

# Elektrooptični pojav

Zunanje električno polje običajno vpliva na strukturo snovi. V kristalih se denimo spremeni oblika osnovne celice, v tekočinah pride do spremembe gostote in/ali orientacijskega urejanja molekul (podolgovate molekule se poravnajo v smeri polja), pogosto pa se spremeni tudi oblika posameznih molekul. Vse te spremembe se odražajo tudi na optičnih lastnosti snovi. Pri vas se zanimamo za vpliv statičnih polj, čemur rečemo Elektrooptični pojav. Podobna razlaga velja tudi za polja, ki se spreminjajo z bistveno nižjo frekvenco kot vpadna svetloba. Bolj splošno ta pojav opiše relincarna optika. Poznamo linearni elektrooptični pojav, ki ga opazujemo lahko samo v anizotropnih snoveh brez simetrije inverzije, in kvadratni elektrooptični pojav, ki je mogoč v vseh materialih.

V splošnem anizotropnem kristalu je opis elektrooptičnega pojava tenzorski, naš material pa je homogena keramika, ki je simetrična ob zamenjavi  $(x, y, z) \rightarrow (-x, -y, -z)$ . V njej se torej mogoče ~~opazuje~~ kvadratni elektrooptični pojav. Zunanje električno polje zlomi simetrijo izotropne keramike, zato ločimo dve spremembi lomnega količnika: sprememba za svetlobo, ki je polarizirana vzporedno z zunanjim poljem in za svetlobo s pravokotno polarizacijo. V keramiko posrečimo s svetlobo valovne dolžine  $\lambda$  in variramo zunanje el. polje jakosti  $E$ . Spreminjajo se lomna količnika za svetlobo polarizirano vzporedno s smerjo polja  $n_{||}$  in pravokotno glede na smer polja  $n_{\perp}$ , in sicer obe v odvisnosti od kvadrata  $E$ . Pogosto nas ne zanima absolutna sprememba ampak le razlika:

$$n_{||} - n_{\perp} = B \lambda E^2$$

To je kvadratni elektrooptični pojav, poimenovan po odkritelju Johnu Kerru, ki je opazil, da postane tudi steklo dvoletno pri visokih E. Sorazmernost konstante B imenujemo Kerram konstanta.

Tu pojav je oshora za sterilne naprave s katerimi kontroliramo optične kuche s pomočjo zunanje električnega polja tja do frekvenci v GHz področju. To so npr. modulatorji, atenuatorji in preklopilci. Optične kuce z električno nastavitveno goriščno razdaljo ter različni elementi za spreminjanje modulacije polarizacije svetlobe. Uporabljamo jih v laserjih, v sistemih optičnih komunikacij, pri optičnem obdelovanju in zapisovanju informacij ter v različnih drugih optičnih sistemih. Kvadratni elektrooptičen pojav pa je pomemben predvsem v napravah, s katerimi kontroliramo optične snopce s pomočjo visokofrekvenčnih zunanjsih polj, med drugim tudi s pomočjo drugih optičnih snopov.

Princip delovanja teh naprav dobro ponazarja Kerram celica, kateršno bomo uporabljati tudi v tej vsji. Polarizatorji so urejeni na principu, da se skozi njih različno razširjata dve ortogonalni lastni valovanji. Eno se v polarizatorju absorbira ali pa spremeni smer. Lastna vala sta vala sta dobivajo linearno polarizirana (obstajajo tudi cirkularne polarizacije). Ko na linearni polarizator pošljemo svetlobo se razdeli na dve lastni valovanji, eno je zadrženo drugo pa prepuščeno. Prepuščeno el. poljsko jakost  $\vec{E}_p$  dobimo tako, da vpadno  $\vec{E}_0$  projiciramo na prepustno smer polarizatorja:

$$\vec{E}_p = \vec{E}_0 \cos(\alpha)$$

Prepuščena moč je sorazmerna kvadratu polja.

V Kerroni celici & elektrooptični material postavljen med dve vzporedni elektроди na kateri priključimo električno napetost in s tem dobimo el. polje  $E = U/d$ . V prv. izotropnem materialu & spremenita  $n_{||}$  in  $n_{\perp}$ . Snop polarizirane svetlobe vpadne na celico v smeri, ki je pravokoten na  $\vec{E}$ , smer polarizacije pa tudi leži v ravnini, pravokotni na smer razširjanja svetlobe in tvorí kot  $45^\circ$  s poljem  $\vec{E}$ . Zaradi drolomnosti se v materialu razširjata dva vala z različnima valovnima številkama  $k_{||} = n_{||}k_0$  in  $k_{\perp} = n_{\perp}k_0$ , kjer je valovno število  $k_0 = 2\pi/\lambda$ . Vpadna

linearno polarizirana svetloba z amplitudo el. polja  $\vec{E}_0$  se razdeli na dva, med seboj pravokotno polarizirana dela snopa  $\vec{E}_{\perp}$  in  $\vec{E}_{||}$ , ki različno hitro potujeta skozi elektrooptični material. V zad. na drugi strani izstopa z različnima fazama in & zato prepuščena svetloba v splošnem eliptično polarizirana. To analiziramo s polarizatorjem. Polarizator deluje tako, da izbrano polje jakost propusti in v izbrano smer. Če ga postavimo vzporedno s polarizacijo vpadne svetlobe, bo ta celica pri  $E=0$  prepuščala vsa svetloba, ob večjini polja se prepustnost manjša. obratno pa velja & & analizator pravokoten na smer vpadne polarizacije.

Izračunamo moč polariziranega svetlobnega snopa po prehodu skozi Kerrovo celico. Vektor  $\vec{E}_0$  razdelimo na dve pravokotni komponenti, ki označujeta dva lastna vala. Obe lastni valovni imata enaki amplitudi in različno veliki valovni števili. Po prehodu skozi Kerrovo svetlobo postajemo skozi analizator, ki je postavljen pravokotno na smer vpadne polarizacije.

Prepuščena valovanja  $\vec{E}_p$  zapišemo kot vsoto obeh delnih valovnih projekcijah na smer analizatorja:

$$\vec{E}_p = \frac{\vec{E}_0}{2} e^{ik_{||}L} - \frac{\vec{E}_0}{2} e^{ik_{\perp}L} = \frac{\vec{E}_0}{2} e^{ik_{||}L} [1 - e^{i(k_{\perp} - k_{||})L}]$$

L dolžina poti svetlobe v keramiki. Vpeljemo  $\Delta h = h_{\parallel} - h_{\perp}$   
 $= k_0 (n_{\parallel} - n_{\perp})$  in  $\Delta \Phi = \Delta k L$ . Z detektorjem merimo moč svetlobe  
 in nas zato zanima kvadrat absolutne vrednosti  $\vec{E}_p$  ki jo izrazimo  
 s fazno razliko  $\Delta \Phi$ .

$$|\vec{E}_p|^2 = \frac{\vec{E}_0^2}{4} [1 - \exp(i\Delta\Phi)][1 - \exp(-i\Delta\Phi)] = \frac{\vec{E}_0^2}{2} (1 - \cos(\Delta\Phi))$$

Razlika v fazi  $\Delta\Phi = \Delta k L = 0$  pomeni nič prepuščenosti svetlobe, faza  
 $180^\circ$  pa pomeni 100% prepustnosti. Odnosnost moči prepuščenosti svetlobe  
 izrazimo kot:

$$P = \frac{P_1}{2} (1 - \cos(\Delta\Phi)) = P_1 \sin^2(\Delta\Phi/2)$$

ki je v primeru faze razlike zaradi Kerrovega efekta enaka:

$$P = P_1 \sin^2(\Phi_0/2 + \pi B L E^2)$$

### Potrebščine:

- He-Ne plinski laser,  $\lambda = 632.8 \text{ nm}$ , linearno polariziran
- Svetlobni modulator s PLZT keramiko, izvor napetosti 0-1000V, Voltmeter
- fotodioda kot merilnik svetlobnega toka - mikroampermeter
- polarizatorji (polaroidni filtri) pritrjeni na vrtljivih nosilcih
- dvolomna celica iz tekočih kristalov v nosilcu, ki omogoča vrtenje, kotomer.

### Naloga:

1. Izmerite kotno odvisnost prepustnosti polarizatorja za linearno polarizirano svetlobo
2. Izmerite prepustnost dveh pravokotno postavljenih polarizatorjev, ko medajhu postavite še tretji polarizator in ga vrtite
3. Določite Kerrovo konstanto PLZT keramike
4. Analizirajte polarizacijo svetlobe po prehodu skozi dvolomno snov in določite debelino tekočokristalne celice

## Navodila

Ogrijemo laser in preko fotodiode izmerimo tok  $I_0$  (neoviran).

Nagajamo obe elastični legi prepustnosti polarizatorja. Postavimo ga pred snop in izmerimo prepuščeno moč v odvisnosti od kota zasleda.

Sedaj postavimo polarizator da bo prepustnost minimalna.

Vmes postavimo še en polarizator in podobno kot prej izmerimo kotno odvisnost.

Sedaj zmerimo moč od napetosti na kerrom celici iz PLZT keramike. Veliko postarimo med dva prekrizana polarizatorja. OZ enega je snop linearno polariziran. Merimo napetost na celici ~~moč~~ in prepuščeno moč.

Izmerimo še prepuščeno moč v odvisnosti od kota zasleda celice s tetraednim kristalom. Postarimo jo med dva polarizatorja kjer je prvi pod kotom  $+45^\circ$  drugi za celico pa pod kotom  $-45^\circ$ .

**1. Polarizator:** Na grafu meritev je fittana funkcija

$$P_p = P_1 \sin^2(\alpha + \delta) + P_0$$

kjer so  $P_1$ ,  $P_0$  in  $\delta$  prilagoditvene konstante.

**2 polarizatorja:** Na grafu meritev je fittana funkcija

$$P_p = P_1 \sin^2(2\beta + \delta) + P_0$$

kjer so  $P_1$ ,  $P_0$  in  $\delta$  prilagoditvene konstante.

**Kerrom celica:** Na grafu meritev je fittana funkcija

$$d = 1,4 \text{ mm}$$

$$L = 1,5 \text{ mm}$$

$$P_p = P_1 \sin^2(\alpha B L U^2 / d^2 + \Phi / 2)$$

kjer so  $P_1$ ,  $B$ ,  $\Phi_0$  prilagoditvene konstante.

Fit ni najboljši ampak ljub trudu (tudi: uporabi različnih metod optimizacije) je to najbolje kar sem uspel.

Kerrova konstanta:  $B = (2.11 \pm 0.03) \cdot 10^{-9} \frac{\text{m}}{\text{V}^2}$

Celica s tekočim kristalom:

$$n_{\parallel} = 1.706$$

$$n_{\perp} = 1.532$$

$$\lambda = 632.8 \text{ nm}$$

Na grafu je narisana funkcija:

$$P_p = P_1 \sin^2 \left( f \left[ \sqrt{n_{\perp}^2 - \sin^2 \alpha} - \sqrt{n_{\parallel}^2 - \sin^2 \alpha} \right] \right) + P_0$$

kjer so  $P_1$ ,  $P_0$  in  $f$  prilagoditvene konstante.

Velja:  $f = \frac{\pi d}{\lambda}$

$$f = (285 \pm 0.1) \text{ m}^{-2}$$

$$d = 57 \mu\text{m}$$

Glede na nepopoln fit je to le ocena.