Dielektrična Anizotropija Tekočega Kristala

V nekaterih organskih snoveh se med tekočino in kristalno fazo pojavijo tekočekristalne faze. Te imajo tako lastnosti tekočine kot tudi kristalov. Najpreprostejša tekočekristalna faza je nematična faza, ki se običajno pojavi v snoveh sestavljenih iz podolgovatih molekul. V tej fazi snov še vedno teče kot tekočina. Medtem ko so v navadni izotropni tekočini molekule orientirano naključno, se v nematični fazi molekule ~~so~~ lokalno orientacijsko uredijo tako, da v povprečju kažejo v isto smer. To smer označimo z enotskim vektorjem $\hat{n}$, ki ga imenujemo direktor. Smeri $\hat{n}$ in $-\hat{n}$ sta enakovredni. S skalarnim parametrom urejenosti S opišemo, koliko dolge osi molekul v povprečju odstopajo od smeri direktorja:

$$S = \frac{1}{2}\int_{-1}^{1} f(\beta)(3\cos^2\beta - 1)\, d(\cos\beta)$$

kjer je β kot med direktorjem in dolgo osjo molekul, $f(\beta)$ pa porazdelitvena funkcija. V izotropni fazi so dolge osi molekul naključno urejene, tako je $f(\beta)=1$ in posledično $S=0$. V nematični fazi je vrednost S med 0 in 1. Fazni prehod med izotropno in nematično fazo je šibek prehod prvega reda, tako pri temperaturi faznega prehoda vrednost S nezvezno skoči iz 0 na neko končno vrednost. Z nižanjem temp. urejenost (in S) zvezno narašča.

Zaradi orientacijske ureditve molekul imajo tekoči kristali anizotropne lastnosti. Najbolj pomembni sta optična dvolomnost in velika dielektrična anizotropija. Odziv na zunanje električno polje v nematičnem tekočem kristalu namesto s skalarno dielektrično konstanto tako

Zapišemo z dielektričnim tenzorjem:

$$\varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_\perp & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_\perp & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_\parallel \end{bmatrix}$$

Tu smo privzeli, da direktor kaže v smeri osi z. Razlika med vrednostima komponent tenzorja vzdolž direktorja in pravokotno nanj $\Delta\varepsilon = \varepsilon_\parallel - \varepsilon_\perp$ je dielektrična anizotropija, ta je sorazmerna s skalarnim parametrom urejenosti $\Delta\varepsilon \propto S$

Za merjenje tenzorja damo tekoči kristal med dve stekleni ploščici, ki imata površino obdelano tako, da vsiljujeta orientacijo ali vzporedno ali pravokotno na površino. Na ta način dobimo dobro urejeno plast. Na notranji površini stekel sta naparjeni elektrodi, tako da taka celica deluje kot kondenzator. Komponente tenzorja določimo iz kapacitativnosti celic. Pazimo da je napetost med elektrodama dovolj majhna. Komponento $\varepsilon_\perp$ merimo v celici z ureditvijo direktorja vzporedno s površino, komponento $\varepsilon_\parallel$ pa v celici z ureditvijo direktorja pravokotno nanj.

Če je $\varepsilon_\parallel - \varepsilon_\perp > 0$, potem je energijsko ugodno, če je direktor orientiran v smeri zunanjega električnega polja. Kadar površina celice vsiljuje drugačno ureditev kot zunanje polje, pride do deformacije direktorskega polja. Zaradi deformacije direktorja se sistemu poveča elastična energija. Do deformacije pride šele, ko je zunanje polje tako veliko, da je zmanjšanje el. energije sistema zaradi reorientacije direktorja v smeri vzdolž polja $\Delta\varepsilon\varepsilon_0 E^2$ večja od povečanja energije zaradi deformacije $K_1\left(\frac{\pi}{d}\right)^2$. To se zgodi, ko je napetost na celici večja od kritične napetosti:

$$U_c = \pi\sqrt{\frac{K_1}{\Delta\varepsilon\varepsilon_0}}$$

kjer je K_1 orientacijska elastična konstanta tekočega kristala. Tu smo upoštevali, da je $E = U/d$, in tako kritična napetost ni odvisna od debeline celice. Prehod iz nedeformirane strukture v deformirano pod vplivom polja imenujemo Fredericksov prehod. Merimo ga lahko na več načinov. Eden izmed načinov je merjenje kapacitativnosti tekoče-kristalne celice v odvisnosti od napetosti. Zaradi deformacije direktorja se namreč spremeni efektivna dielektričnost tekočega kristala, ki vpliva na kapacitativnost kondenzatorja.

Tekoči kristali v praksi niso popolni dielektriki, ker so v njih prisotni ioni zaradi nečistoč. Če damo na njih enosmerno napetost, jo bodo ioni delno senčili. Da se temu izognemo, uporabimo izmenično napetost z dovolj visoko frekvenco, da ji ioni in direktor ne morejo slediti. V primeru sinusne napetosti se tako tekoči kristal obnaša, kot da bi nanj dali enosmerno napetost z amplitudo $U_{RMS} = \frac{U_{Amp}}{\sqrt{2}} = \sqrt{\overline{U^2}}$

Potrebščine

Merjenje dielektrične anizotropije

- Eksperimentalna priprava (z grelca in dveh ~~tekočih~~ celic tekočega kristala E7)
- GWinstek LCR meter 800
- Agilent 34410A multimeter
- Izvor napetosti za grelec (dve žarnici)

Merjenje Fridericksovega prehoda

- Celica tekočega kristala urejenega v ravnini stekelc
- Osciloskop
- funkcijski generator
- vezje za merjenje U(E) karakteristike

Naloga:

1. Izmerite temperaturno odvisnost komponent dielektričnega tenzorja vzdolž in pravokotno na direktor.

2. Narišite na isti graf temperaturno odvisnost obeh komponent dielektričnega tenzorja in povprečne dielektrične konstante. Narišite graf dielektrične anizotropije v odvisnosti od temperature. Določite temperaturo faznega prehoda

3. Izmerite odvisnost kapacitativnosti celice v orientacijo direktorja vzdolž stekla od napetosti. Narišite graf $C(U)$ ter določite elastično konstanto belovega kristala.

Navodila:

Za meritev anizotropije uporabimo eksperimentalno pripravo, napetostni izvir za grelce, multimeter za odčitavanje platinast uporovni termometer in LCR meter za merjenje kapicitivnosti. Segrejemo do 65°C in merimo kapacitivnost na obeh celicah pri različnih temperaturah (ko se celici hladita).

Za merjenje prehoda imamo celico površine $1 cm^2$ in debeline $8 \mu m$, ki ima direktor urejen v ravnini stekla. Merimo kapaciteto celice v odvisnosti od amplitude napetosti. Ker celica ni idealni kondenzator merimo pri frekvenci napetosti 100 kHz, ker je tam "idealnejši". Merimo pri različnih amplitudah testne napetosti.

Meritve:

Meritve sem prepel kot odčitane podatke v excel tabeli.

Ta vaja zelo sloni na grafe, ki so v priloženi .pdf datoteki.

Iz grafa Meritev dielektrične anizotropije je možno prebrati temperaturo prehoda. Določimo kot točka med prehodom kjer ima tangenta maksimalni naklon.

$C = \varepsilon C_0 S/d = \varepsilon C_0$ $\qquad T_{prehod} = (330 \pm 0{,}5)\,K$

$C_0 = \varepsilon_0 S/d$

$\Rightarrow \varepsilon \overset{\shortparallel}{=} C/C_0$

Iz grafa odvisnosti C od U_{RMS} lahko določimo kritično napetost.

$U_c = \pi \sqrt{\frac{K_1}{\Delta\varepsilon\varepsilon_0}}$ $\qquad K_1 = \left(\frac{U_c}{\pi}\right)^2 \Delta\varepsilon\varepsilon_0$ $\qquad U_c = (1{,}8 \pm 0{,}2)\,V$

$\Delta\varepsilon \approx \varepsilon_{\parallel} \approx C_{\parallel}/C_0$ $\qquad C_{\parallel} = (0{,}7 \pm 0{,}1)\,nF$

$\downarrow$

$\varepsilon_{\perp}$ zanemarljiva v tako pripravljeni celici

$\Delta\varepsilon = 15 \pm 2$

$K_1 = (4{,}4 \pm 0{,}6) \cdot 10^{-11}\,\frac{kgm}{s^2}$