

ESF II projekt Západočeské univerzity v Plzni

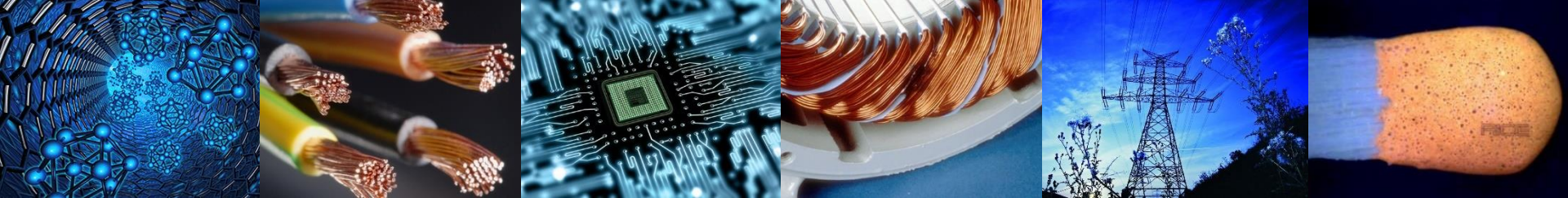
reg. č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/18_056/0013239



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



Západočeská univerzita v Plzni

Katedra technologií a měření

12.

Elektrotechnické materiály

KET/ELTM

Ing. Robert Vik, Ph.D.



EK 410, rvik@fel.zcu.cz



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Speciální dielektrické materiály



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



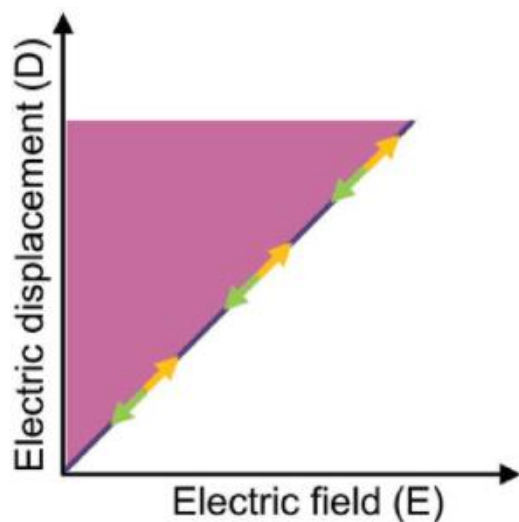
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Dielektrické materiály

klasická dielektrika (lineární)

polarizace látky **je přímo úměrná** intenzitě elektrického pole

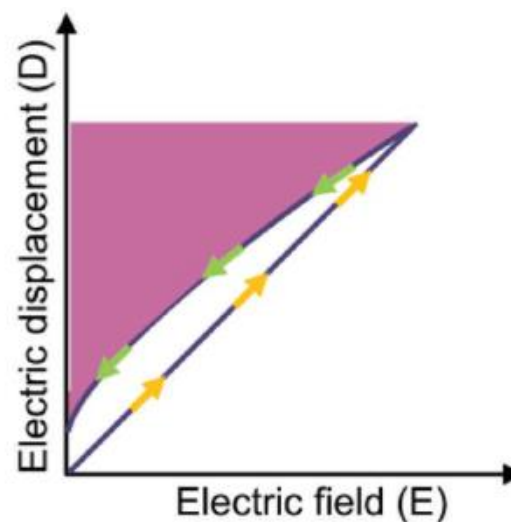
$$\varepsilon_r = \text{konst.}$$



nelineární dielektrika

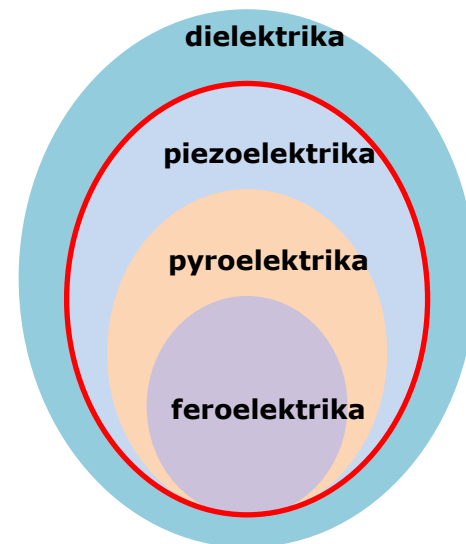
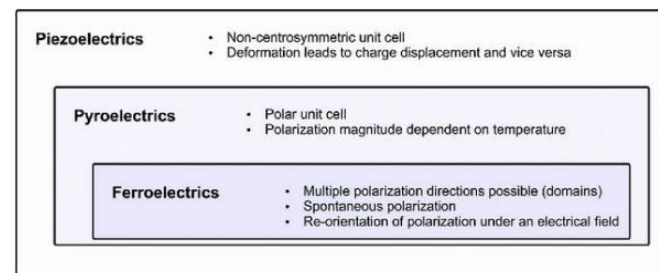
polarizace látky **není úměrná** intenzitě elektrického pole

$$\varepsilon_r = f(E)$$



Speciální dielektrické materiály

- **speciální dielektrika** – polarizace látky i bez přítomnosti elektrického pole nebo látky schopné trvalé polarizace
- **piezoelektrika** – polarizace látky je vyvolána pružnou mechanickou deformací (působením vnější mechanické síly)
- **pyroelektrika** – látky se samovolnou polarizací, která se mění s teplotou
- **feroelektrika** - látky se samovolnou polarizací, která se mění s vnějším elektrickým polem
- **elektrety** - látky s trvalou samovolnou polarizací i bez přítomnosti vnějšího elektrického pole (krystalická i nekrystalická struktura)



speciální dielektrika



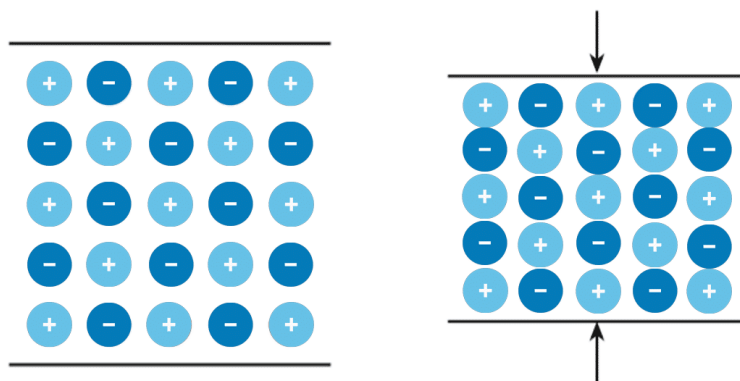
EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



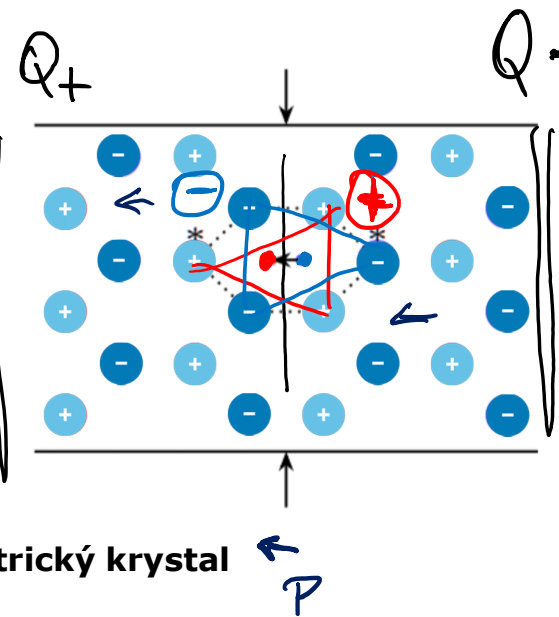
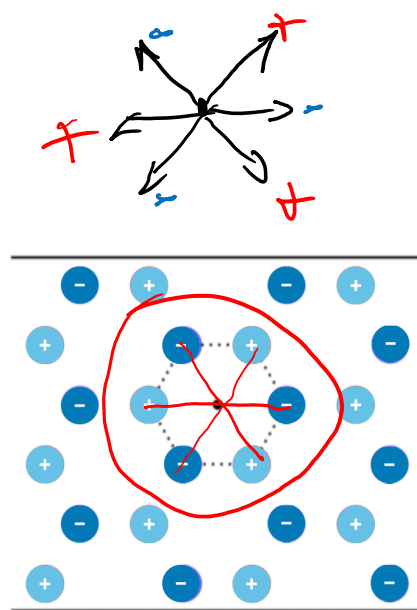
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Piezoelektrika

- polarizace dielektrického materiálu působením vnější mechanické síly
- jev způsoben anisotropií krystalu, amorfnní látky vlastnost nemají



symetrický krystal



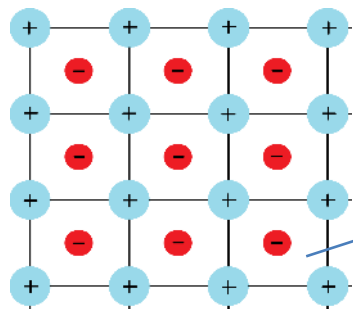
nesymetrický krystal



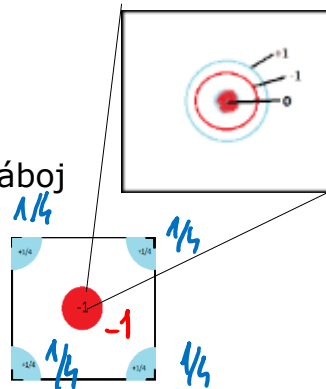
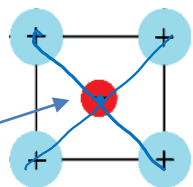
Piezoelektrika

- zda piezoelektrický jev nastane nebo ne rozhoduje poloha středu symetrie základní buňky krystalové mřížky
- elektrická těžiště záporných a kladných iontů se od sebe vzdálí

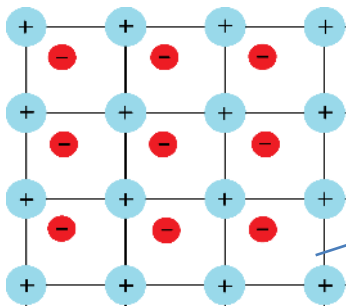
symetrický krystal



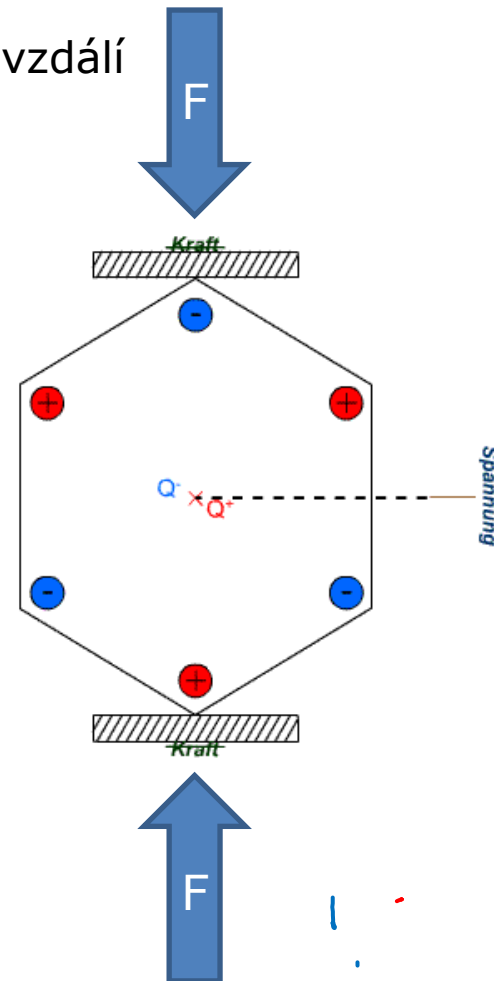
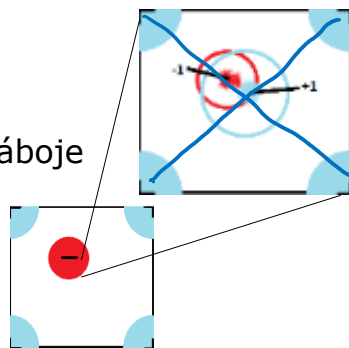
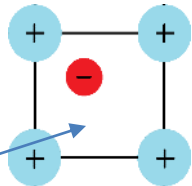
nevzniká elektrický náboj



nesymetrický krystal



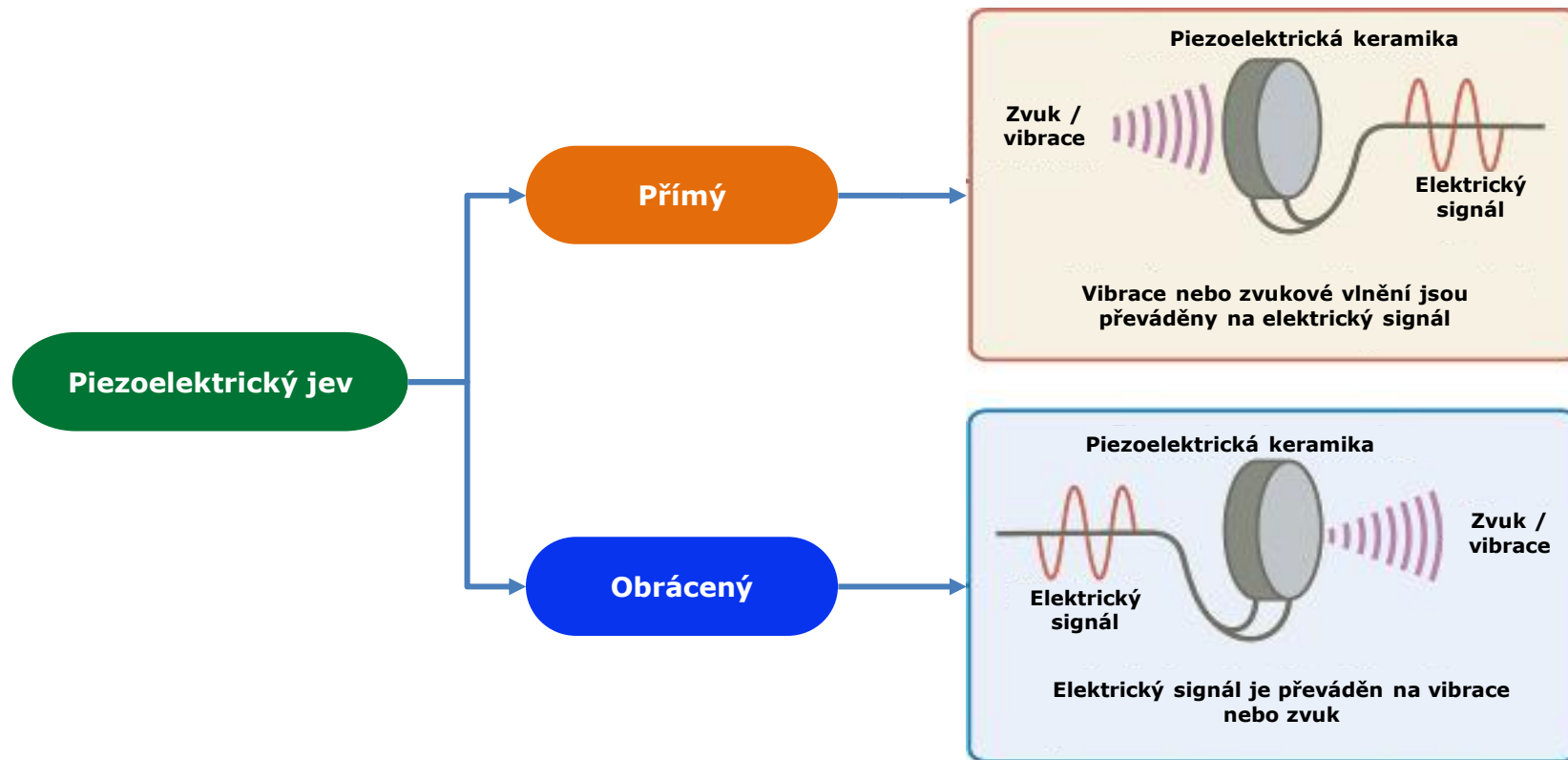
vznik elektrického náboje



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MS
MT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

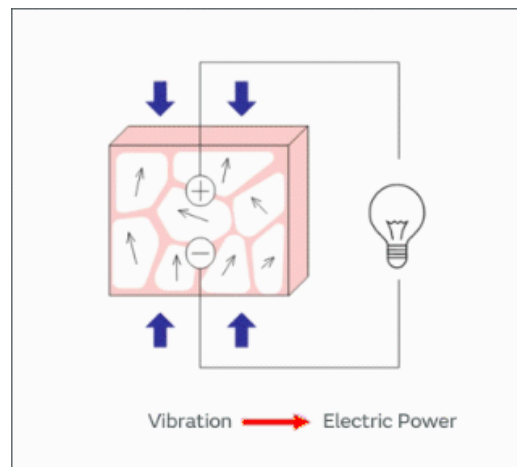
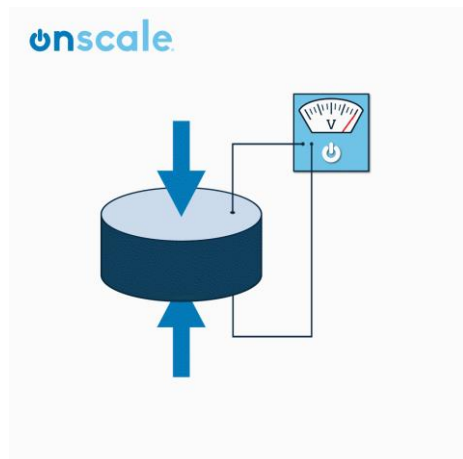
Piezelektrika



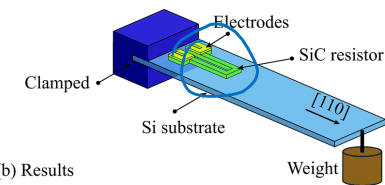
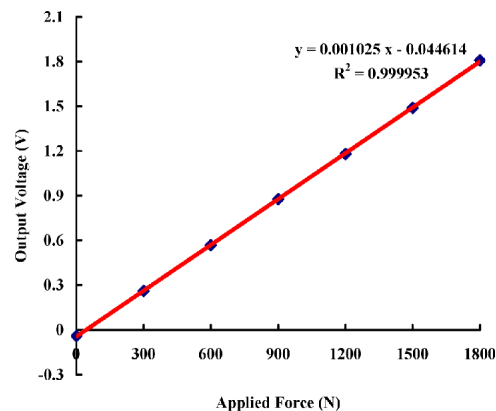
Piezoelektrika

Přímý piezoelektrický jev

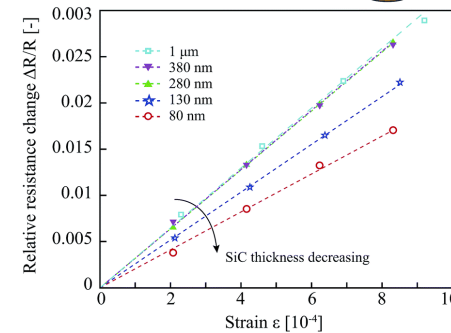
- polarizace látky vyvolána pružnou mechanickou deformací – **přímý piezoelektrický jev**
- lineární závislost mezi vznikajícím nábojem (napětím) a mechanickou deformací (působící silou)



<https://www.murata.com/en-sg/products/timingdevice/ceralock/basic/description>



(b) Results



- dochází ke snížení elektrické vodivosti materiálu vlivem deformace – **piezorezistivní jev**



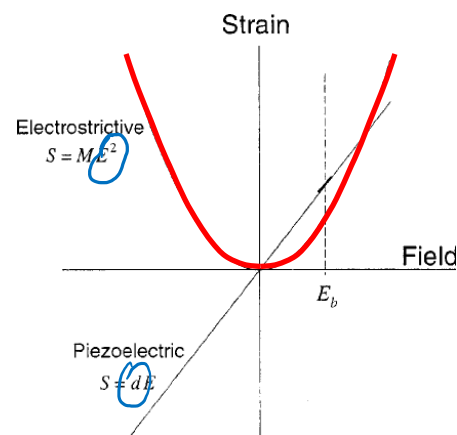
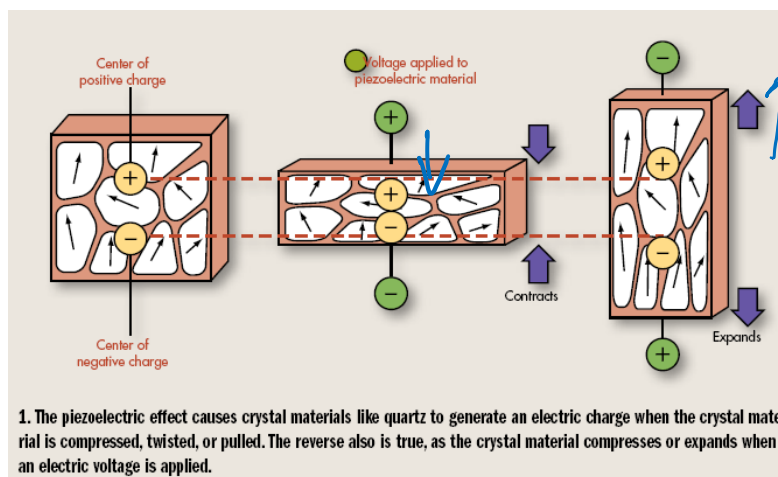
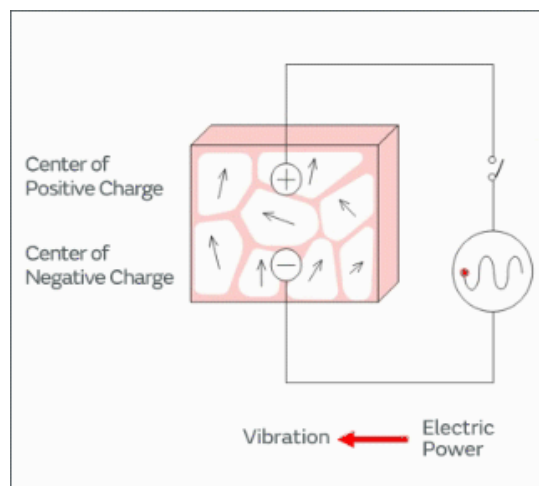
EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



Piezelektrika

Opačný piezoelektrický jev

- mechanická deformace krystalu vlivem vnějšího elektrického pole - **opačný piezoelektrický jev** (**elektrostriktce**)
- závislost mezi intenzitou elektrického pole a deformací je kvadratická



<https://www.murata.com/en-sg/products/timingdevice/ceralock/basic/description>



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MSMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Piezoelektrické materiály

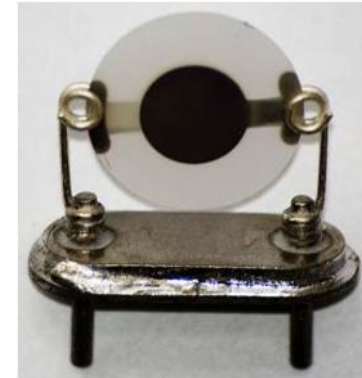
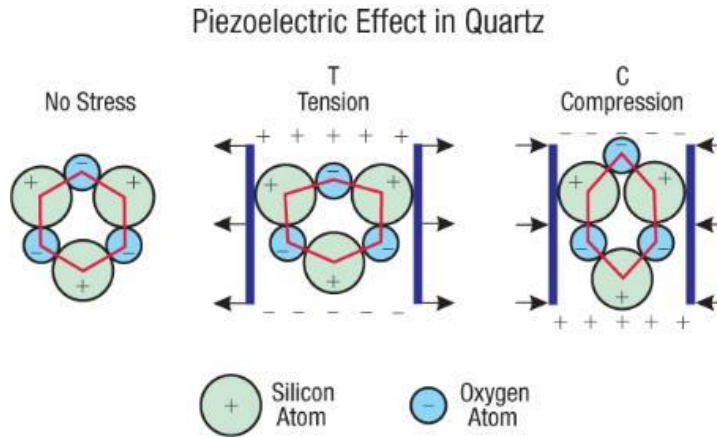
- piezoelektrický jev se může vyskytovat pouze u krystalických látek, v krystalových modifikacích které nemají střed symetrie
- v závislosti na struktuře rozlišujeme
 - ▶ **monokrystalické piezoelektrické látky**
 - ▶ **polykrystalické piezoelektrické látky** (piezoelektrické keramiky)
 - ▶ **organické polymerní materiály** (piezoelektrické polymery)



Piezoelektrické materiály

Monokrystalické materiály

- **křemen** (krystalický SiO_2)
- niobát litný (LiNbO_3)



- v tenkých vrstvách se používají některé polovodičové materiály
 - ▶ galium arsenid (GaAs)
 - ▶ galium fosfid (GaP)
 - ▶ sulfid zinečnatý (ZnS)
 - ▶ sulfid kademnatý (CdS)



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

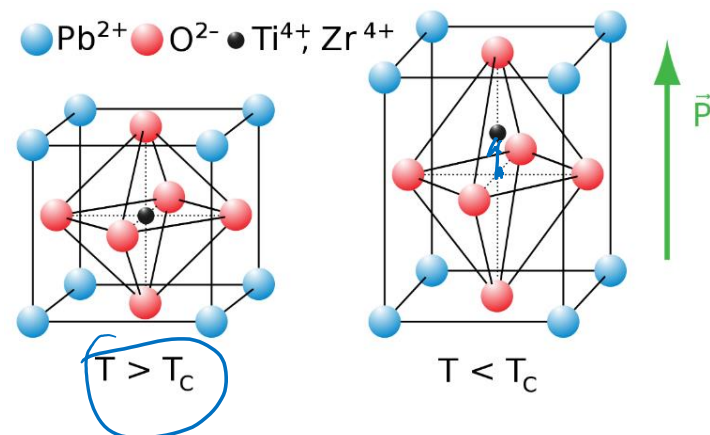


MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

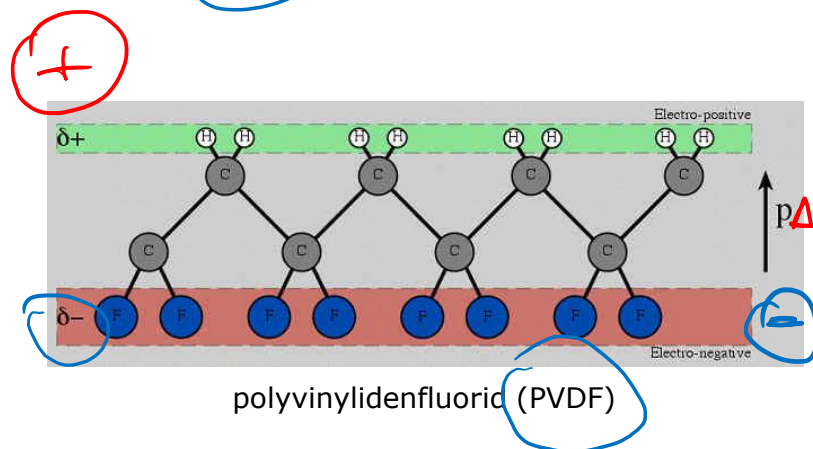
Piezoelektrika

Piezoelektrické keramiky

- keramické materiály s perovskitovou strukturou:
- barium titanát (titaničitan barnatý, BaTiO_3)
- olovnatý zirkonium titanát ($\text{Pb}(\text{Zr}_{1-x}\text{Ti}_x)\text{O}_3$) – tzv. **PTZ keramika**
- barnatý stroncium titanát ($\text{Ba}(\text{Sr}_{1-x}\text{Ti}_x)\text{O}_3$)

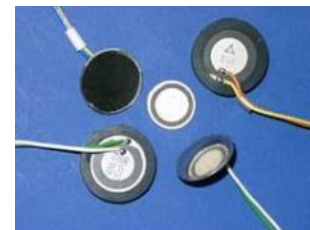
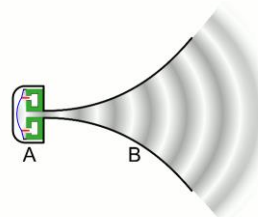
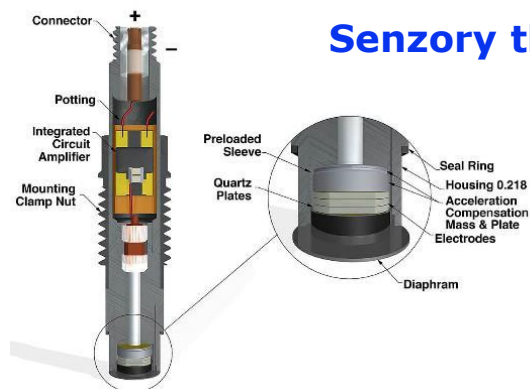


- některé typy polárních **polymerů** ve formě tenkých filmů/fólií
 - ▶ polyvinylidenfluorid (PVDF)
 - ▶ polyvinylchlorid (PVC)



Aplikace piezoelektrických materiálů

Senzory tlaku nebo síly

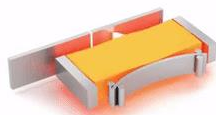
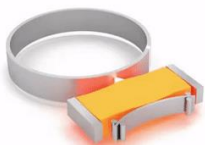


Akustické měniče (zvukové i ultrazvukové)

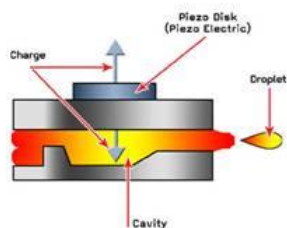
PI

Motory a aktuátory

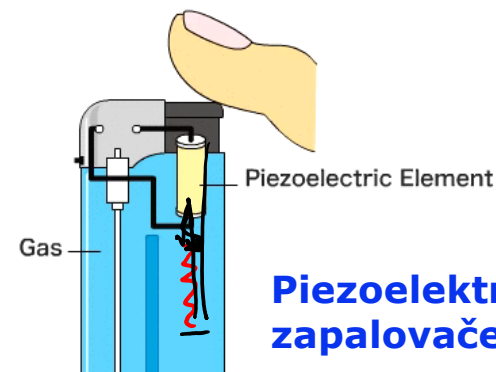
PI



Krystalové oscilátory (nejčastěji z SiO_2)



Inkoustové tiskárny



Piezoelektrické zapalovače

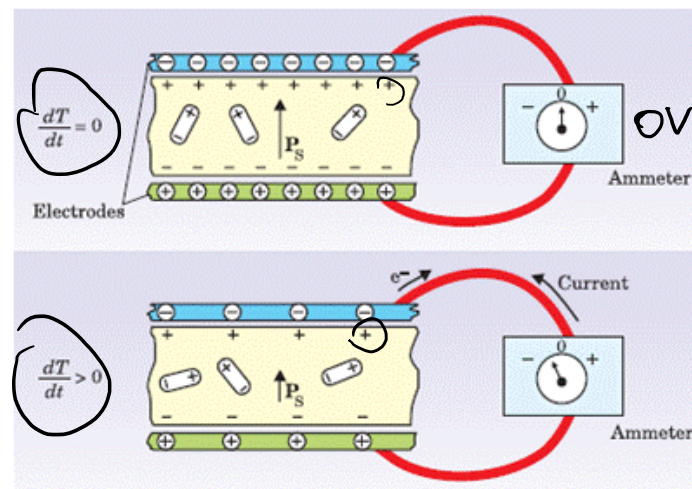
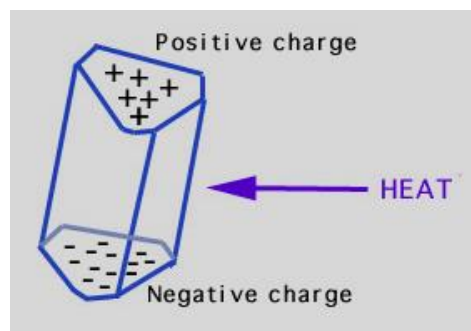
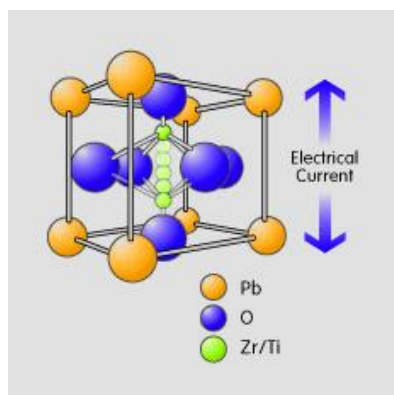
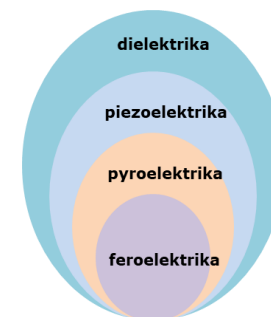


EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MSMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Pyroelektrika

- podskupina piezoelektrik se samovolnou polarizací, která se mění s teplotou (*pyros* = řec. *ohněň*)
- podmínkou je polárnost struktury krystalové mřížky
- **velikost dipólového momentu** přímo úměrná **změně teploty**

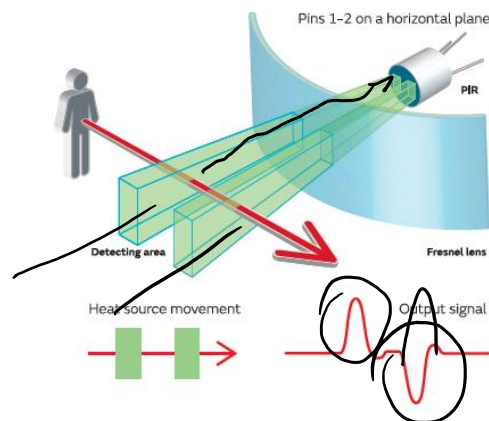
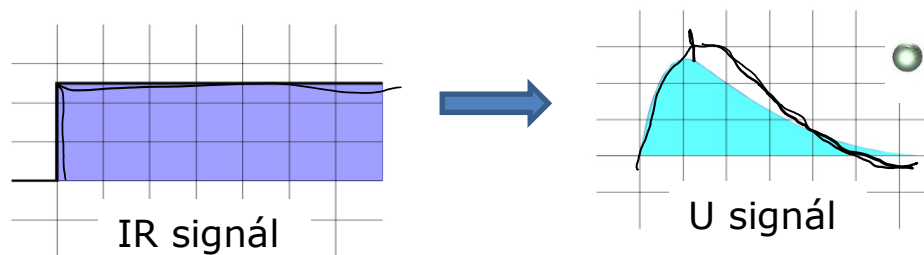
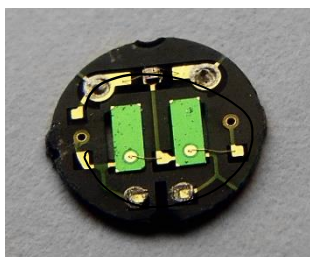
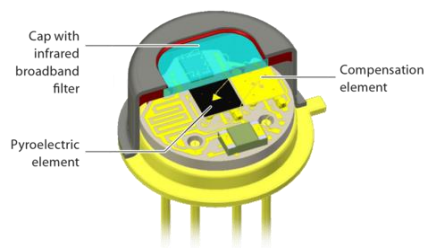
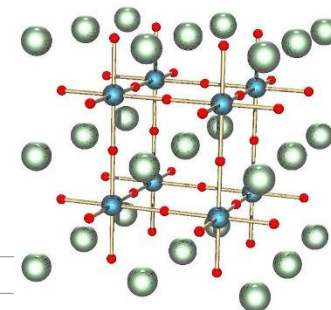


- ke změně náboje na krystalu dochází pouze při změně teploty
- při konstantní teplotě je náboj eliminován vlivem vnitřní vodivosti a okolními náboji



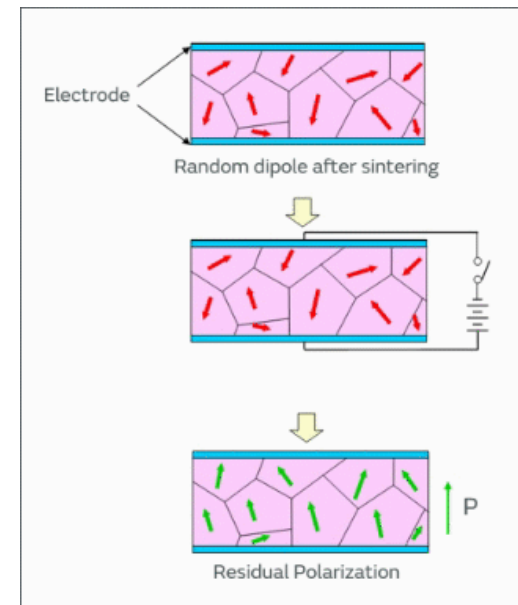
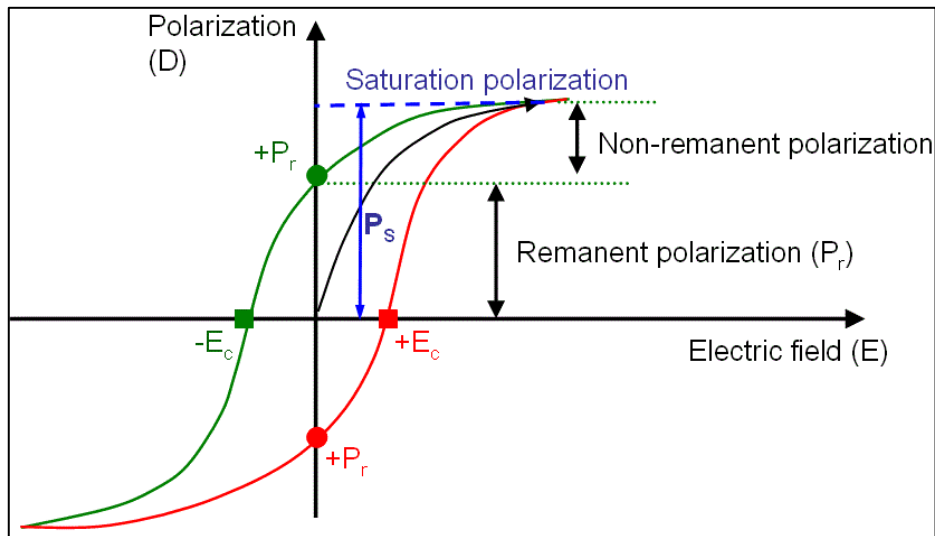
Pyroelektrika

- sloučeniny na bázi PbZrO_3 , BaTiO_3 , LiNbO_3 (perovskitová struktura)
- použití: teplotní čidla (IR záření), pohybové senzory



Feroelektrické materiály

- speciální případ pyroelektrických materiálů
- látky s polárními molekulami - v elektrickém poli se chovají obdobně jako feromagnetické látky v magnetickém poli (obdobná doménová struktura)
- polarizace závislá na intenzitě elektrického pole → **hysterezní smyčka**



<https://www.murata.com/en-sg/products/timingdevice/ceralock/basic/description>

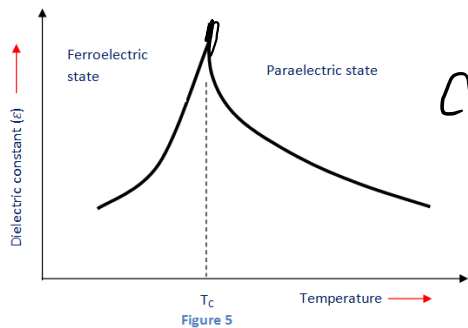


EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

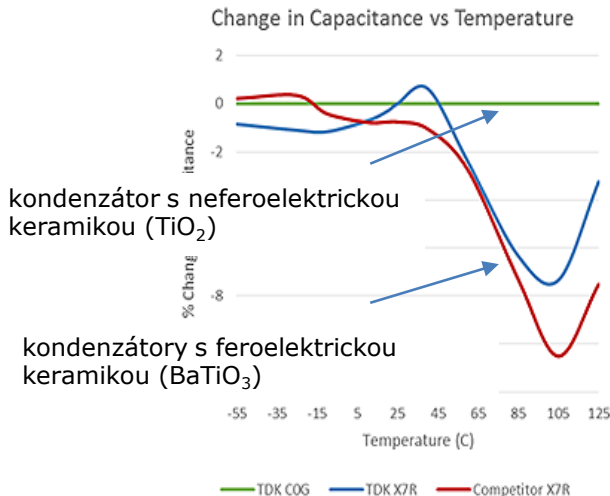
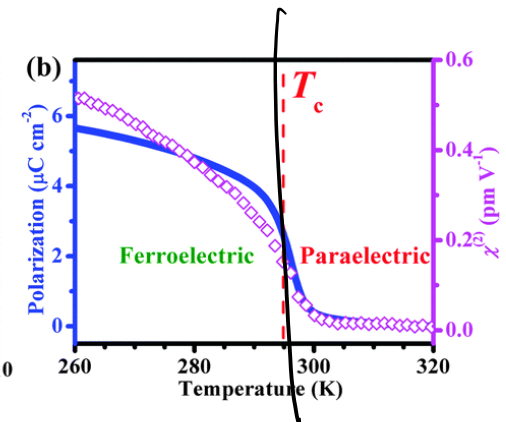
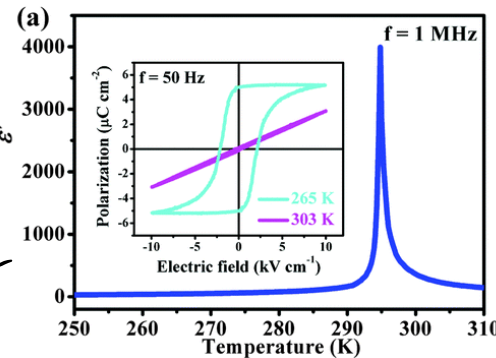
MS
MT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Feroelektrické materiály

- polarizace klesá s rostoucí teplotou (při Curieově teplotě zaniká – zánik domén)
- BaTiO₃** – kondenzátorová keramika



Handwritten note: 25°C with an arrow pointing to the peak in the dielectric constant graph.



kondenzátor s neferoelektrickou keramikou (TiO₂)

kondenzátory s feroelektrickou keramikou (BaTiO₃)

Material	Class	Dielectric constant	% Cap Change / Oper. temp. (°C)	Dissipation factor at 1kHz at RT
UP porcelain	I.	4.5-6.7	30ppm (-55..+125C)	0.05%
NPO	I.	15-100	<0.4% (-55...+125C)	0.10%
X5R	II.	1000 - 4000	± 15% (-55..+85C)	3.50%
X7R	II.	2000 - 4000	± 15% (-55..+125C)	3.50%
Y5V	II.	> 16 000	up to 82% (-30..+85C)	9%

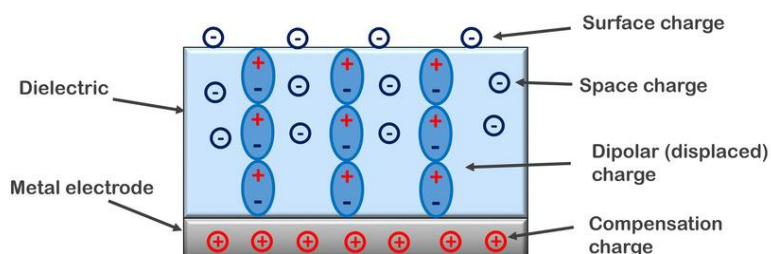


EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

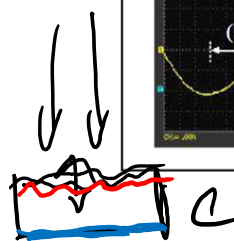
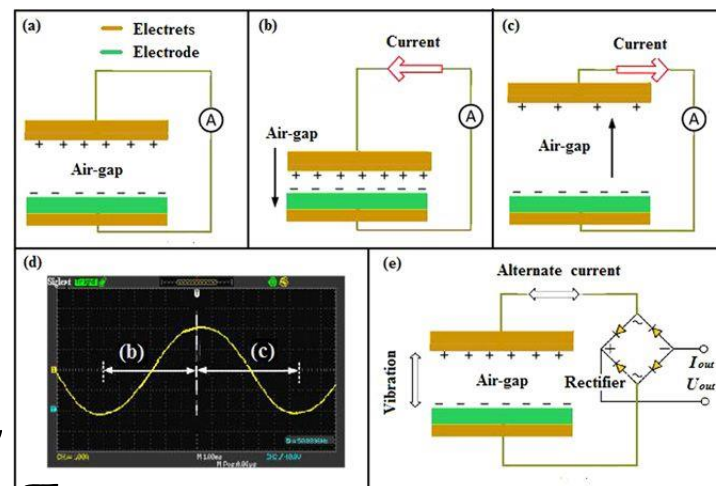


Elektrety

- dielektrické materiály obsahující permanentní dipóly
- elektrostatický ekvivalent permanentního magnetu
- polarizace způsobena vhodně uspořádanými dipóly, ionty nebo elektricky aktivními mikroskopickými částicemi



- křemen, feroelektrické materiály, některé typy polymerů (PP, PTFE, fluoroplasty)
- použití: elektretové mikrofony, kopírky, filtrační materiály (elektrostatický filtr)



Kapalné krystaly



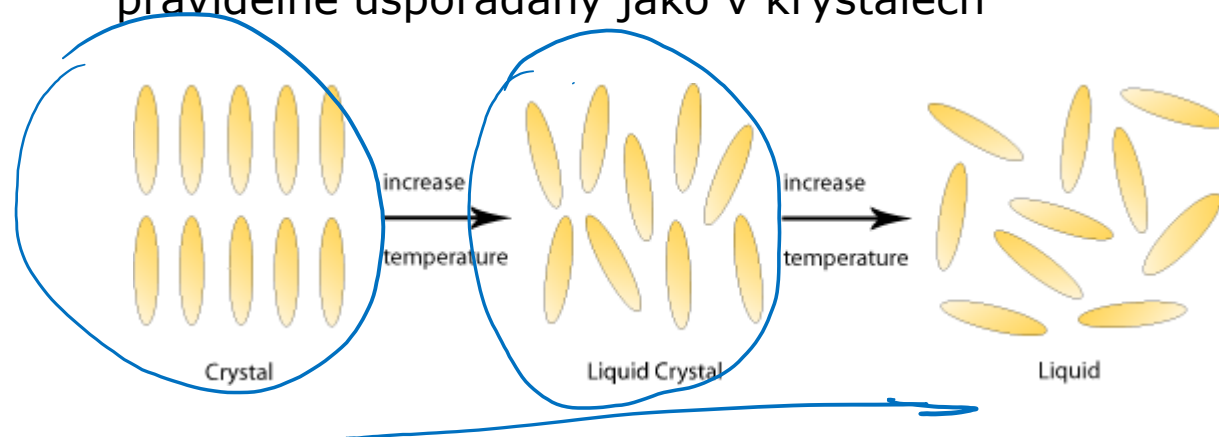
EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



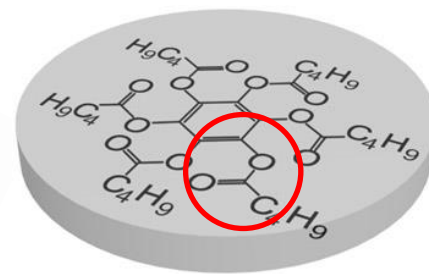
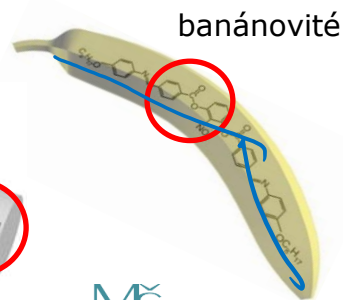
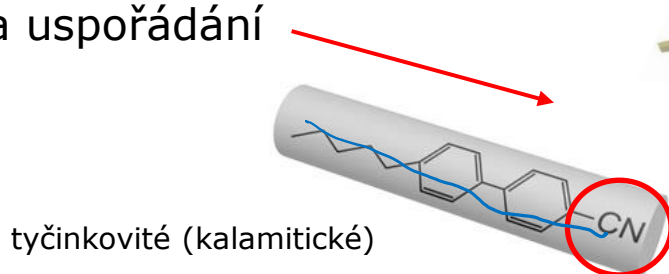
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Kapalné krystaly

- organické krystalické polární látky
- při přechodu mezi pevným krystalickým stavem a kapalinou je přítomen tzv. **parakrystalický stav (mezofáze)** – chovají se jako kapaliny, ale molekuly pravidelně uspořádány jako v krystalech

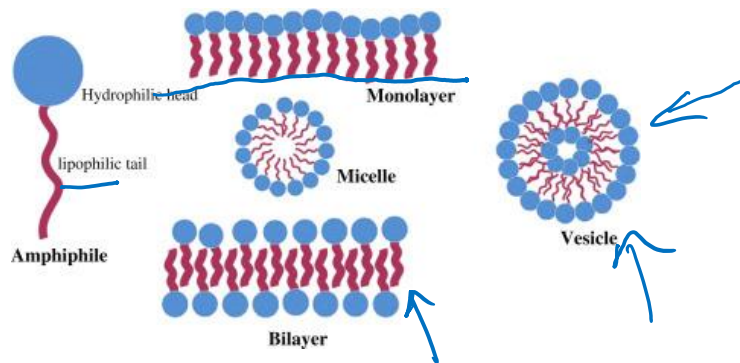


- molekuly silně polární → velké dipólové momenty → vliv na optické vlastnosti
- různé tvary a uspořádání

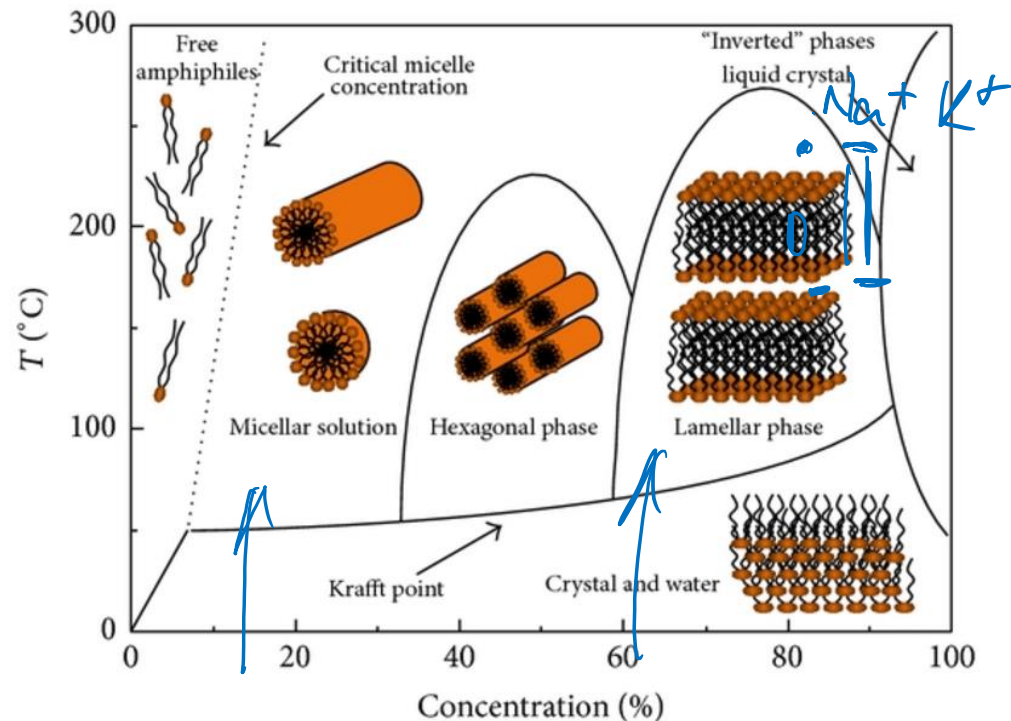
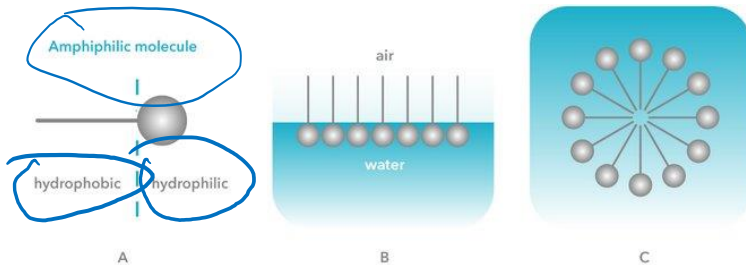


Lyotropní kapalné krystaly

- z hlediska přechodu do mezofáze dva základní typy kapalných krystalů
 - lyotropní** – přechod do mezofáze podmíněn změnou koncentrace (ředěním)

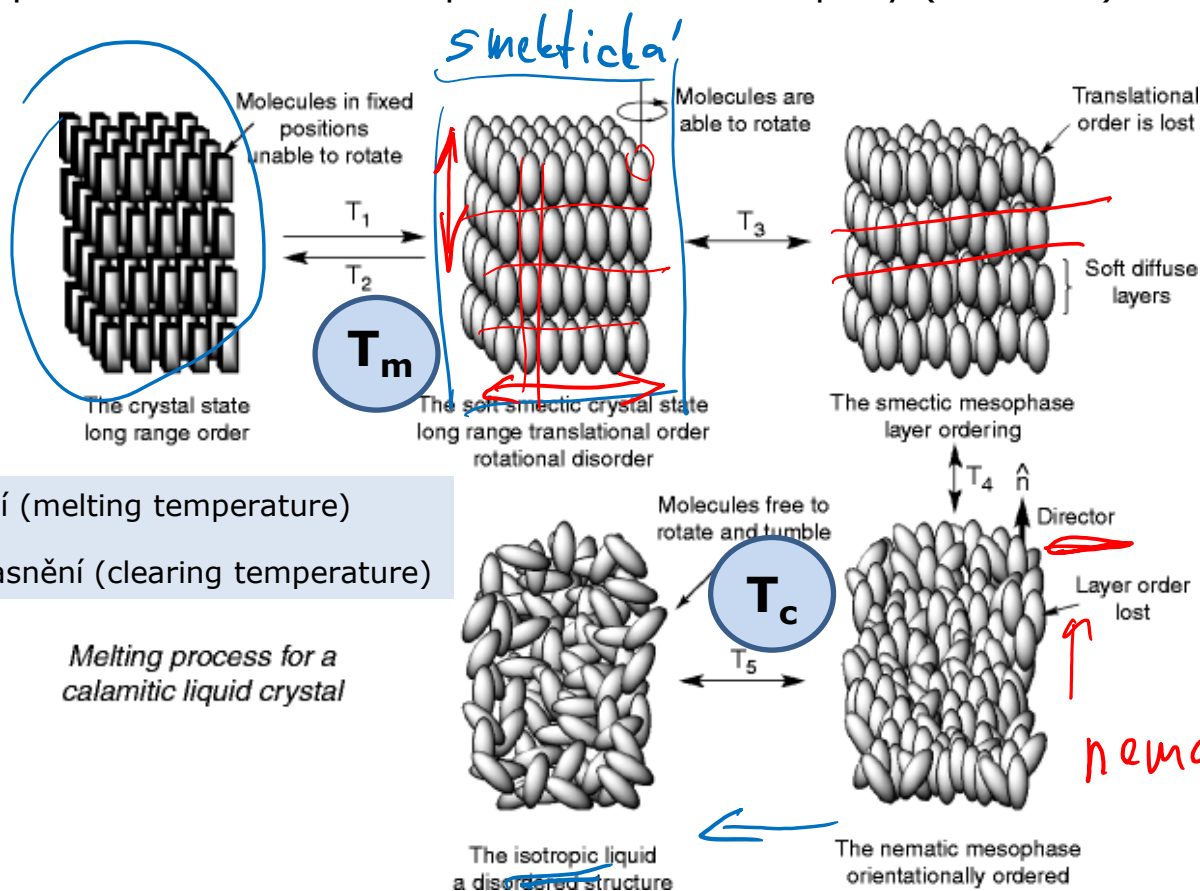


amfifilní molekuly – obsahují hydrofilní a hydrofobní část



Termotropní kapalně krystaly

- z hlediska přechodu do mezofáze dva základní typy kapalných krystalů
 - termotropní** – přechod do mezofáze způsoben změnou teploty (ohřevem)



T_m – teplota tání (melting temperature)

T_c – teplota vyjasnění (clearing temperature)

Melting process for a calamitic liquid crystal



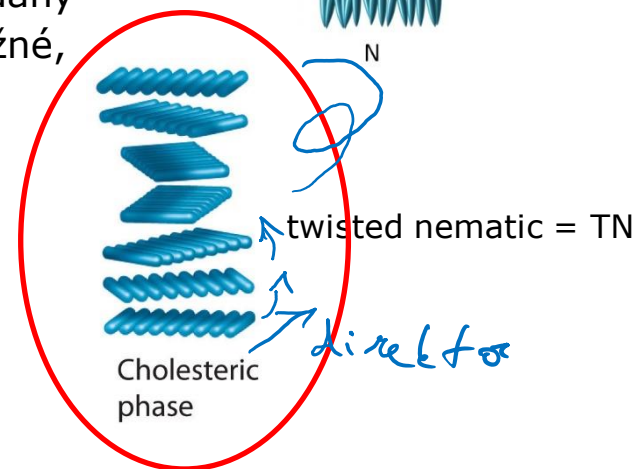
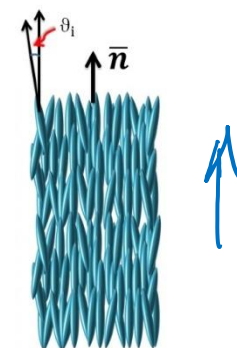
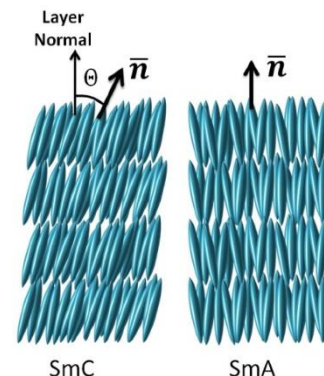
EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MS
MT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Termotropní kapalné krystaly

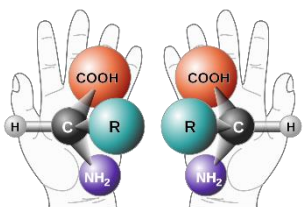
- v mezofázi mohou mít kapalné krystaly různé uspořádání

- **smektické** - podlouhlé molekuly jsou uspořádány tak, že jejich osy jsou navzájem rovnoběžné a jsou uspořádané po vrstvách
- **nematické** - molekuly jsou uspořádány tak, že jejich osy jsou navzájem rovnoběžné, ale nejsou uspořádány ve vrstvách



TN IPS VA MVA

- **cholesterické (chirální nematika)** - molekuly jsou uspořádány ve vrstvách, v nichž jsou osy molekul navzájem rovnoběžné, ale v každé vrstvě je směr os molekul oproti předchozí vrstvě pootočen



Jako **chirální** se označuje takový objekt, který není totožný se svým zrcadlovým obrazem, nemá střed ani rovinnou symetrii, avšak může mít rotační osu symetrie.

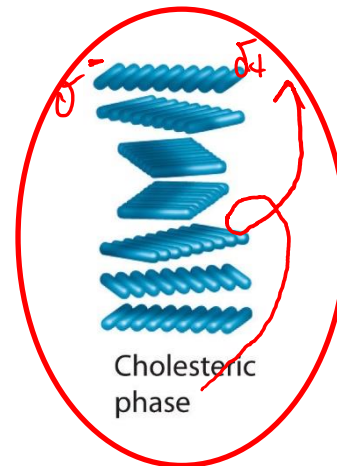


EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

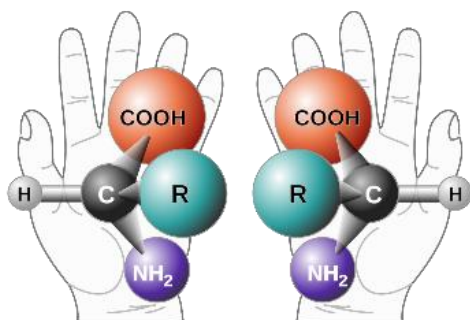
MSMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Termotropní kapalné krystaly

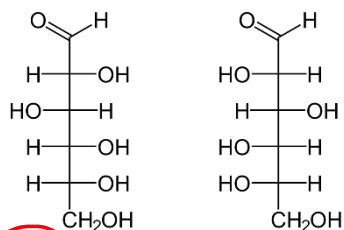
- v mezofázi mohou mít kapalné krystaly různé uspořádání
 - cholesterické (chirální nematika) - molekuly jsou uspořádány ve vrstvách, v nichž jsou osy molekul navzájem rovnoběžné, ale v každé vrstvě je směr os molekul oproti předchozí vrstvě pootočen



twisted nematic = TN

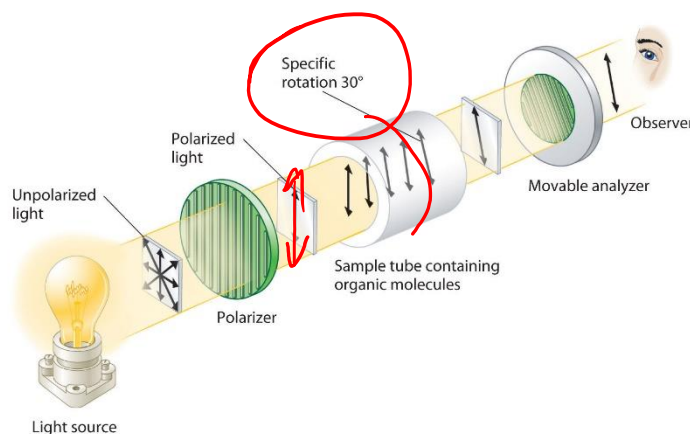


Jako **chirální** se označuje takový objekt, který není totožný se svým zrcadlovým obrazem, nemá střed ani rovinu symetrie, avšak může mít rotační osu symetrie.



D-Glucose

L-Glucose

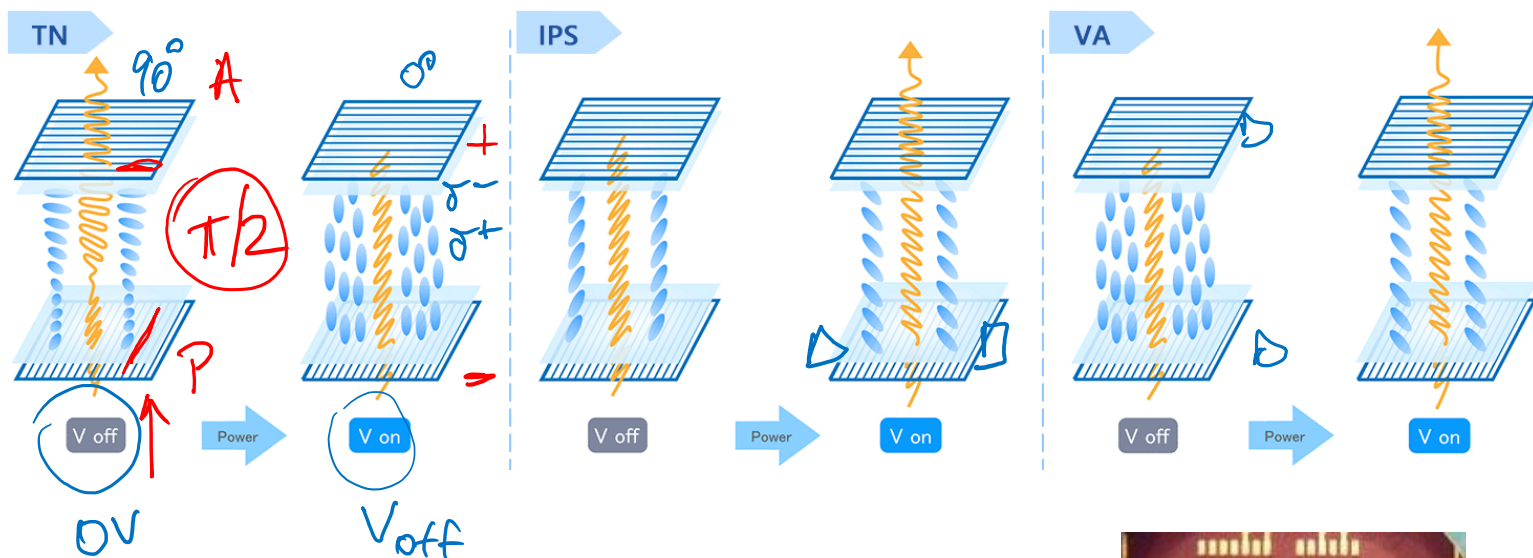


EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

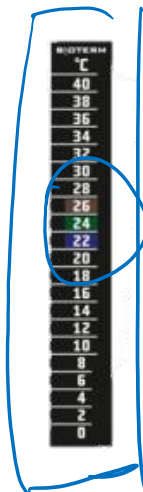
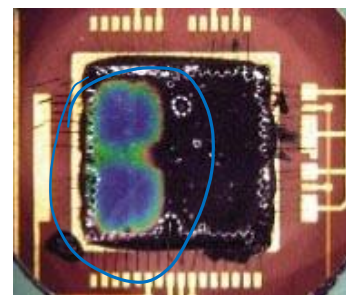
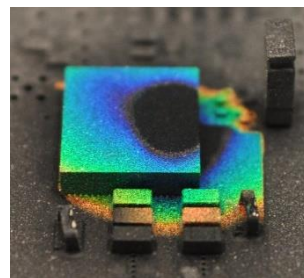
MSMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Aplikace kapalných krystalů

- zobrazovací technika – různé typy displejů (LCD)



- defektoskopie, mapování elektrických polí, barevné indikátory teploty

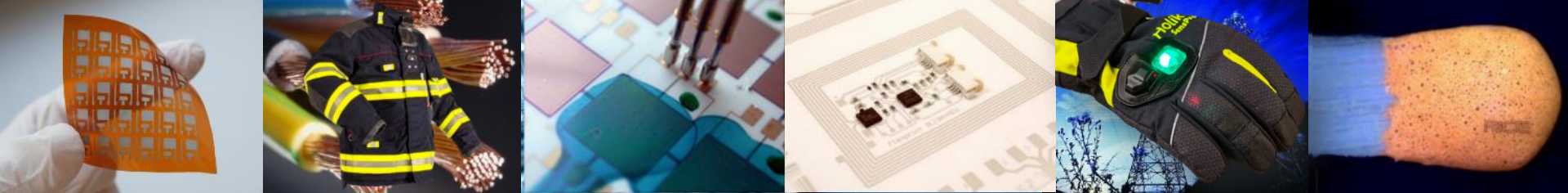


95	96.8	98.6	100.4	102.8	104
35	36	37	38	39	40



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MS
MT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



Západočeská univerzita v Plzni

Katedra technologií a měření

Děkuji za pozornost



**FAKULTA
ELEKTROTECHNICKÁ
ZÁPADOČESKÉ
UNIVERZITY
V PLZNI**



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY