

Vedelkristallid I: Struktuur

Ained, mille omadused on vedelike ja kristallide vahepeal

ULLMANN'S ENCYCLOPEDIA OF INDUSTRIAL CHEMISTRY, 5th completely revised ed. Weinheim [etc.] : VCH, 1996

Liquid Crystals: Virtual textbook
(<http://plc.cwru.edu/tutorial/enhanced/files/textbook.htm>)

www.wikipedia.org

Ajalugu

- **1888** Friedrich Reinitzer: kolesterüülbensoaadil on "kaks sulamistäppi"
- **1904** Otto Lehmann avaldas klassikalise töö "Vedelkristallid"
- **1960-ndad** Töötati välja tsüanobifenüülvedelkristallid – põhim. sobilikud LCD ekraanidele
- **1969** Avastati Väänd-nemaatiline efekt (*Twisted Nematic Effect*), mis on aluseks kõigile tänapäevastele LCD ekraanidele

6.03.2011

2

Vedelkristallid

- Aineid, mis moodustavad vedelkristalle nimetatakse **mesogeenideks**
- Vedelkristalliine olek: olek, mille omadused on vedeliku ja kristalli vahepealsed
 - Voolab vedelikulaadset
 - Kaugkorrapära puudub
 - Samas on molekulide orientatsioonil lähikorrapära

6.03.2011

3

Vedelkristallilised faasid

- Termotroopsed vedelkristallid
 - Ained, mille korral vedelkristalliliseks muundumine toimub temperatuuri mõjul:
Kristalliine → Vedelkristalliine → Vedel (Isotroopne)
 - Vastavad üleminekutemperatuurid on olulised
- Lüotroopsed vedelkristallid
 - Vedelkristalliiks muundumine toimub lahuses kontsentratsiooni muutudes

6.03.2011

4

Vedelkristallilised faasid

- Vaatleme eeskätt termotroopseid vedelkristalle
- Vedelkristallilised faasid:
 - Kalamiitne (*calamitic*)
 - Nemaatiline (*nematic*)
 - Smektiline (*smectic*)
 - kiraalne e. kolesteeriline
 - Diskoidne (*discoid, discotic*)
 - Nemaatiline
 - Kolumnaarne (*columnar*)

6.03.2011

5

Nemaatiline faas

- Molekulid on orienteeritud lähedases suunas, kuid ei moodusta kihte

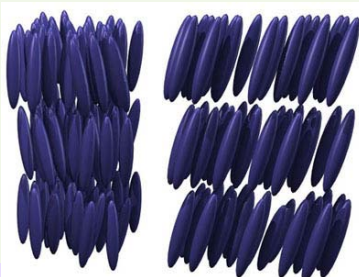


6.03.2011

© Wikipedia, www.wikipedia.org

Smektiline faas

- Molekulid on orienteeritud lähedases suunas ja kalduvad olema kihiliselt paigutatud



© Wikipedia, www.wikipedia.org

Kiraalne e. kolesteeriline faas

- Nemaatilise moodi, aga eelmised molekulid on järgmiste suhtes "väändunud"



© Wikipedia, www.wikipedia.org

Vedelkristallilised faasid

- Enamasti toimub temperatuuri tõstes mõni järgnevatest üleminekuahelatest:
 - K → N → I
 - K → S → I
 - K → S → N → I
- Soovitav on, et vedelkristalliline faas oleks stabiilne võimalikult laias temperatuuride vahemikus**
 - Mõnevõrra saab häälestada lisanditega

6.03.2011

9

Vedelkristalli korrapära iseloomustamine

- Korrapära parameeter:**

$$S = \frac{1}{2} \langle 3 \cos^2 \theta - 1 \rangle$$

$$\theta$$
 nurk peatelje suhtes
 $\langle \rangle$ keskmistamine üle kõigi molekulide
- Ideaalne orientatsioon (kristallid): $S = 1$
- Tavaline vedelkristallide jaoks: $S = 0.3 \dots 0.8$
- Isotroopne: $S = 0$

6.03.2011

10

Millistelt ainetelt on mõtet oodata vedelkristallilisi omadusi?

- Üldine ennustusvõimega teooria struktuuri ja vedelkristallilisuse seosest puudub
- Mõned seaduspärasused on:
 - Piklik kuju (mõnel juhul ka kettakujuline)
 - Peatelje jäikus
 - Tugev ja püsiv dipoolmoment
 - Eri otstes erineva polariseeritavusega asendajad
- Ennustamine on siiski keeruline
 - Kui molekul liiga korrapärane siis tekib liiga kergesti tõeline kristall

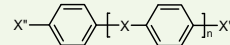
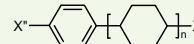
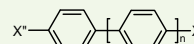
6.03.2011

11

Jäik struktuur

- Jäiga struktuuri saamiseks on tavalisim variant kahe või enama tsükli ühendamine:

- $n \geq 1$
- alifaatsete ja aromaatsete tsüklite vahetamine
- võib olla erinev



6.03.2011

12

Ahela pikkus

- Ahel peab olema paraja pikkusega
 - Mida pikem ahel, seda kõrgem on üleminekutemperatuur $N \rightarrow I$
 - kuid seda kõrgem on ka ülemineku $K \rightarrow N$ temperatuur
- Ahel võiks olla ka kaksik- või kolmiksidemetest koosnev, aga
 - raske sünteesida
 - ebastabiilsed
- Alifaatne ahel hästi ei kõlba
 - ei ole piisavalt jäik

6.03.2011

13

Asendusrühmad: X

- Peab hoidma struktuuri jäigana
- Head rühmad:
 - $-\text{CH}=\text{CH}-$ $-\text{N}=\text{N}-$ $-\text{CH}=\text{N}-$ $-\text{COO}-$
- Halvad rühmad:
 - $-\text{O}-$ $-\text{CH}_2-$ $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$ $-\text{CH}_2-\text{O}-$

6.03.2011

14

Asendusrühmad X' ja X''

- Seaduspärasused on keerukad
- Enamasti:
 - X' on alküül
 - X'' on mõni $+R$ või $-R$ rühm
- X' :
 - saba peab olema paraja pikkusega
 - paaritu arvulise C-de arvuga rühmad kipuvad andma kõrgemaid $N \rightarrow I$ üleminekutemperatuure kui lähedased paarisarvulised
 - Lühem saba – nemaatilised, pikem – smektilised

6.03.2011

15

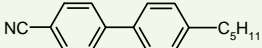
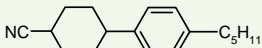
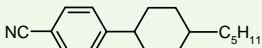
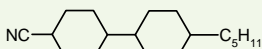
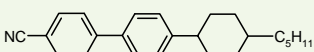
Asendusrühmad X''

- On olemas empiiriline rida erinevate X'' rühmade nemaatilise faasi stabiilsuse soodustamise kohta:
 - $-\text{C}_6\text{H}_5 > -\text{CN} > -\text{OCH}_3 > -\text{NO}_2 > -\text{CF}_3 > -\text{Cl} > -\text{CH}_3 > -\text{F} > -\text{H}$
- Järjekord korreleerub polariseeritavuse ja resonantsivõimega
 - See on muidugi vaid lähendus ja pole absoluutne

6.03.2011

16

Näited: klassika

- K 25 N 35 I 
- N -25 I 
- N 55 I 
- N 85 I 
- K 94 N 219 I 

6.03.2011

17

Moodsate ekraanide jaoks

- Soovitavad omadused:
 - madalam sulamistäpp
 - laiem nemaatiline ala
 - Kõrge dielektriline anisotroopia
 - Enamasti positiivne
 - Madalam rotatsiooniviskoossus
 - Ekraan kiirem
 - Paremad isolaatorid
 - "voltage holding"
 - stabiilsemad pika aja jooksul

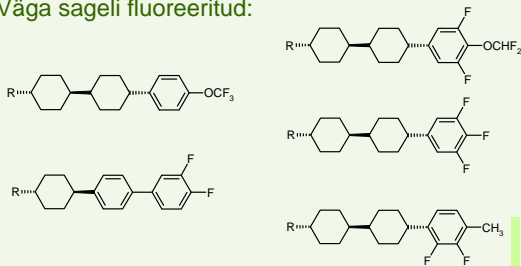
Peaaegu alati on kasutusel segud (sageli 10-20 erinevat ainet)

6.03.2011

18

Näited: moodsates ekraanides

- Väga sageli fluoreeritud:



6.03.2011

19

Vedelkristallid II: Vedelkristallekraanid

Vedelkristallide domineeriv ja üha laienev kasutusala

Baseerub valguse polarisatsioonitasandi pööramisel **väändnemaatiliste** vedelkristallide abil

6.03.2011

20

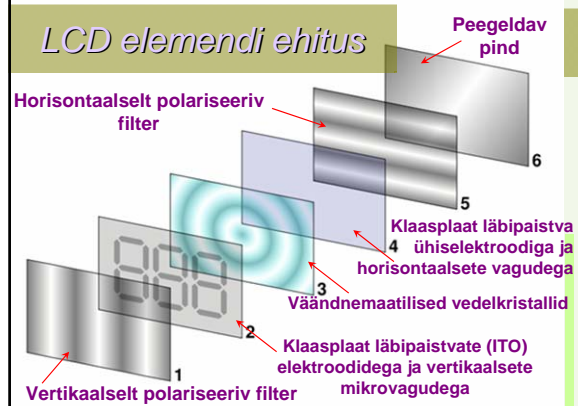
Läbiva ja peegeldava valguse LCD ekraanid

- Peegeldava valguse ekraan
 - Kasutab pealelangevat valgust
 - Käekellad, taskuarvutid
 - Voolutarve madal
- Läbiva valguse ekraan
 - Valgus tuleb ekraani taga olevast valgusallikast
 - Mobiiltelefonid, arvutiekraanid
 - Valgusti energiatarve suur
 - Üldiselt suurem, kui LCD elementide endi oma

6.03.2011

21

LCD elemendi ehitus



Väändnemaatilised vedelkristallid (twisted nematic liquid crystals)

- Kaks **mikrovagudega** plaati loovad olukorra, kus ilma elektrodidevahelise pingeta on nende vahel olevad nemaatilised vedelkristallid (3) paigutunud selliselt:
 - Paremaid tulemusi saadakse, kui see nurk pole 90 vaid 270 kraadi (mustvalged) või 210 kraadi (hallitoonilised)



6.03.2011

Valguse polarisatsioonitasandi pööramine

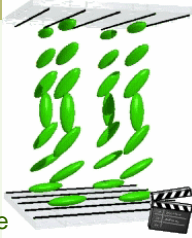
- Pealmise filtri (1) läbib vaid vertikaalselt polariseeritud valgus
- Ilma pingeta** olekus vedelkristallid (3) **pööravad valguse polarisatsioonitasandi** horisontaalseks
- Sedasi on valgus võimeline läbima ka horisontaalse filtri (5) ja saama tagasi peegeldatud pinna (6) poolt
- Tagasi tuleva valguse polarisatsioonitasand pöördu tagasi

6.03.2011

24

Polarisatsioonitasandi pööramise kadumine

- Rakendades elektroodide 2 ja 4 vahel **pinge** orienteeruvad vedelkristallid selliselt:
- Valguse polarisatsioonitasandi pööramise võime kaob
- Horisontaalne filter (5) neelab vertikaalselt polariseeritud valguse
- Nende elektroodide kohalt, millele on rakendatud pinge **paistab ekraan mustana**



6.03.2011

25

Inclum-tina-oksiid (ITO)

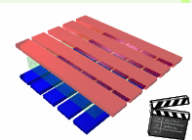
- Vajalik on läbipaistev materjal, mis juhib elektrit
- Koostis: ca 90% In_2O_3 , ca 10% SnO_2
- Kasutusalaad:
 - LCD seadmed
 - Soojendusega klaasid

6.03.2011

26

Otsene ja multipleksadresseerimine

- Lihtsate seadmete (kellad) jaoks kõlbab otsene adresseerimine
 - iga element lülitatakse eraldi
 - ühiselektrood on kõigile üks
- LCD ekraanide jaoks on vaja multipleksadresseerimist
 - ekraan on elektroodidega jagatud ridadeks ja veergudeks:
 - ekraani skaneeritakse rida-haaval



6.03.2011

Passiiv- ja aktiivekraanid

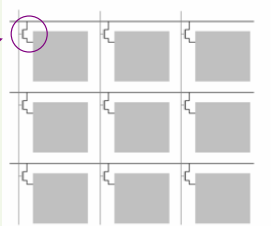
- Üldkirjeldatu oli peegeldava valgusega passiivekraan
 - passiivekraan sobib hästi peegeldava valgusega kasutamiseks, kuid mitte eriti arvutiekraanidesse
 - aeglane
 - kontrast halb
- Aktiivekraani korral tüüritakse iga pikslit miniatuurse väljatransistoriga
 - eespoolne elektrood on ühiselektrood
 - taga on iga piksli kohta oma elektrood, mida tüürib väljatransistor

6.03.2011

28

Aktiivekraan

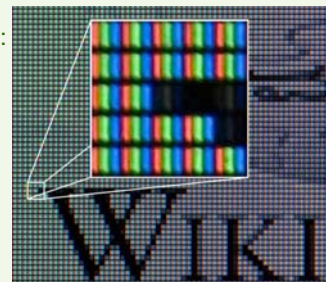
- Multipleks-süsteem moodustub hor ja ver elektroodidest
 - Vastaselektrood on ühine
- Iga piksli jaoks on oma väljatransistor (TFT, *thin-film transistor*)
 - Kiirem
 - Kontrast parem
- Vedelkristall peab olema isolaator!



6.03.2011

Värviline ekraan

- Kasutusel on RGB lähenemine
- Iga piksel on jagatud kolmeks alampiksliks: Punane, roheline, sinine
- Värv saavutatakse värvusfiltritega
- geometria veel keerukam



6.03.2011