

Charakterizace mechanických vlastností materiálu

Instrumentovaná indentace

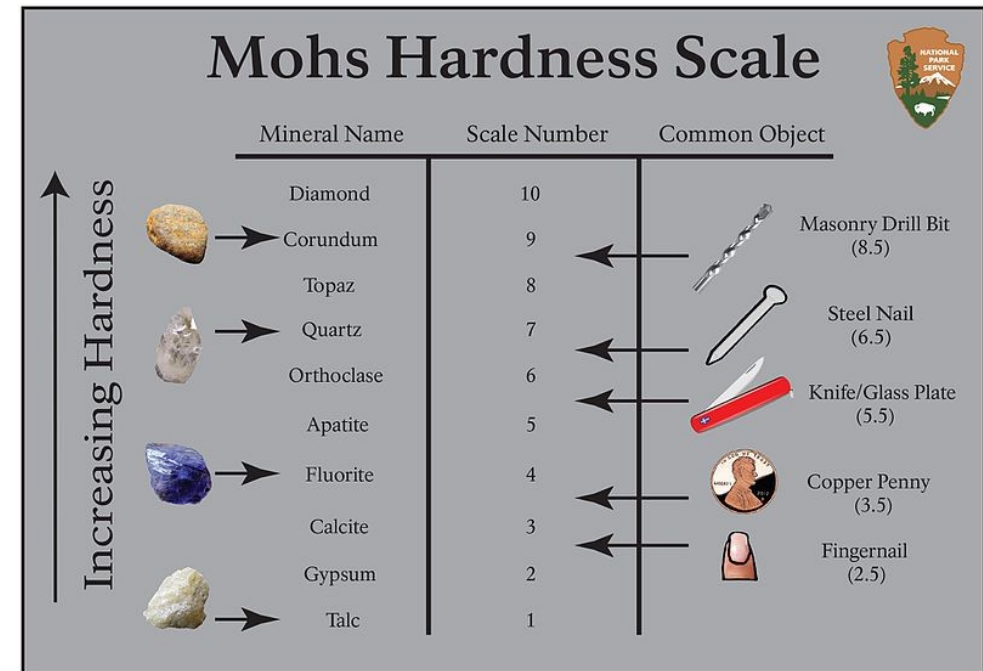
Instrumented indentation

Úvod

- Jaké mechanické vlastnosti nás nejvíce zajímavé v nanotechnologii?
 - Tvrdost
 - Youngův modul
 - Lomová houževnatost

Tvrđost

- Nejdříve definována v Mohsově škále – tvrdší materiál udělá vryp do měkčího materiálu
- Později definována jako odolnost materiálu vůči plastické deformaci



Mohs Hardness Scale

↑ Increasing Hardness

Mineral Name	Scale Number	Common Object
Diamond	10	
Corundum	9	Masonry Drill Bit (8.5)
Topaz	8	
Quartz	7	Steel Nail (6.5)
Orthoclase	6	
Apatite	5	Knife/Glass Plate (5.5)
Fluorite	4	
Calcite	3	Copper Penny (3.5)
Gypsum	2	
Talc	1	Fingernail (2.5)

NATIONAL PARK SERVICE

<https://www.nps.gov>

Youngův modul

- Míra schopnosti materiálu odolat změnám své délky při podélném tlaku nebo tahu

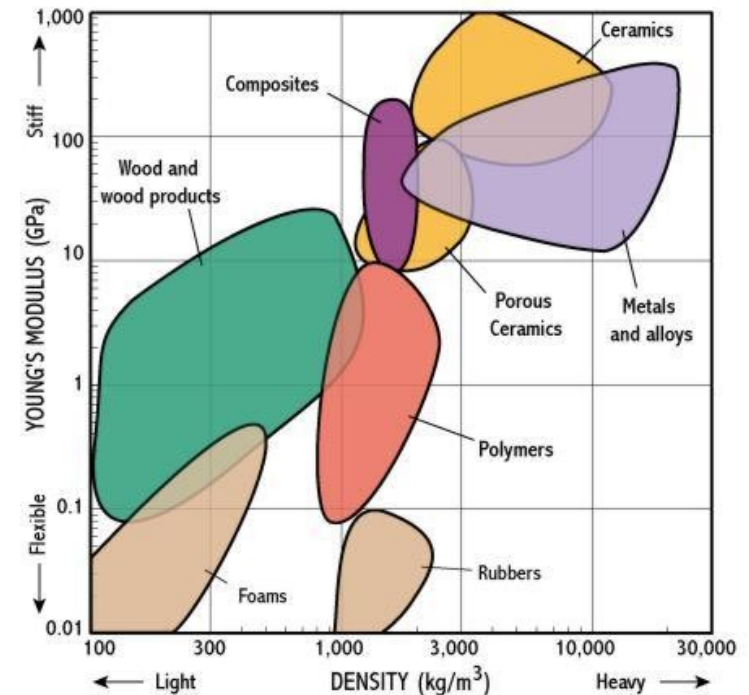
$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

σ – síla na jednotku plochy

E – Youngův modul

ε – relativní prodloužení

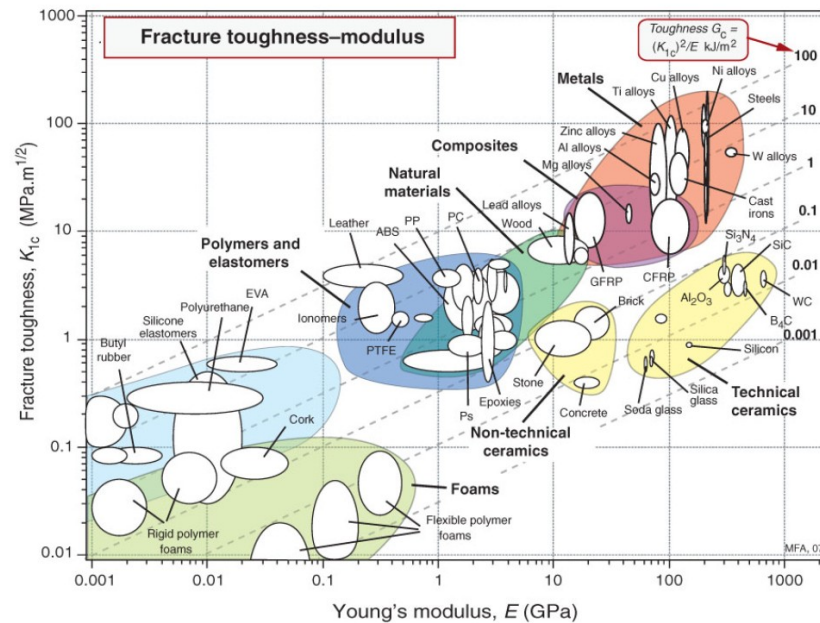
(Youngův modul má jednotku tlaku)



<http://www-materials.eng.cam.ac.uk>

Lomová houževnatost

- Tlak, při kterém v materiálu vznikne křehká trhлина



<https://ocw.tudelft.nl>



<https://ocw.tudelft.nl>

Video

Probing the mechanical properties of materials at small scales with nanoindentation (George Pharr)

<https://www.youtube.com/watch?v=6YLTiR3E5JM>

Indentace

- Spočívá ve vtlačování indentoru definovaného tvaru a se známými mechanickými vlastnostmi do měřeného materiálu
- Tvrdost je definována jako

$$H = \frac{L}{A},$$

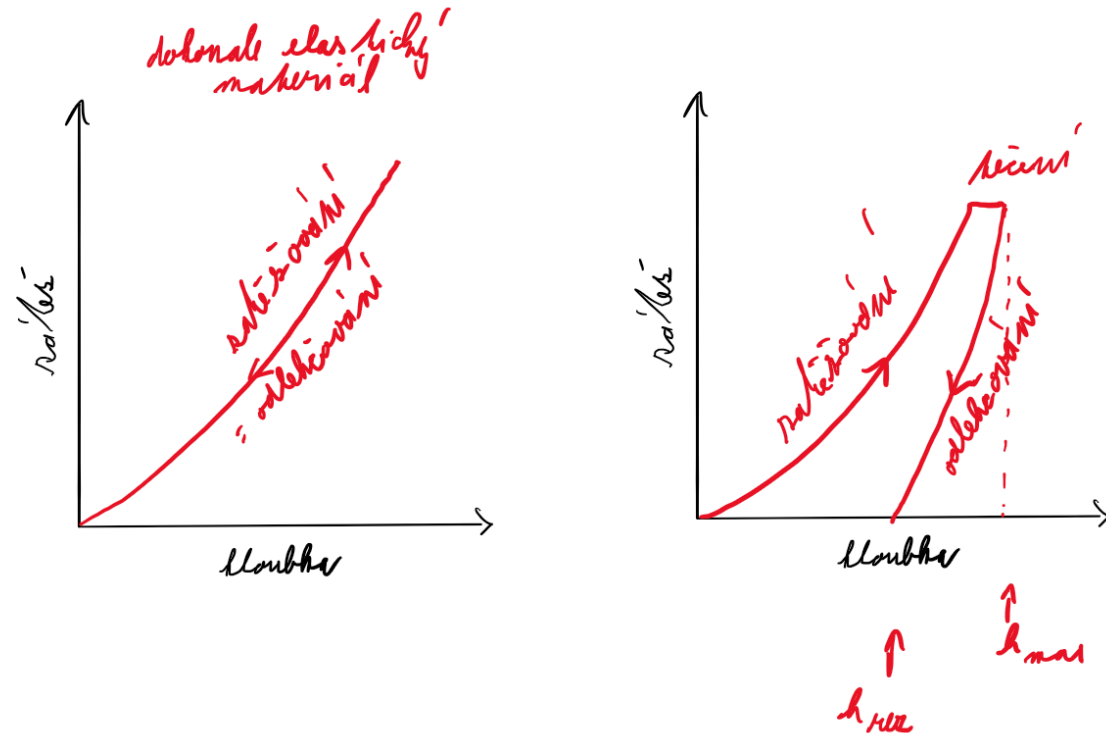
kde H je tvrdost, L je aplikovaná zátěž a A je plocha vtisku

Praktické problémy s touto definicí?

- Závisí na tvaru indentoru
 - Brinellova tvrdost, Knoopova tvrdost, Vickersova tvrdost,...
- Tenké povlaky
 - Velikost reziduálních vtisků je ve stovkách nebo i desítkách nanometrů. Je problém vtisky na vzorku najít, natož rozumně změřit jejich plochu.

Řešení těchto problémů

- Neměřit plochu vtisku přímo, ale sledovat hloubku vniku a ze znalosti tvaru indentoru plochu dopočítat (depth sensing indentation).
- Sledujeme tedy zátěžovou křivku (load displacement curve)



Výsledek

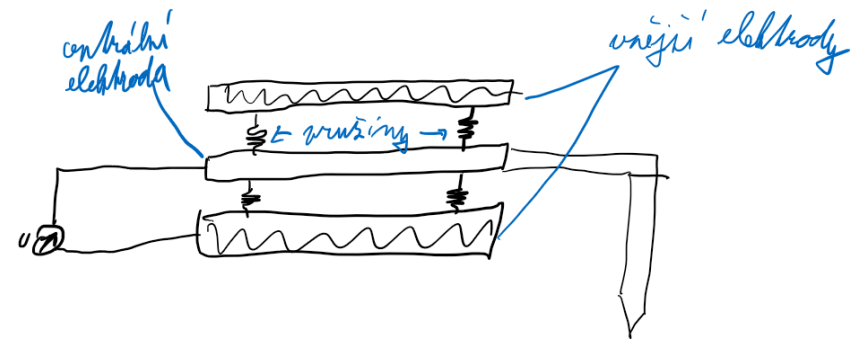
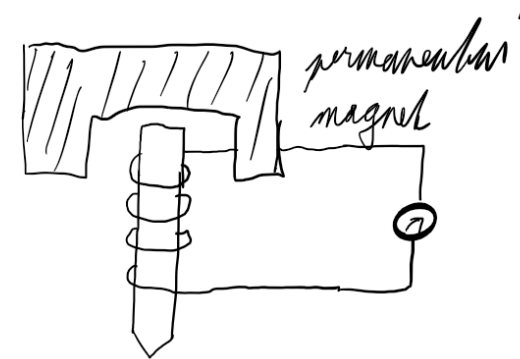
- Z odlehčovací části získáme tvrdost pomocí modelů, který spojuje hloubku vniku, plochu a tvrdost (Oliver a Pharr).
- Ze směrnice odlehčovací části získáme elastický modul.
- Ze skoků na zatěžovací části získáme informace o vzniku trhlin

Technika

- Co potřebujeme?
 - Mechanismus pohybu hrotu/čtení polohy hrotu
 - Hrot

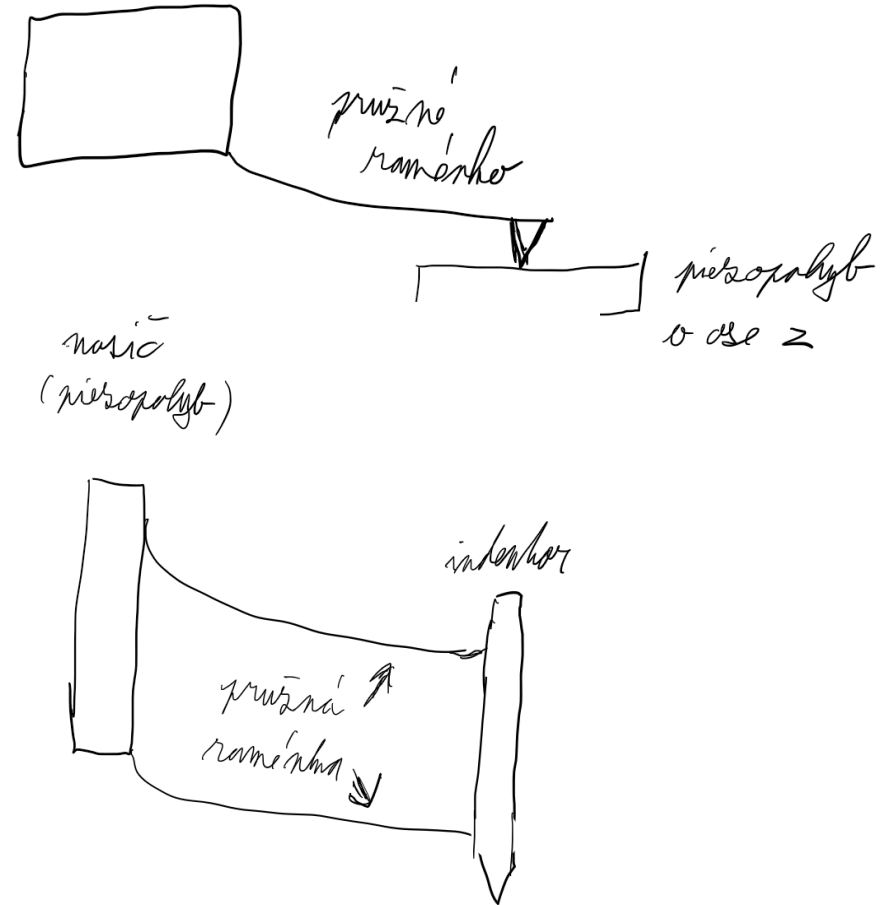
Mechanismus pohybu I

- Elektromagneticky
 - Dlouhá dráha, široký rozsah zátěží
 - Velké, těžké
- Elektrostaticky
 - Malé, dobrá teplotní stabilita
 - Omezený rozsah zátěže < 1 mN a pohybu \sim stovky nm



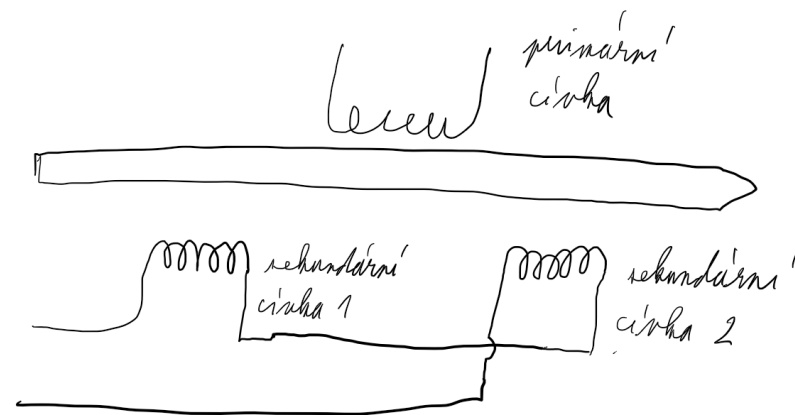
Mechanismus pohybu II

- Pružný systém
 - Podobné AFM
- Piezoelektricky
 - Hrot na pružných raménkách je posouván piezopohybem
 - Silové rozlišení až v pN



Mechanismus čtení dráhy

- Diferenciální kondenzátor (elektrostatický pohyb)
- Opticky (pružný systém jako v AFM)
- Laserová interferometrie
- Lineární transducer
 - Založen na změně transformátoru



Omezení vzorků

- Pevný vzorek – bulk nebo vrstva
- Substrát by neměl ovlivňovat měření vrstev – měří se do ~ 10% tloušťky vrstvy
- Vliv tepelného driftu, drsnosti a adheze