

OPT/OZI

L05

Modulace vlnoplochy

prostorové modulátory světla (SLM)

SLM vytváří prostorově modulovaný koherentní optický signál

řízení

- elektronicky adresovaný SLM
- opticky adresovaný SLM

technologie

- fotografická emulze
- nematkové kapalně krystaly
- deformovatelná zrcadla
- magnetooptika
- akustooptika

fotografická emulze

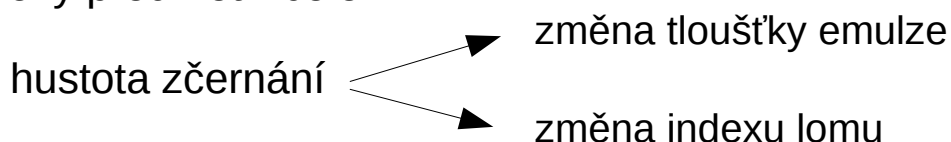
vznik obrazu

- fotoelektrický jev – uvolnění kovového Ag z halogenidů (AgBr)
- chemické zesílení latentního obrazu vyvolávací látkou
- odstranění zbylých halogenidů ustalovačem

přenosová funkce

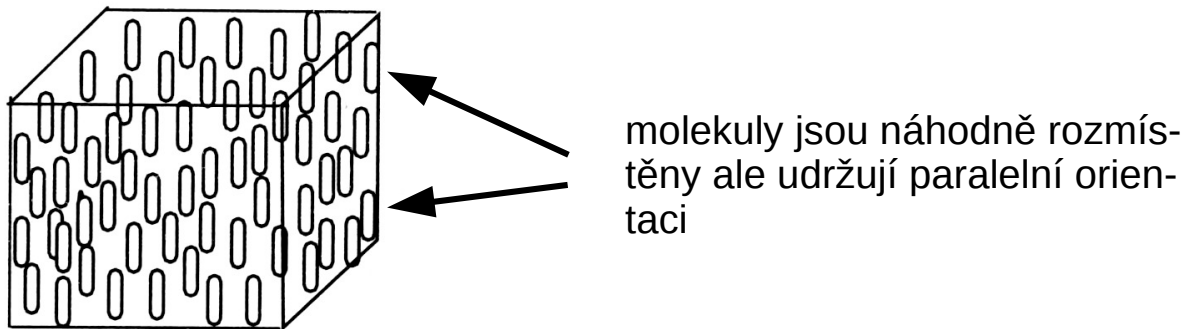
- lineární systém (rozptyl světla a chemická difúze)
- nelineární křivka zčernání

fázový předmět - bělení



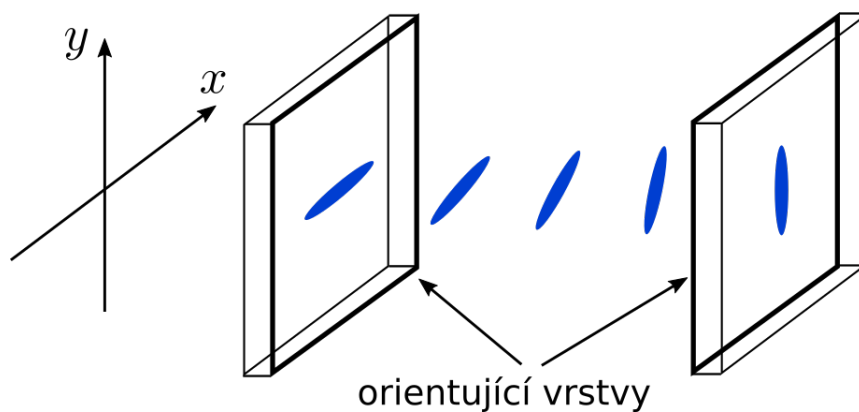
nematické kapalné krystaly (NLC)

- mechanické vlastnosti NLC



- okrajové podmínky: vrypy na vrstvě v dotyku s NLC
- molekuly na okraji NLC sledují směr leštění
- jiný směr leštění na okrajích NLC způsobí postupné stáčení molekul uvnitř NLC

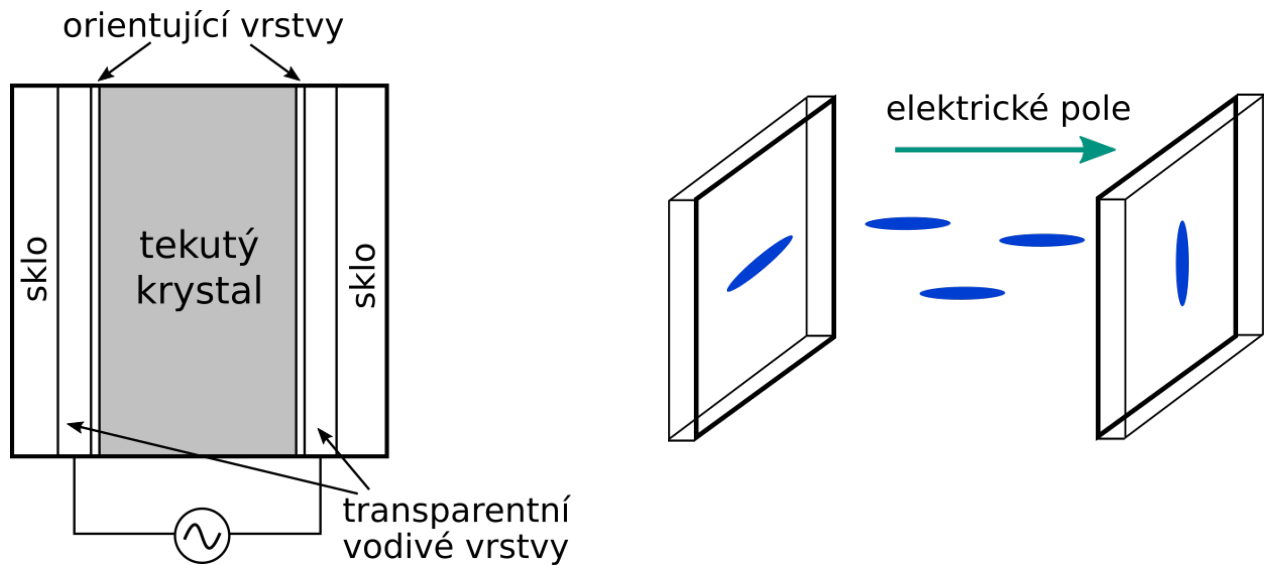
“twisted” NLC



- elektrické vlastnosti NLC
 - elektrické pole indukuje elektrický dipól v molekulách NLC
 - interakce dipólu s řídicím polem vede ke změně orientace molekul

elektricky řízený NLC

molekuly NLC se natočí podle směru dostatečně silného el. pole



střídavé napětí (kHz), RC obvod

- optické vlastnosti NLC

báze lineárních polarizací: Jonesovy vektory a matice

$$U = \begin{pmatrix} U_X \\ U_Y \end{pmatrix} \quad U' = L U = \begin{pmatrix} L_{11} & L_{12} \\ L_{21} & L_{22} \end{pmatrix} U$$

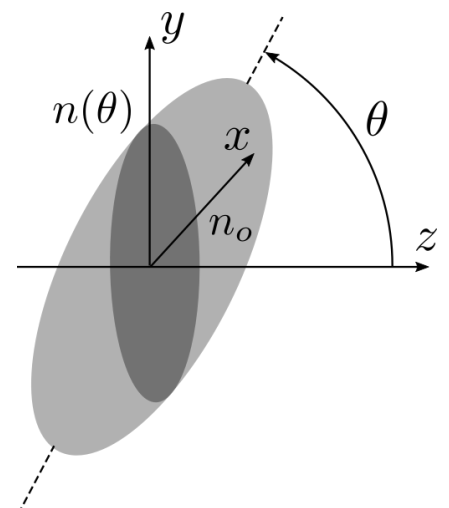
anizotropie $n_e > n_o$

↖ polarizace podél delší osy krystalu

(a) bez twistu

šíření ve směru z + osa krystalu v rovině yz

- vlastní módy: x, y lineární polarizace
- indexy lomu: $n_0, n(\theta)$
- náklon řízen polem ve směru z



(b) twist (twisted nematic - TN)

- bez napětí: soustava vzájemně pootočených kompenzátorů, polarizace sleduje orientaci molekul

$$L = L_R(-\alpha d) L_C(-\beta d)$$

rotace v rad/m $\beta = \frac{2\pi(n_e - n_o)}{\lambda_o}$ tloušťka NLC článku $\beta \gg \alpha$

$$L_R(-\alpha d) = \begin{pmatrix} \cos(\alpha d) & -\sin(\alpha d) \\ \sin(\alpha d) & \cos(\alpha d) \end{pmatrix}, \quad L_C(\beta d) = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{-i\beta d} \end{pmatrix}$$

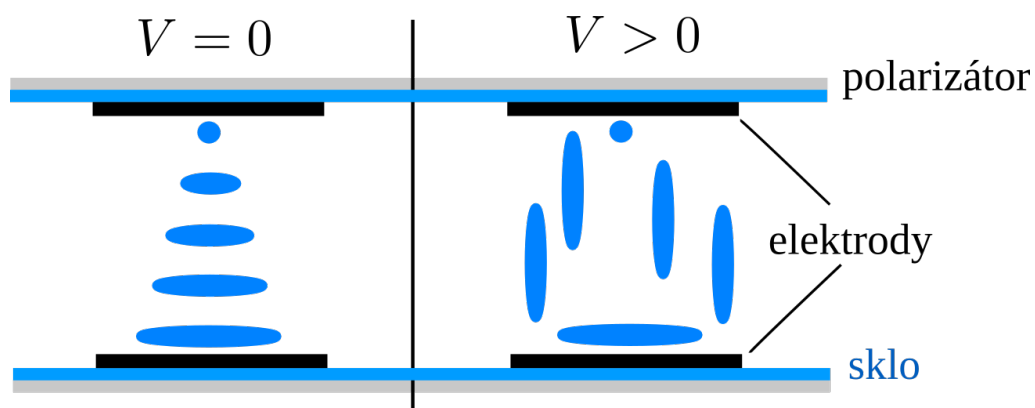
- přivedeno napětí ve směru šíření: delší osa molekul otočena po směru šíření, žádná změna polarizace

modulace intenzity

- na průchod

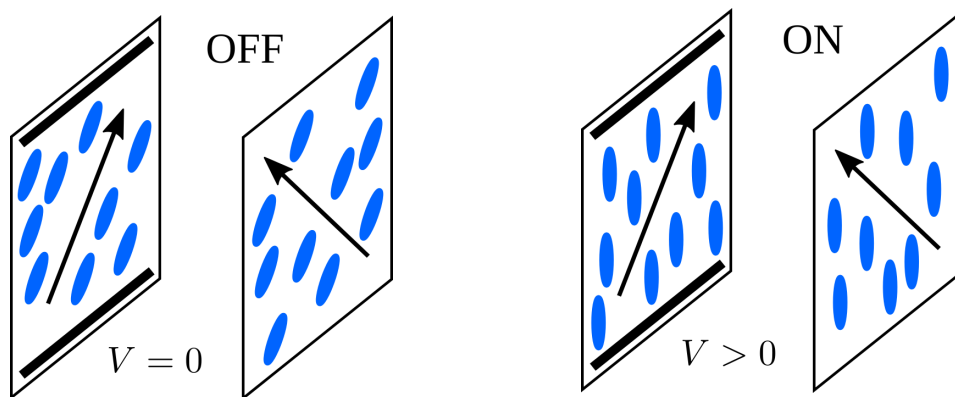
TN (twisted nematic) display

- twisted NLC, zkřížený polarizátor/analyzátor
- OFF - polarizátor na vstupu a analyzátor na výstupu sleduje orientaci molekul
- ON - molekuly rovnoběžně (tma)



IPS (in-plane switching)

- elektrody leží v jedné rovině, molekuly se otáčí společně
- zkřížený polarizátor/analyzátor
- OFF - molekuly rovnoběžné s polarizátorem (tma)
- ON - molekuly 45° k polarizátoru/analyzátoru - $\lambda/4$ destička
- lze i s twisted NLC – zrušení twistu polem v rovině substr.



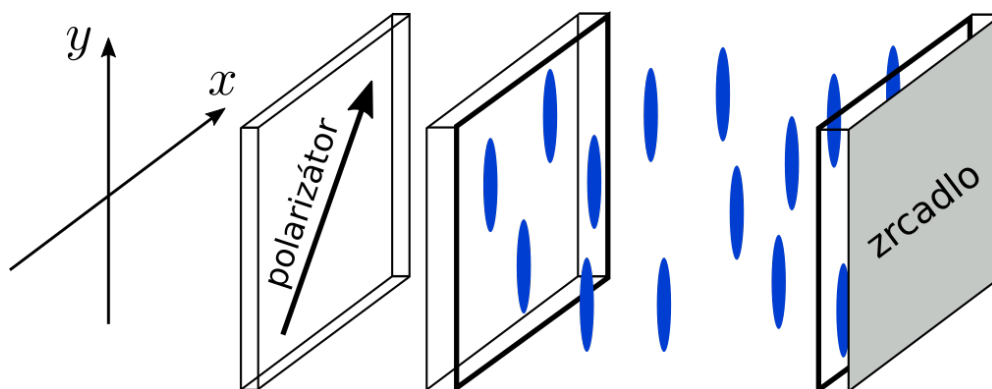
výhody IPS

- větší pozorovací úhel
- není citlivý na stlačení

nevýhody IPS

- elektrody zabírají více místa

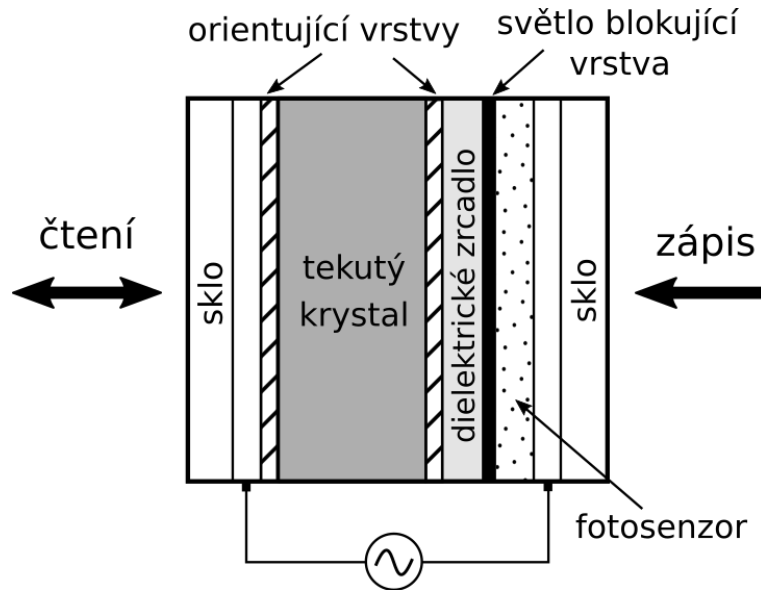
- na odraz



$\lambda/4$ destička: zrcadlo mění smysl kruhové polarizace
tj. bez napětí dojde k rotaci polarizace o $\pi/2$

- adresovaný světlem

- světlo mění elektrické vlastnosti osvětleného fotosenzoru
- fotosenzor mění elektrické pole uvnitř NLC článku
- lze využít pro přepis informace z nekoh. do koh. pole

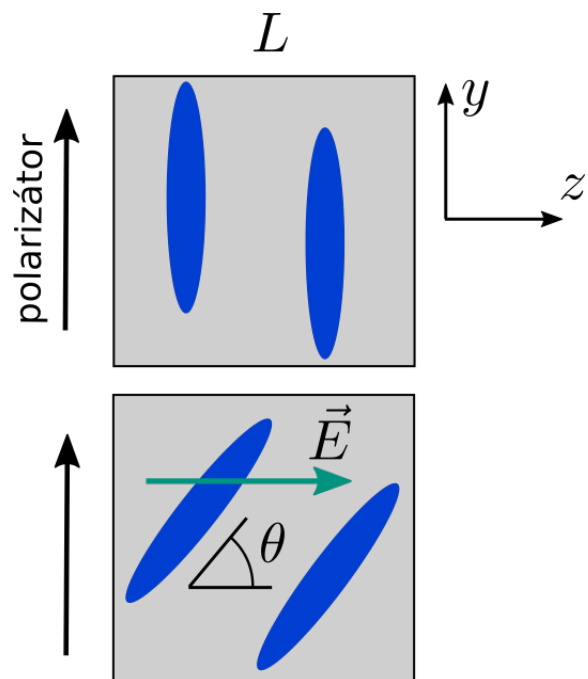


modulace fáze

- změna optické dráhy v krystalu bez twistu elektrickým polem

$$n_0 < n(\theta) < n_e$$

$$\frac{1}{n^2(\theta)} = \frac{\cos^2 \theta}{n_o^2} + \frac{\sin^2 \theta}{n_e^2}$$



magneto-optika

Faradayův jev: dielektrikum v silném magnetickém poli

- různý index lomu pro pravo- a levo-točivou kruhovou polarizaci
- způsobuje rotaci lineární polarizace
- závisí na složce magnetického pole ve směru šíření

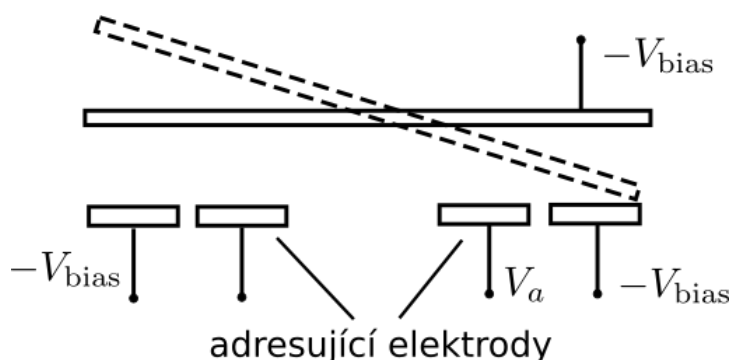
magneto-optický prostorový modulátor

- pixely magnetizovatelné průhledné látky
- rotace polarizace v jednom pixelu $\theta \ll \pi/2$ – výstupní polarizátor je kolmo nastaven vůči jedné výstupní polarizaci

elektro-mechanika

mechanické pohyby/deformace optických prvků

- deformovatelná zrcadla
 - deformace optické plochy tlakem
 - matice aktuátorů (piezo prvky)
 - využití např. v adaptivní optice
- DMD (digital micromirror devices)
 - MEMS technologie, zrcadla integrovaná na čipu
 - řízení elektrostatickým polem
 - základ DLP (digital light processing) projekce
 - barva: rotující barevný kotouč nebo DMD pro jednotlivé barvy

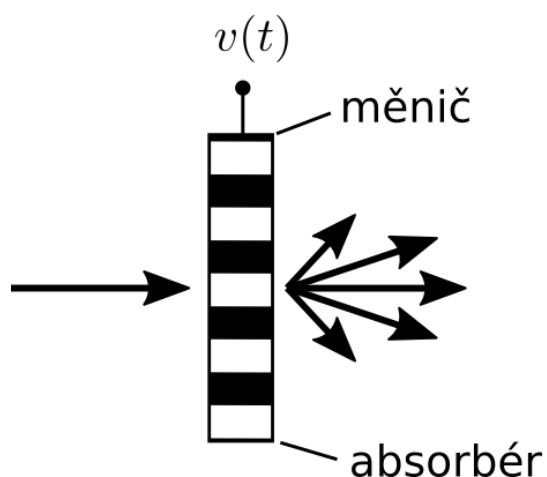


V_{bias} drží zrcadlo na místě

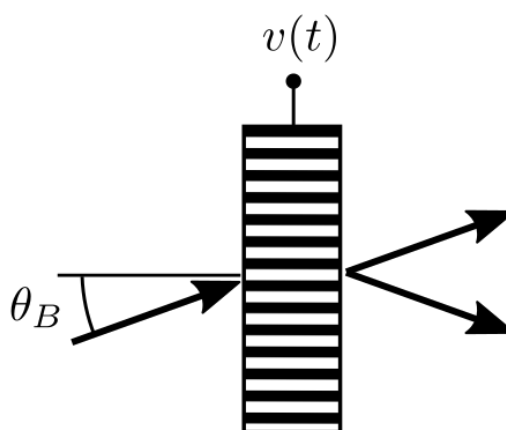
$V_{\text{bias}} = 0$ aktualizace stavu všech zrcadel

akusto-optika

interakce optické vlny se zvukovou vlnou – využití pro 1D modulaci



Ramanův-Nathův režim



Braggův režim

Raman-Nath

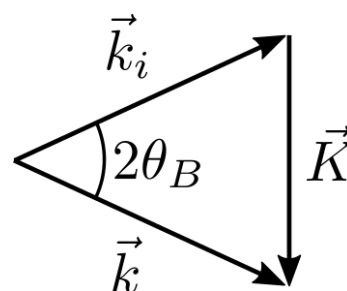
- RF desítky MHz
- kapalina
- chová se jako tenká fázová mřížka s periodou Λ

$$\sin \theta_n = n \frac{\lambda}{\Lambda}$$

Labels: λ is labeled "vlnová délka světla" (light wavelength) and Λ is labeled "perioda mřížky" (grating period).

Bragg

- RF stovky MHz – GHz
- krystal
- nultý a první difrakční řád



$$\frac{\lambda}{\Lambda} \gg \frac{\Lambda}{L}$$

Labels: $\frac{\lambda}{\Lambda}$ is labeled "vzdálenost mezi difrakčními řády" (distance between diffraction orders) and $\frac{\Lambda}{L}$ is labeled "úhlová neurčitost akustické vlny (hybnosti)" (angular uncertainty of acoustic wave (momentum)).

$$\sin \theta_B = \frac{\lambda}{2\Lambda}$$

modulace intenzity, fáze, směru šíření, frekvence optické vlny

difraktivní optika

tenký fázový prvek + šíření

funkci nelze vysvětlit zákony paprskové optiky

výhody

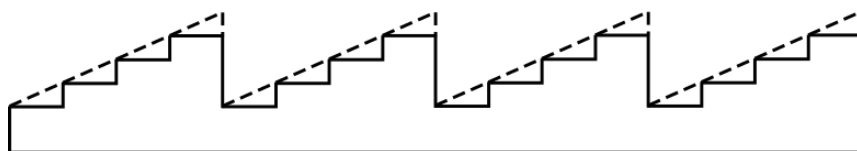
- lze realizovat funkce obtížně dosažitelné klasickou optikou (multifokální prvky)
- obvykle nižší váha a menší rozměry
- lze realizovat litografickými technikami

použití

- hlavy optických disků, tvarovače laserových svazků, děliče laserových svazků
- achromatizace objektivů
- referenční prvky pro interferometrické testy atd.

binární optika

- diskretizace



- litografický proces

