal omejen vsaj v eni dimenziji, npr. pri tanki plasti tekočega kristala

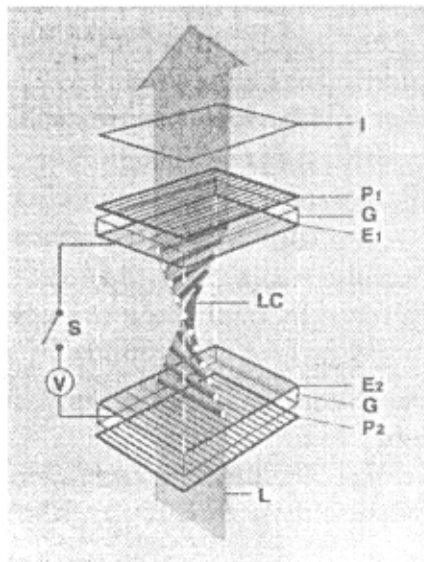


Slika 3. Sidranje molekul na površini /6/

med dvema vzporednima ploščama ali pri tekočih kristalih v mikroskopskih porah poroznega materiala.

5 Celica TNC

Današnji prikazovalniki iz tekočih kristalov delujejo večinoma na osnovi vpliva električnega polja na orientacijo molekul vijačnega nematika. Od tod ime celice - ang. twisted nematic cell (TNC). Tekoči kristal je med steklenima ploščama z dvakrat manjšim razmikom od periode L (nematske molekule se na tej razdalji v odsotnosti zunanjih sil zasukajo za 90° stopinj okrog vijačne osi). Sidranje na steklenih stenah celice je vzporedno. Preferenčna smer molekul ob spodnji steni je v smeri osi x , na zgornji pa v smeri y . Vijačna os je v smeri z . Celico damo med dva prekrížana polarizatorja, ki prepuščata svetlobo s polarizacijo v preferenčnih smereh molekul na stenah. Helična faza je optično aktivna: polarizacija svetlobe, ki pada od spodaj pravokotno na tanko plast, se suka skupaj z nematskim direktorjem. To je zato, ker je valovna dolžina vidne svetlobe veliko manjša od nematske sučne periode ($L \sim 10^{-5}$ m). Torej se polarizacija zasuka za 90° in zgornji polarizator prepušča svetlobo. Če pa na celico priključimo napetost, dobimo električno polje, ki skuša zasukati molekule v smeri osi z . Če je napetost dovolj velika, zasuka vse molekule v tej smeri. Polarizacija svetlobe se ne spremeni pri prehodu skozi celico, zato ni prepuščene svetlobe zaradi prekrížanih polarizatorjev. Ta celica torej deluje kot črno-beli preklopnik za svetlobo z vmesnimi sivimi odtenki, če priključena napetost ni prevelika. To celico sta patentirala Schadt in



Slika 4. Celica z vijačnim nematikom v odprtem stanju /2/; P1 in P2 - polarizatorja; G - stekleni ploščici; E1 in E2 - elektrodi; LC - molekule tekočega kristala; L - svetloba; I - zaslon; S - stikalo

Helfrich leta 1970. Njena dobra stran je bila zelo majhna potrebna električna moč - le nekaj mikrovatov na kvad-

ratni centimeter. Vendar v sedemdesetih letih še ni bilo primerne tekočega kristala, ki bi ustrezal vsem zahtevam: delovanje pri sobni temperaturi, ponovljivost in vzporedno sidranje na steklenih ploščah. Kljub temu je japonska elektronska industrija sprejela izziv in v osemdesetih letih razvila uspešne prikazovalnike. Slaba stran TNC je počasen odziv na spremembo električnega polja (nekaj stotink sekunde). Preferenčno sidranje v določeni smeri dosežejo z orientacijsko plastjo, npr. z naprevanjem pod nepravim kotom ali z nanosom polimernih plasti na steklo ter brušenjem v določeni smeri.

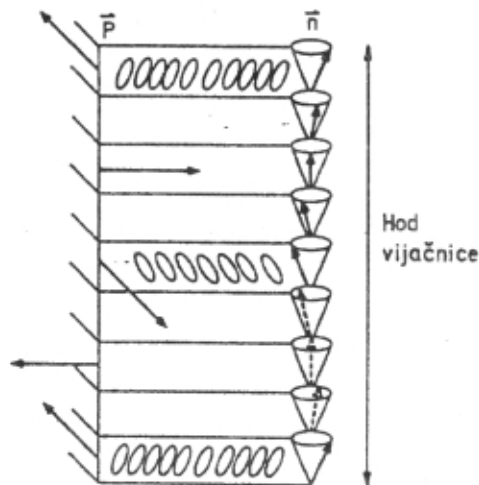
Stekleni ploščici, ki omejujeta tekoči kristal, sta spojeni s tesnilko iz nizkotalečega stekla. Ta spoj mora biti izdelan zelo natančno, ker sta debelina in homogenost vmesnega prostora odločilna za delovanje celice. Skozi majhno odprtino v tesnilki napolnijo celico s tekočim kristalom in nepredušno zaprejo. Zaradi občutljivosti na prašne delce poteka polnjenje v vakuumski komori s tlakom največ tisočinke milibara. Evakuirane celice potopijo v posodo s tekočim kristalom (v komori seveda), da se napolnijo zaradi kapilarnega efekta. Na notranjo stran steklenih ploščic narišejo prozorne elektrode iz indijevega oksida. Zaradi matričnega naslavljanja celice so elektrode na obeh ploščicah usmerjene v pravokotnih smereh. Pokrite so z zaščitno plastjo (npr. silox). Na to plast je narišena orientacijska plast. Na zunanji strani steklenih ploščic sta prilepljena polarizatorja, na enega od njiju pa še nepolariziran reflektor, ki omogoča reflektivno delovanje celice.

6 Prikazovalniki na osnovi feroelektričnih tekočih kristalov

Leta 1980 sta Clark in Lagerwall izumila površinsko stabilizirano celico s feroelektričnim tekočim kristalom. Označimo jo s kratico SSFLCC (surface stabilized ferroelectric liquid crystal cell). Njena glavna prednost pred TNC je znatno hitrejši odziv na električno polje in s tem krajši preklopni čas (mikrosekundno območje). Tekoči kristal je v smektični fazi C^* (SmC^*). Od faze SmC se razlikuje v tem, da se azimutalni kot ϕ postopoma spreminja od plasti do plasti (imamo torej spontan zasuk okrog osi, pravokotne na plast, kot pri vijačnih nematikih, sl. 5). Ta faza je feroelektrična. V vsaki plasti je električna polarizacija vzporedna s plastjo in pravokotna na smer dolge osi molekule. V SSFLCC so smektične plasti pravokotne na stekleni ploščici (sl. 6). Če je debelina celice dovolj majhna ($1-3 \mu m$), je prostostna stopnja sukanja molekul okrog pravokotnic na plasti omejena na dve orientaciji: $\phi = 0$ in $\phi = \pi$; vse molekule so namreč praktično vzporedne s ploščicama. Električna polarizacija kaže v smeri "gor" (proti eni ploščici) ali "dol" (proti drugi ploščici). Obe stanji sta energijsko enakovredni; med njima preklaplamo s pulzi električnega polja. Če izberemo ustrezno debelino celice in je smektični nagib θ okrog $22,5^\circ$, potem z dvema prekrížanima polarizatorjema na obeh straneh dosežemo, da v enem stanju ($\phi = 0$) ni prepuščene svetlobe, v drugem pa je celica prepustna.

Glavna pomanjkljivost te celice je občutljivost na mehanski stres. To v zadnjem času rešujejo s prostorsko stabilizacijo celice, to je z dodatkom polimerne mreže, ki onemogoča translacijo molekul in s tem porušenje

plastnate strukture. Prostorsko stabilizacijo lahko dosežemo že z majhnimi koncentracijami polimerov (0,5 - 3 %).

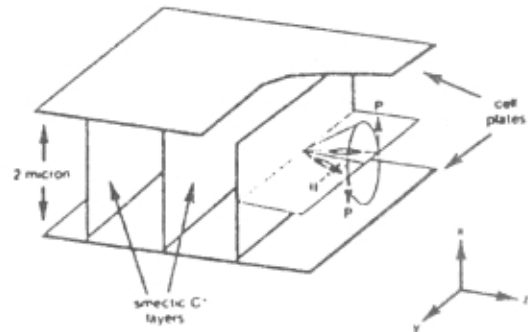


Slika 5. Faza SmC^* /5/

7 Sklep

Uporaba tekočih kristalov je danes zelo razširjena. Njihova prednost pred drugimi načini prikazov (LED-diode, fluorescentne cevi, klasični prikazovalniki z žarilno nitko) je majhna poraba električne energije, velika ponovljivost in dober kontrast. Največji pomanjkljivosti sta njihov razmeroma počasen odziv na spremembo električne napetosti in tehnični problemi pri naslavljanju tekočokristalnih celic, kar je trenutno še ozko grlo za množično proizvodnjo televizijskih zaslonov na osnovi tekočih kristalov. Prvi napredek v tej smeri je bilo odkritje celice STNC (super twisted nematic cell), v

kateri je zasuk kristala med ploščama 270° namesto 90° . Take celice imajo danes prenosni osebni računalniki. Veliko je še nejasnega tudi glede njihovih osnovnih fizikalnih lastnosti. Fizika tekočih kristalov je eno izmed najbolj značilnih raziskovalnih področij, kjer se teorija in eksperiment tesno prepletata in dopolnjujeta.



Slika 6. Celica SSFLCC /4/

8 Literatura

- /1/ S. Chandrasekhar, Liquid Crystals, Cambridge University Press, 1977, 1992
- /2/ M. Schadt, The history of the liquid crystal display and liquid crystal material technology, Liquid Crystals, 1989, Vol. 5, No. 1, 57-71
- /3/ M. Schadt and W. Helfrich, Voltage-dependent activity of a twisted nematic liquid crystal, Applied Physics Letters, Vol. 18, No. 4, 127-128
- /4/ J. Pirš, B. Marin, S. Pirš, Ferroelectric liquid crystal - polymer gel displays, Informacije MIDEM 23 (1993) 1, Ljubljana
- /5/ M. Vilfan, Tekoči kristali - dobrih sto let po odkritju, Proteus 55 (1992-93), str. 219-223 in 366-373
- /6/ B. Jerome, Rep. Prog. Phys. 55 (1991), 391-451



OBVESTILO



Naročnike Vakuumista prosimo, da čim prej poravnate naročnino za leto 1995. Cena štirih števil, kolikor jih bo izšlo v letu, je 1000,00 tolarjev.