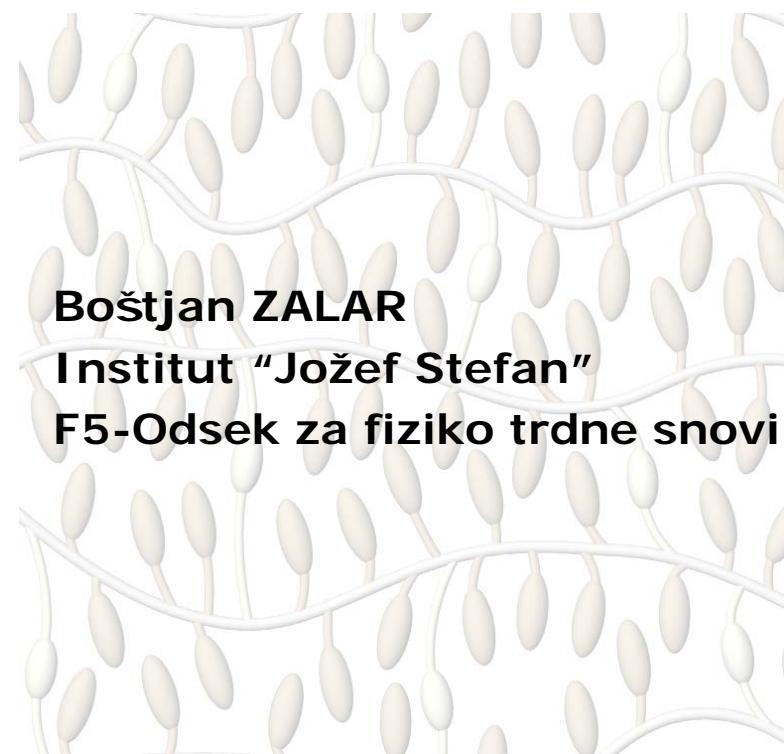
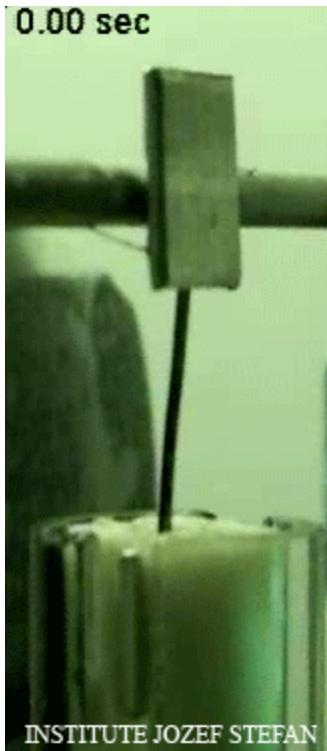
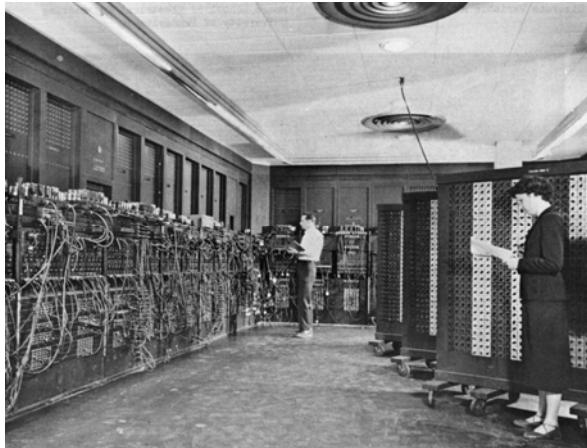


TEKOČEKRISTALNI ELASTOMERI

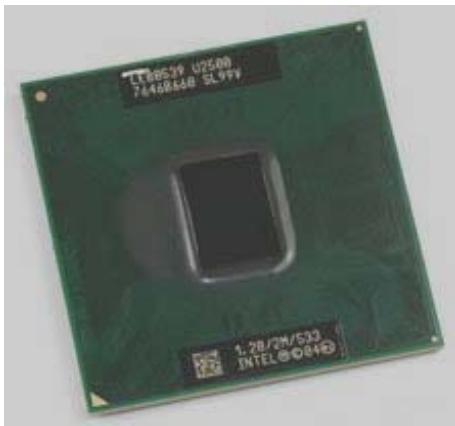
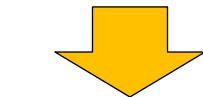
“pametni materiali” za uporabo v MEMSih, NEMSih, mikrofluidiki, senzorskih in aktuatorovski tehniki, ter umetnih mišicah



Miniaturizacija



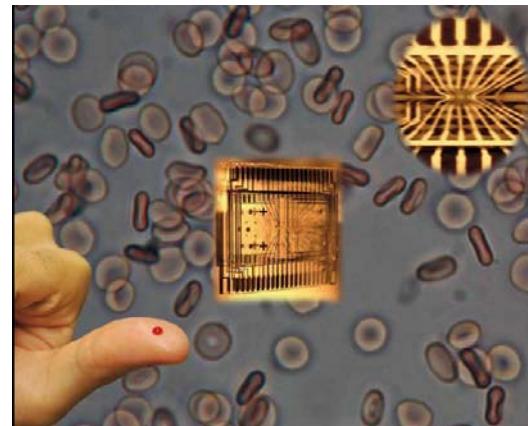
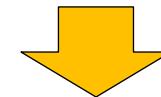
ENIAC 1947



MIKROPROCESOR 2009



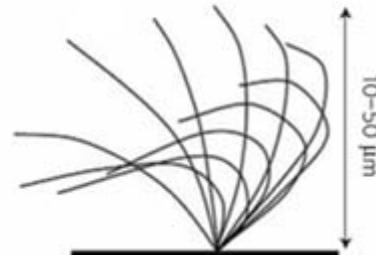
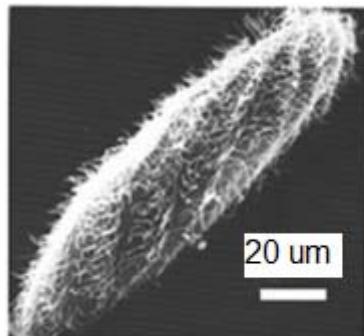
BIOLABORATORIJ 2009



LABORATORIJ NA ČIPU ???

Biomimetika

- Umetne mišice; materiali s primernimi elastičnimi lastnostmi, ki jih je mogoče enostavno aktuirati oz. vzbujati (električna napetost ali tok)
- Mišice sesalcev – raztezki okoli 20%, modul nekaj Mpa, mejna napetost – 0.5MPa
- Primernih materialov je v “nebiološkem” svetu malo
- Potreben je razvoj novih materialov



Paramecij z
migetalkami

Laboratorij na čipu

- Mikro in nanomehanski sistemi (MEMS, NEMS); čim enostavnejša sestava, izdelava komponent direktno na čipu z mikro- in nanomanipulacijo ali litografijo
- Poseben problem predstavljajo gibljivi deli (aktuatorji, črpalke); potreba po enostavnem načinu vzbujanja
- Ni "vzdrževanja", zaradi odpovedi ene same mikro ali nanokomponente je neuporabna celotna naprava

Polimerni aktuatorji

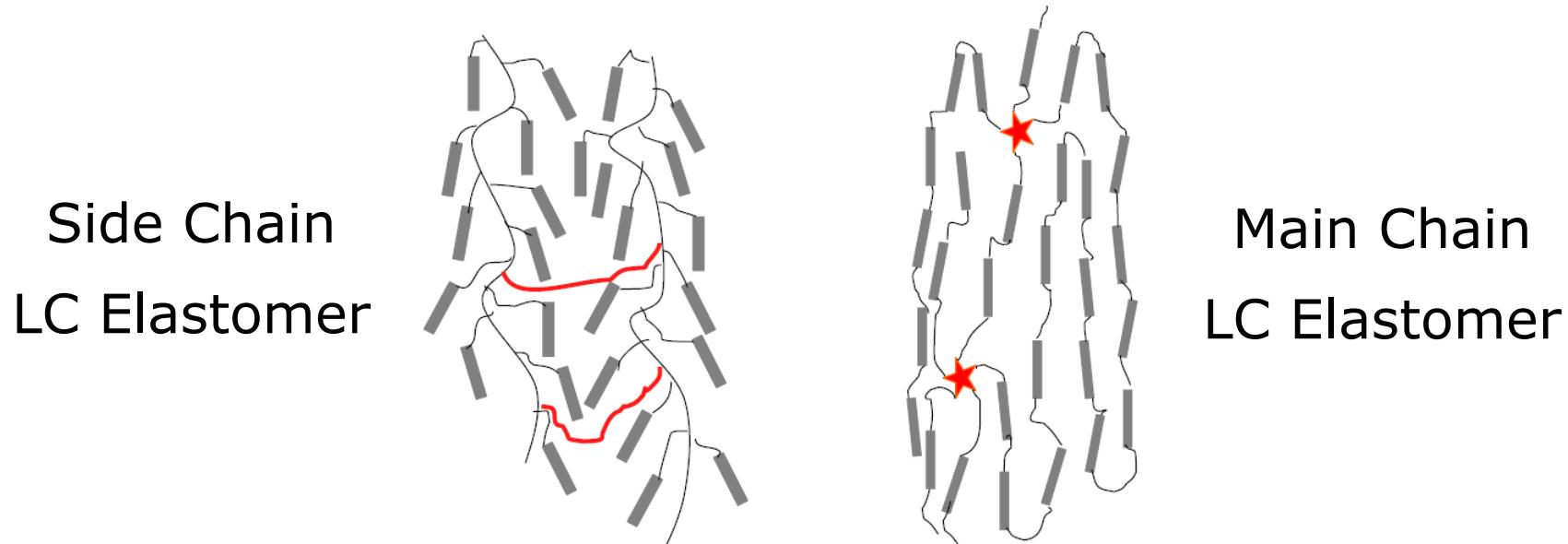
- Poceni, lahki, preprosti za masovno produkcijo
- Mehanske in kemične lastnosti lahko enostavno prilagodimo (širok spekter modifikacij)
- Fleksibilnost
- Ogromne relativne deformacije – pomembno za mikronaprave
- Biološka kompatibilnost, razgradljivost, nestrupenost...

Sodobni aktuatorski materiali

- Ionski polimerno-kovinski kompoziti
(potrebujejo vzdrževalni tok)
- Dielektrični/relaksorski feroelektrični elastomeri
(visoke napetosti, majhne deformacije)
- Prevodni polimeri (majhne deformacije,
potrebujejo ionski rezervoar)
- Hidrogeli (eventuelno z nano-magnetki)
- Tekočekristalni elastomeri TKE (aktuacija s
toploto); iskanje alternativnih načinov aktuacije

Tekočekristalni elastomeri

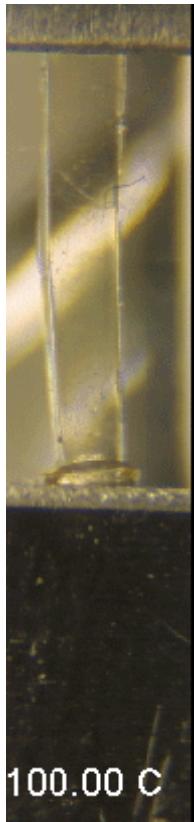
- Zamrežen polimer + kemično vezane tekočekristalne molekule (mezogeni)
- Nematski, smektični, holesterični, liotropni
- Sklopitev med lokalno konformacijo polimera in lokalno TK ureditvijo
- Sklopitev med deformacijo in TK urejenostjo



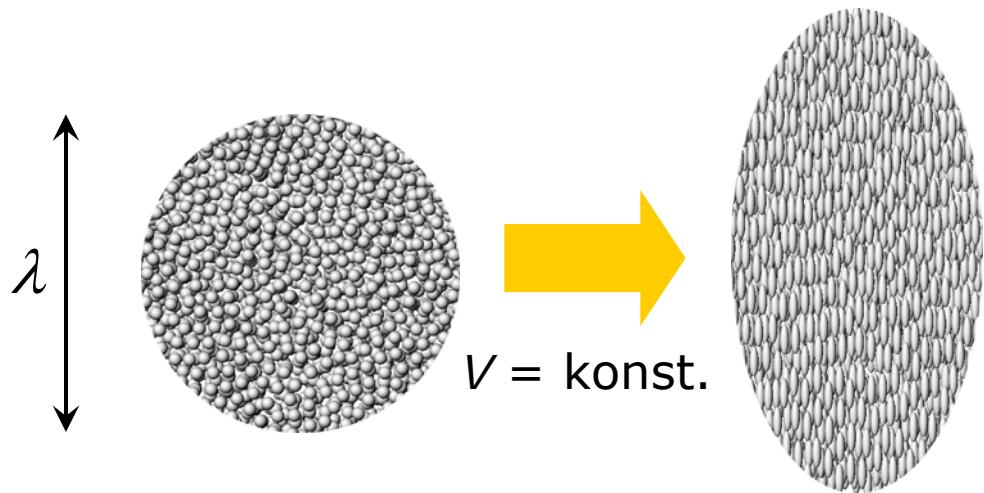
Zgodovina

- Koncept je predlagal že P. G. de Gennes (1975)
de Gennes, P. G.; Comptes Rendus de l'Academie des Sciences, 1975, 281, 101
- Prva sinteza TKE: Finkelmann (1981)
Finkelmann, H.; Kock, H. J.; Rehage, G; Makromolekulare Chemie, Rapid Communications 2, 1981, 317
- Prva sinteza monodomenskih TKE: Finkelmann (1991)
nematski side-chain
Küpfer J., H. Finkelmann H., Macromol. Chem. Rapid Commun., 1991, 12, 717
- Prvi TKE tipa main-chain: Finkelmann (2000)
Donnio B., Wermter H., Finkelmann H., Macromolecules, 2000, 33, 7724

Sklopitev $e \leftrightarrow S$



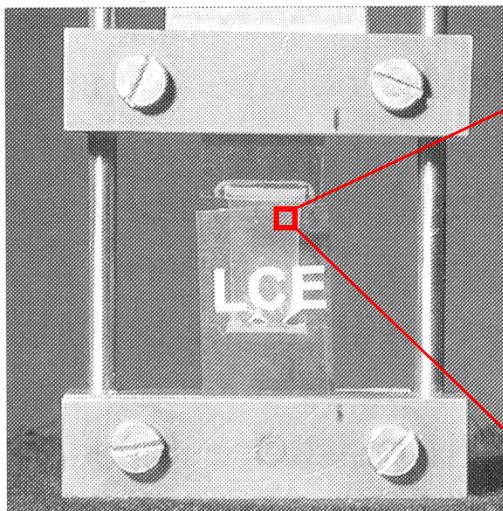
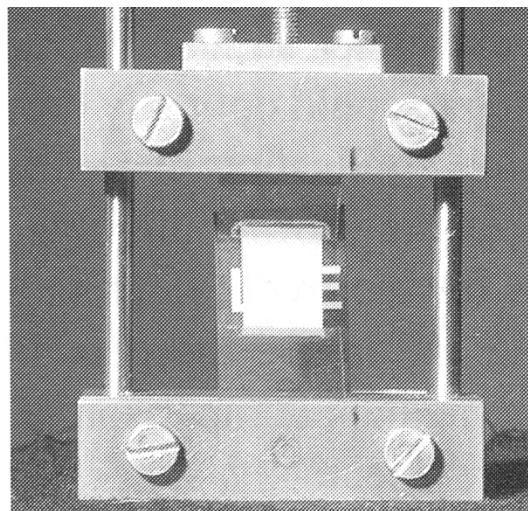
e – makroskopska mehanska deformacija
 S – nematski ureditveni parameter
(orientacijska urejenost molekul)



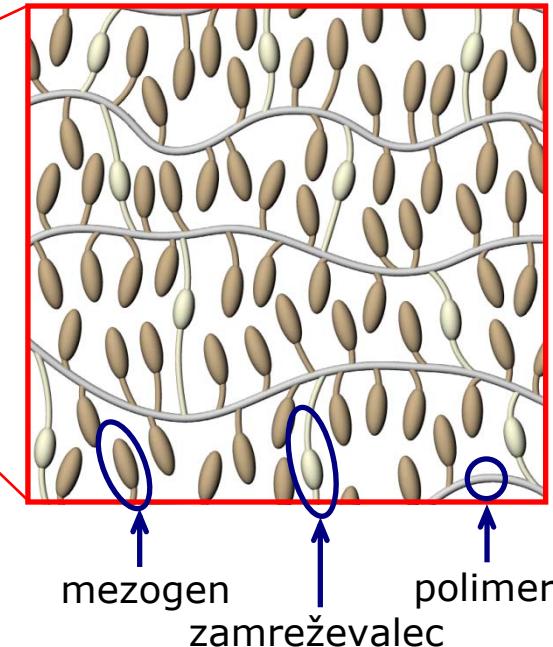
Obrnljiv
termomehanski odziv

$$S(T) \propto e(T) = \frac{\lambda(T)}{\lambda_0} - 1$$

Monodomenski TKE (MTKE)



Struktura MTKE

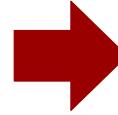


Urejanje polidomenskih vzorcev z mehanskim nategovanjem, Finkelmann et al.

- obremenjeni vzorci se vrnejo v neurejeno stanje po sprostitvi mehanske napetosti
- termomehansko odzivni so le monodomenski vzorci



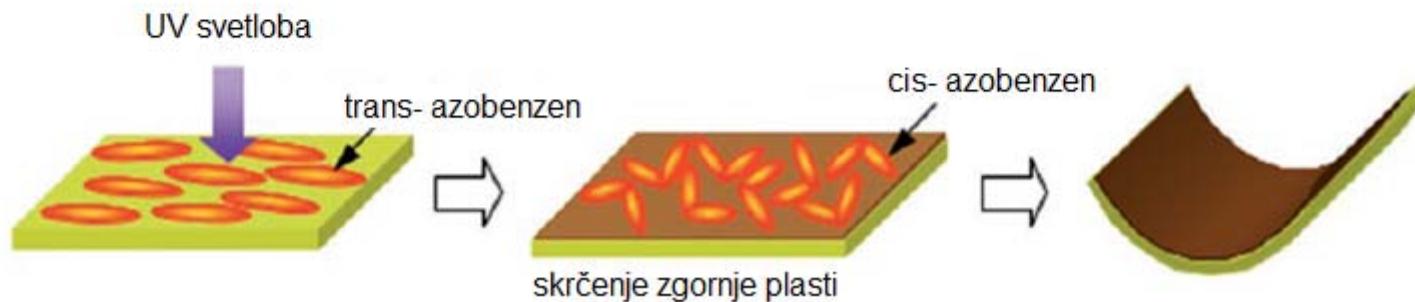
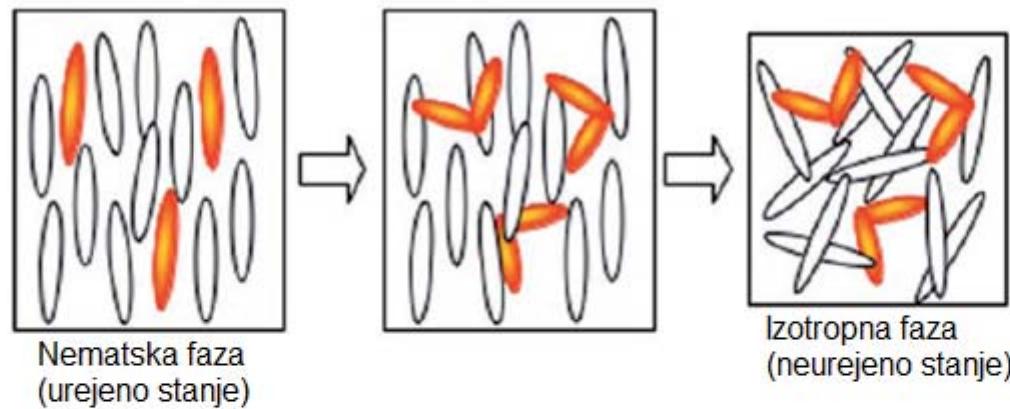
mehansko napetost je potrebno "zakleniti" v vzorec



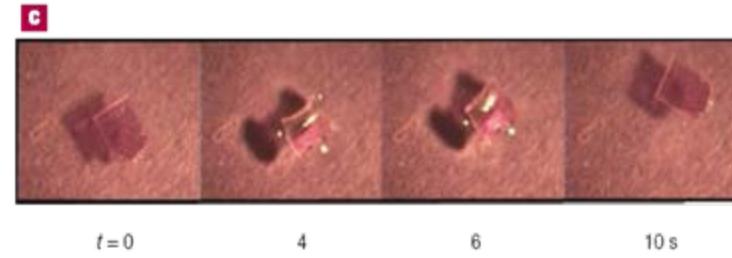
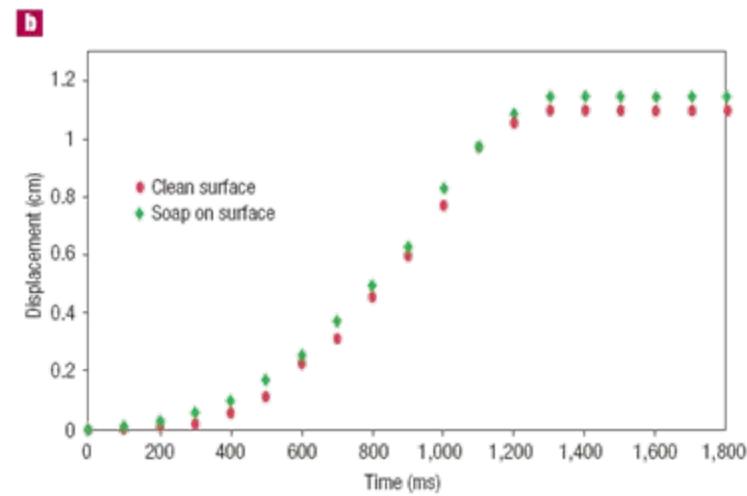
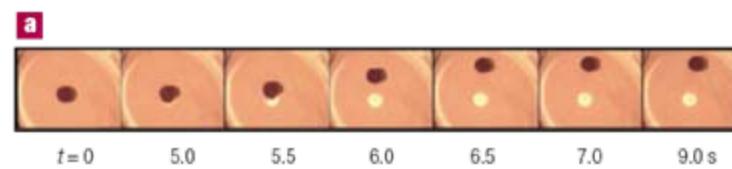
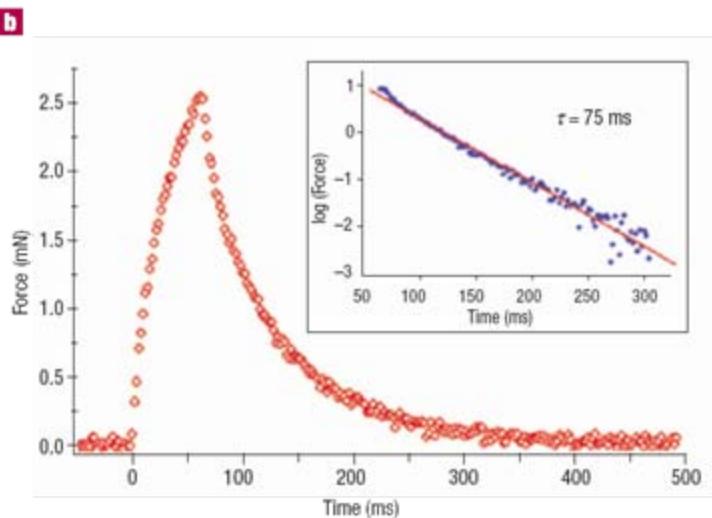
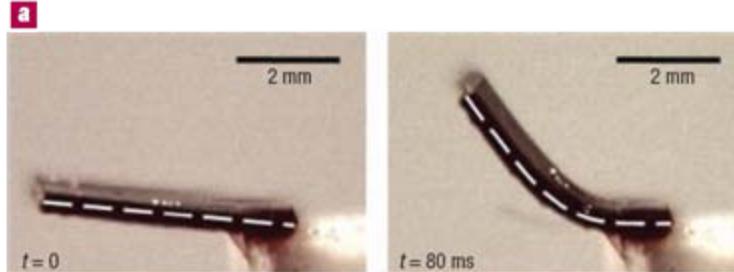
dvostopenjsko zamreževanje; v drugem koraku zamrežujemo obremenjen vzorec

Netermična aktuacija

- Mehansko deformacijo dosežemo s preklapljanjem med urejenim in neurejenim TK stanjem
- UV-svetloba preklaplja med cis- in trans- izomeri:



TKE fotomotor



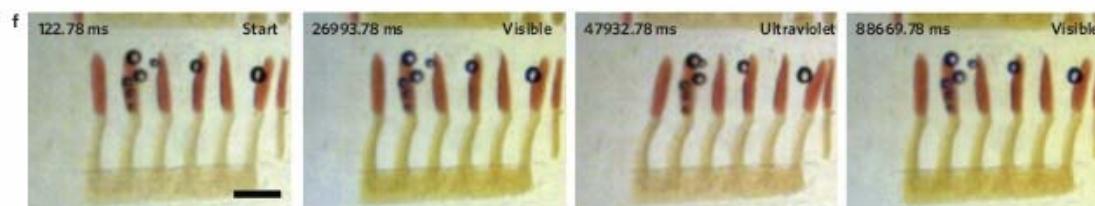
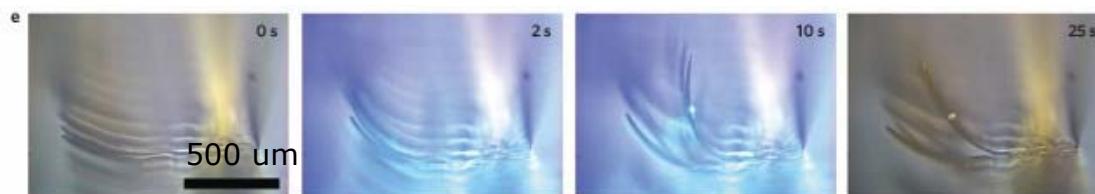
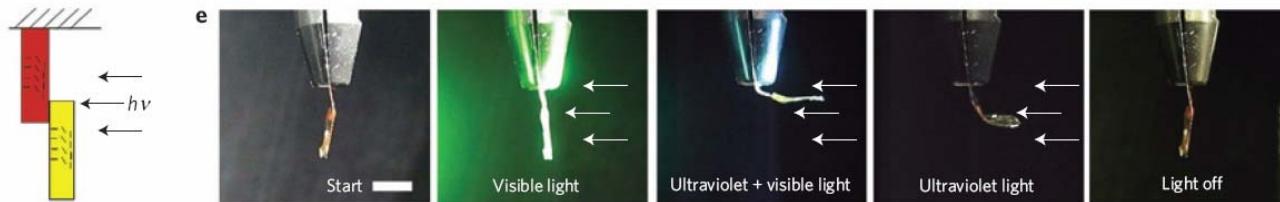
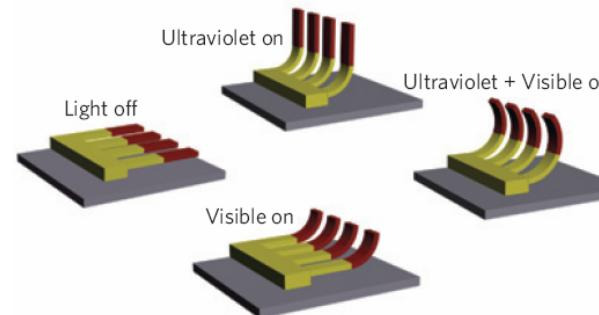
Palfy et al, Nature 2004

Ikeda et al, 2008



Fotomotor.wmv

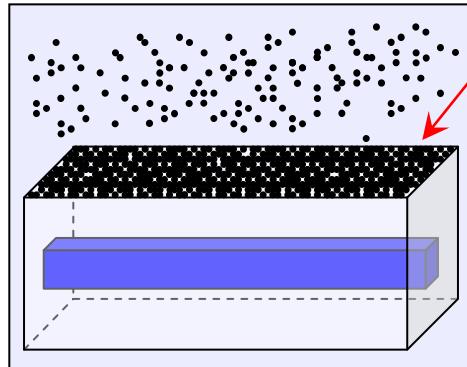
Uporaba večbarvne svetlobe



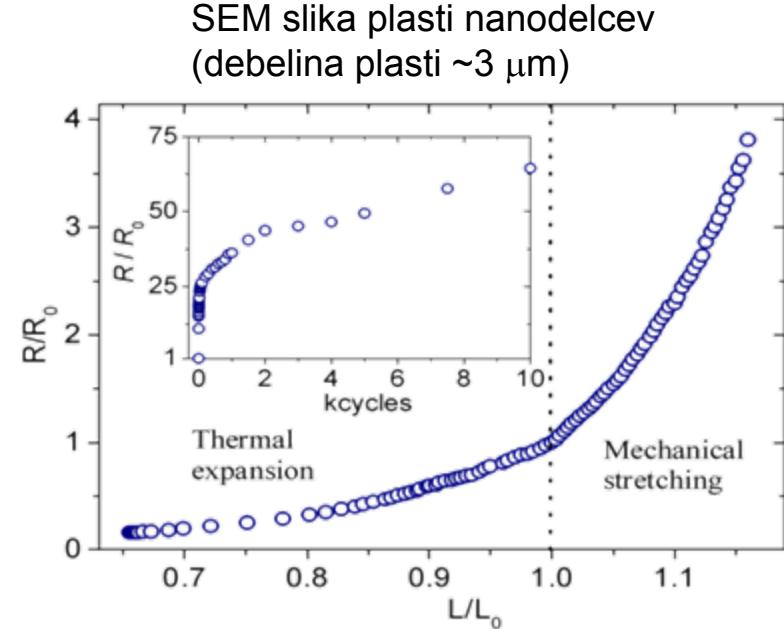
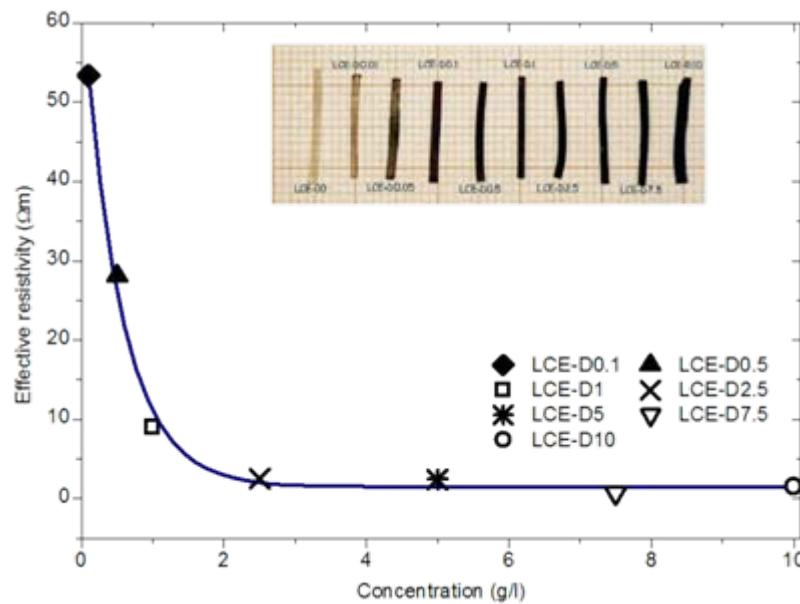
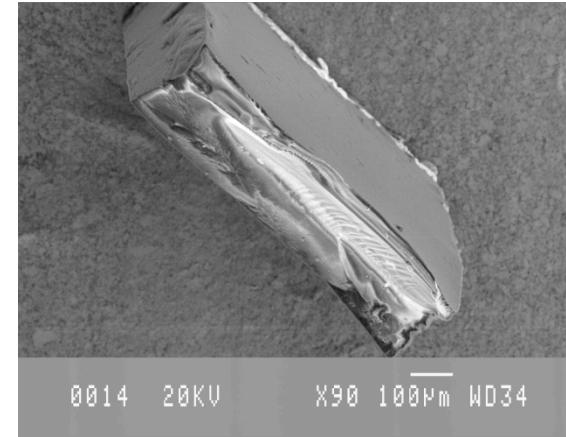
Oosten et al, Nature Materials, 2009

Simulacija gibanja sintetičnih migetalk, nanešenih s komercialnim brizgalnim tiskalnikom

Funkcionalizacija z nanodelci

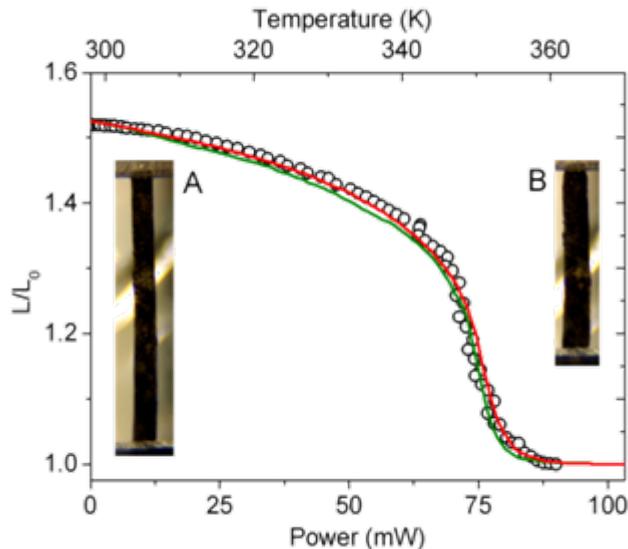


prevodni nanodelci
(carbon black) iz
raztopine (toluen
/cikloheksan) se
adsorbirajo ob površini
nabreknjenega (~400%
začetnega volumna)
MTKE

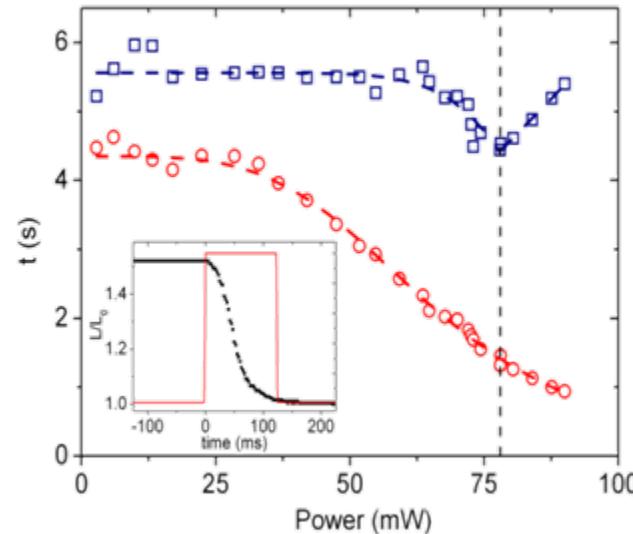


Funkcionalizirani MTKE se obnašajo piezorezistivno

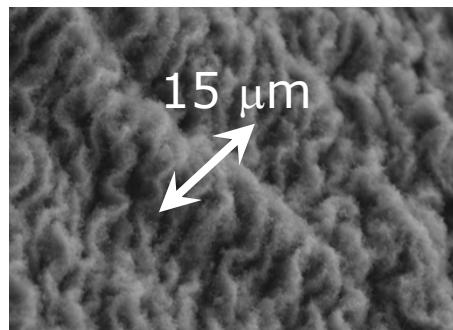
Aktuacija z uporovnim gretjem



termomehanski odziv
funkcionaliziranega MTKE
je nespremenjen;
moč (P) \Leftrightarrow temperatura (T)



relativno hiter odziv
(50 ms za 50%
spremembo dolžine)

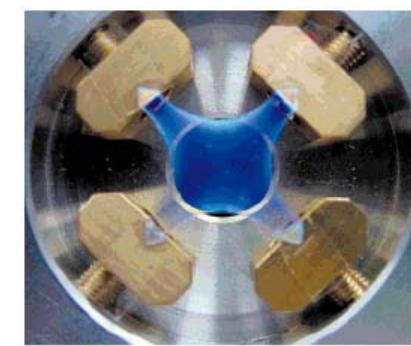
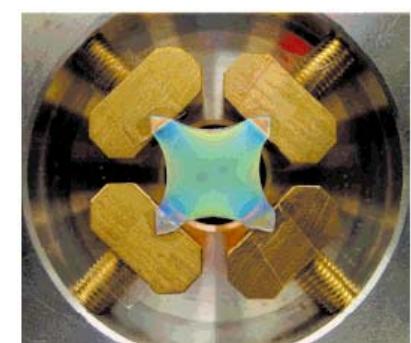
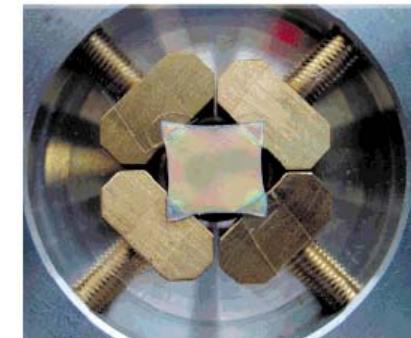
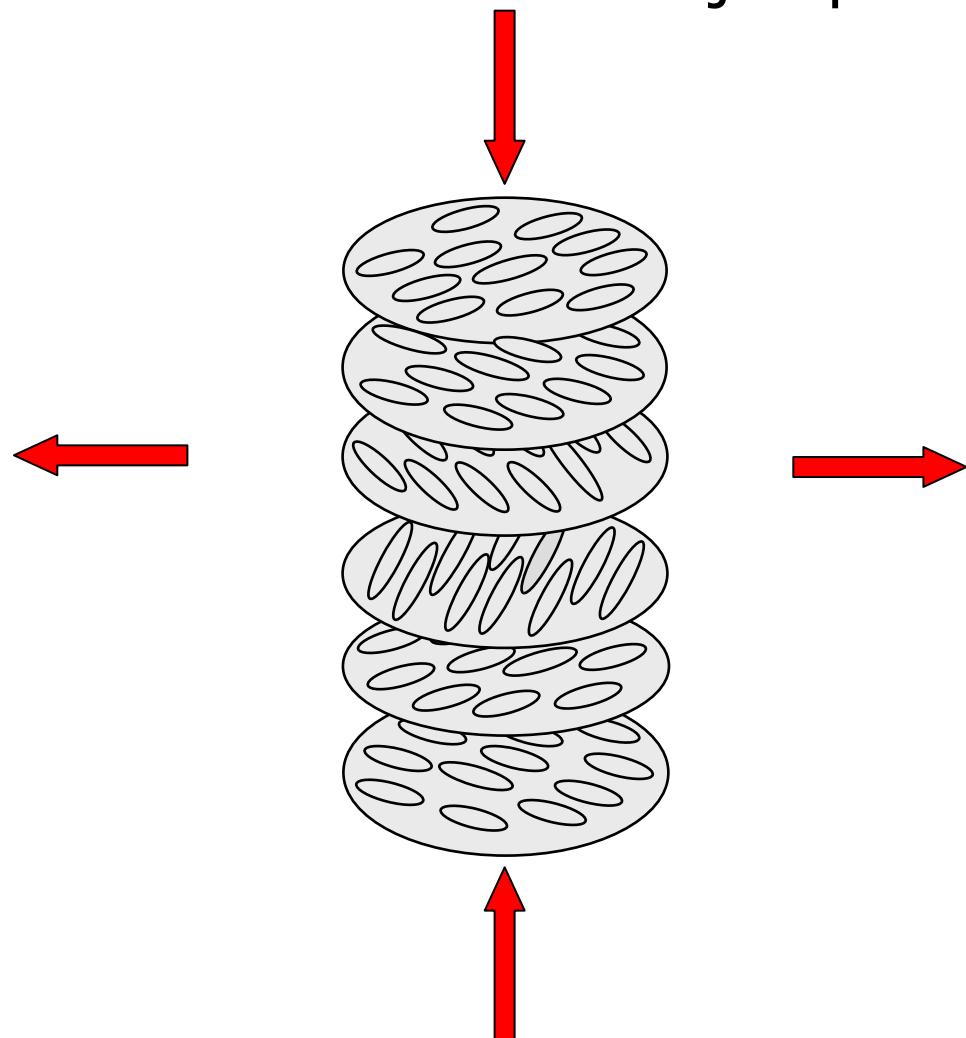


valovite površinske
superstrukture;
Eulerjeve nestabilnosti?
 \Rightarrow termomehansko uravnavanje
periode deformacij



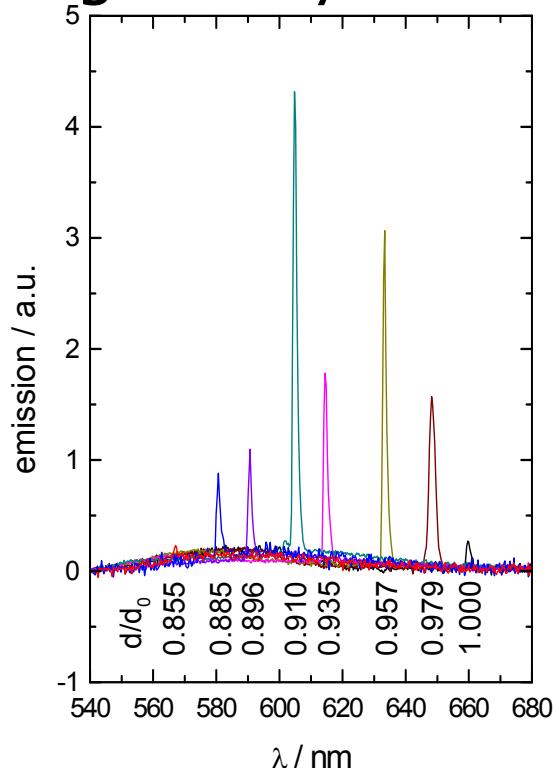
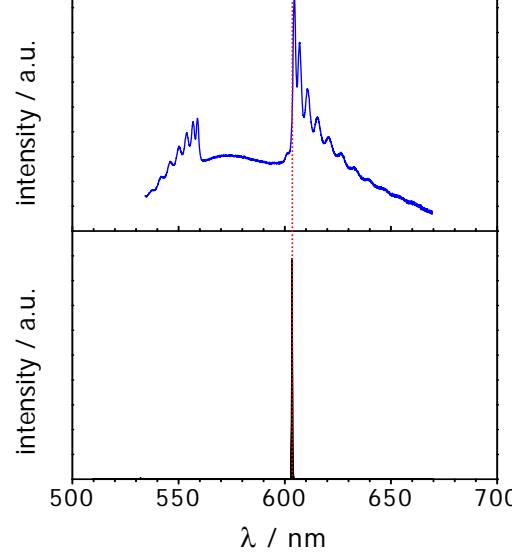
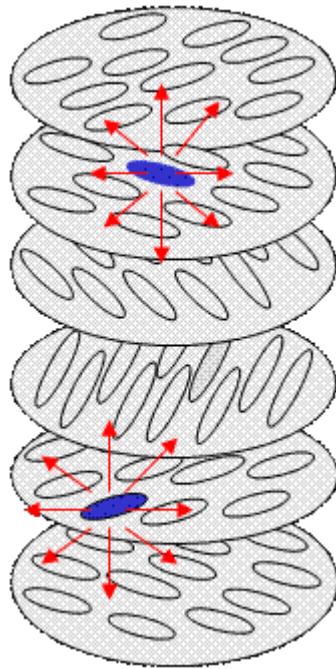
Holesterični tekočekristalni elastomeri

- Biaksialna deformacija spreminja periodo vijačnice



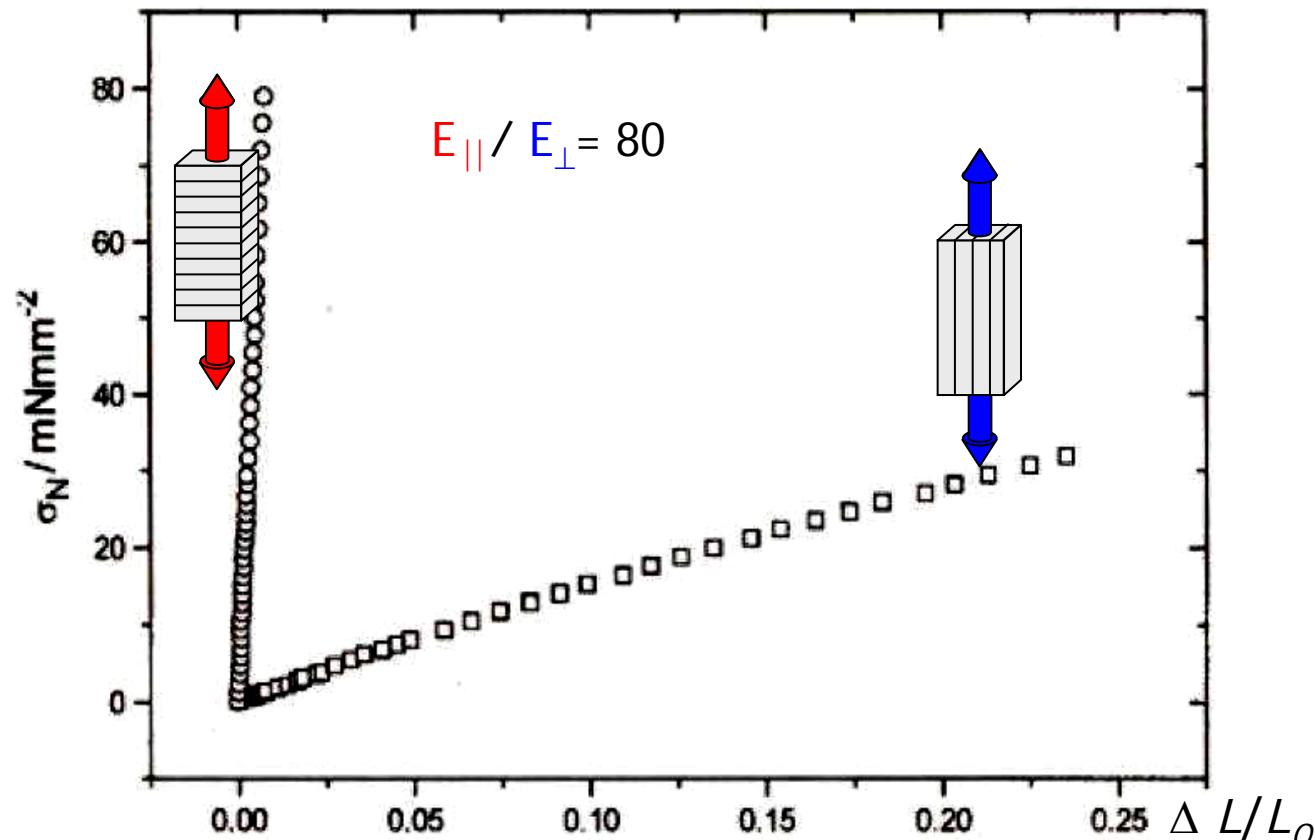
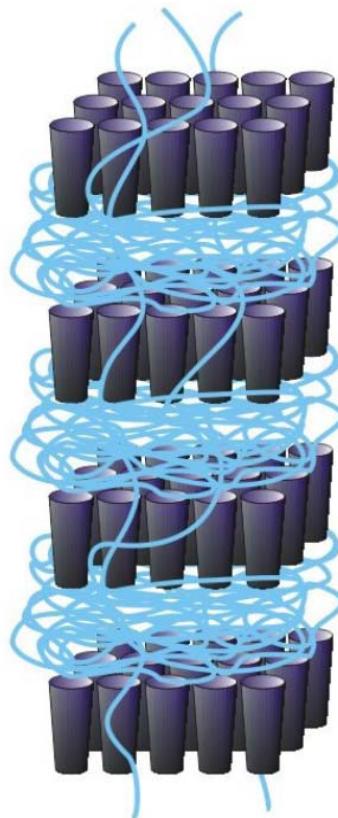
Kolesterični tekočekristalni elastomeri

- Ob dodatku barvil lahko izvajamo stop band edge -“lasing”
- Z biaxialno deformacijo nastavljamo frekvenco, pri kateri dela laser – tunable organic dye laser



Smektični tekočekristalni elastomeri

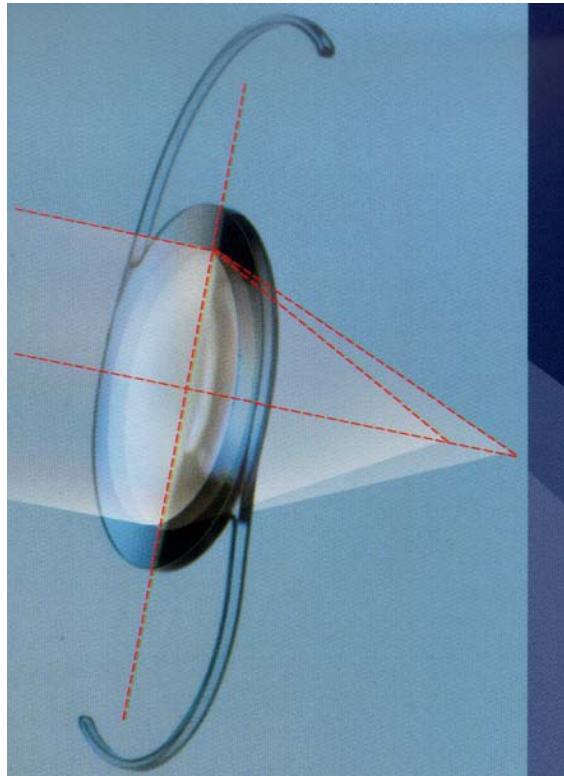
- Izjemno velika anizotropija mehanskih in drugih lastnosti



- Zelo visok ureditveni parameter – $S \odot 0.8$ in korelacijska dolžina (več 100 smektičnih

Liotropni tekočekristalni elastomeri

- Patent: dvolomna kontaktna leča za "blizu" in "daleč"



Zaključek

- TKE: Kompoziti tekočekristalnih molekul in polimera
- Orientacijsko urejanje molekul privede do mehanske deformacije – termična aktuacija
- Alternativni načini aktuacije le v sistemih funkcionaliziranih z nanodelci ali azomolekulami (Ohmsko gretje, UV osvetljevanje)
- Močno anizotropna guma
- Oblikovni spomin in ureditveni spomin
- Aplikacije:
 - Umetne mišice, aktuatorji
 - Optični elementi
 - Urejevalni medij za nanodelce