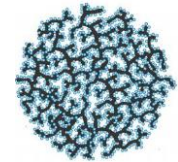
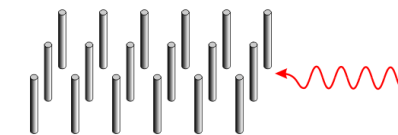
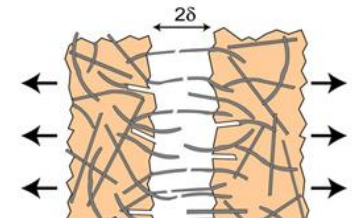


Moderní materiály III

Nanokompozity jako materiály pro:



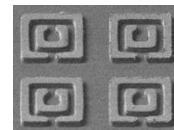
- baterie s vyšším výstupním výkonem: Např. křemíko-uhlíkový kompozit pro elektrody
- urychlení hojení zlomenin: Uhlíkové nanotrubky v PPF (poly(propylen fumarát)) jako „lešení“ pro tvorbu nové kostní tkáně.
- zviditelnění nádorů pro snazší detekci a odstranění: Magnetické a fluorescenční nanokompozitní částice zvyšují kontrast v MR a mění barvu při speciálním osvětlení.
- komponenty s vysokým poměrem pevnost/hmotnost: uhlíkové nanotrubky v epoxidu či polymerní matrici.
- antibakteriální povrchy
- biodegradabilní obaly
- metamateriály: (záporná permitivita, permeabilita, index lomu)



záporná permitivita



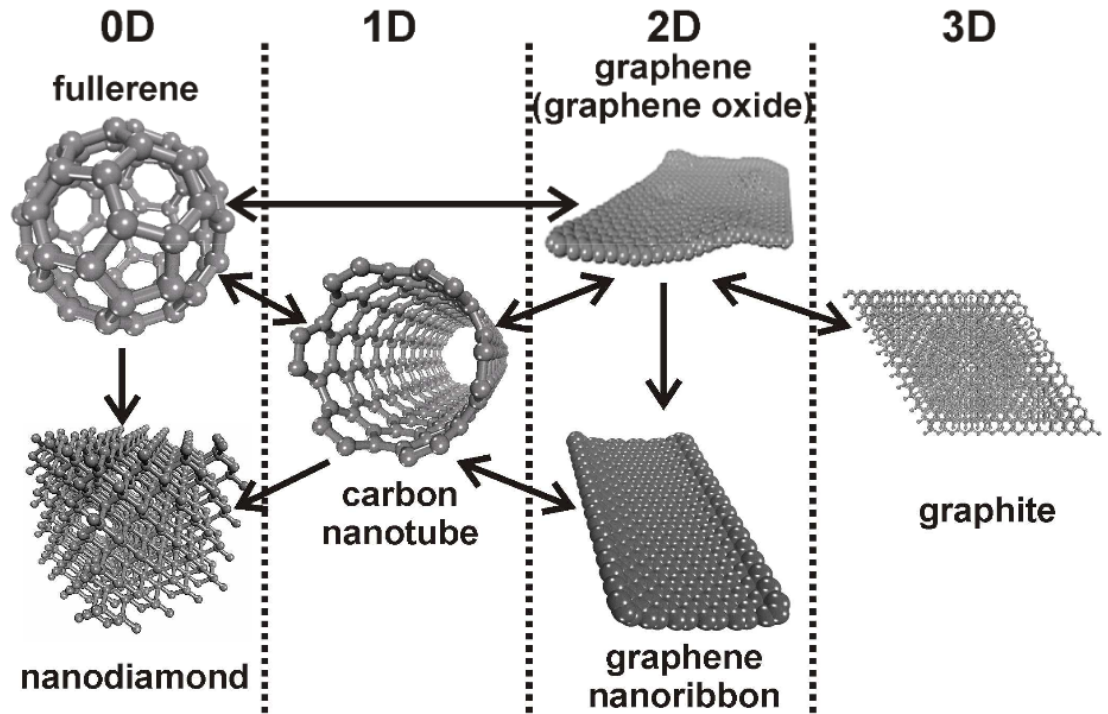
štěbinové rezonátory (záporná permeabilita)



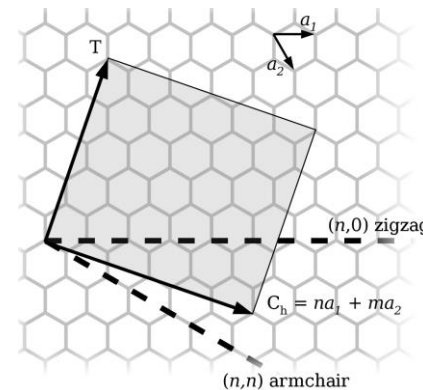
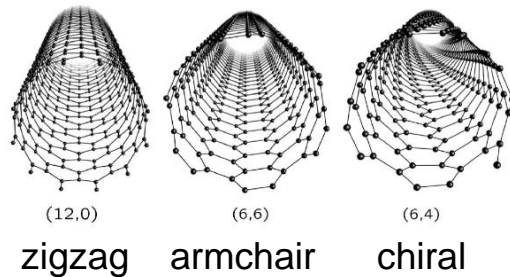
LH materiál (záporný index lomu)

Uhlíkové nanostruktury

Fotoluminiscence uhlíkových kvantových teček
 bílé světlo, UV světlo



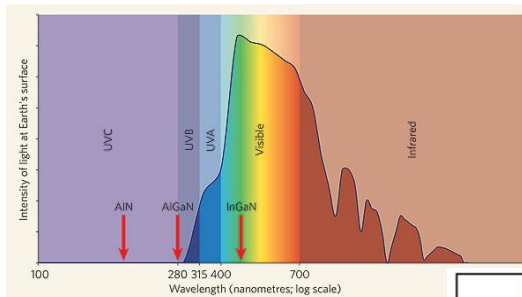
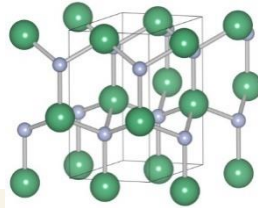
Enormní pevnost
 $E \sim 1,2$ TPa
 $\sigma_{\max} \sim 100$ GPa
 Elektrické vlastnosti
 závislé na struktuře
 a rozměrech



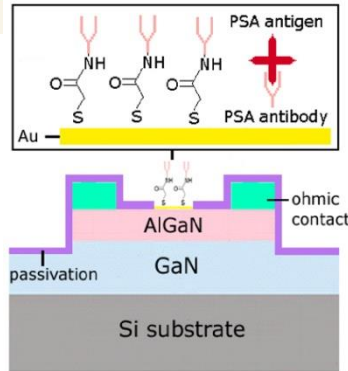
Nitridové multivrstvy

III-V nitridy, např. $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$

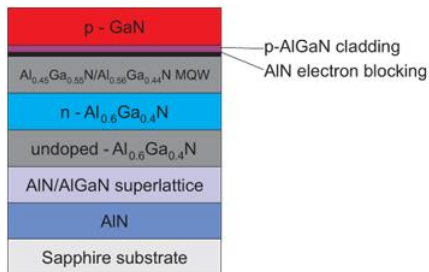
- optoelektronika
- senzory



http://www.nature.com/nature/journal/v441/n7091/fig_tab/441299a_F1.html



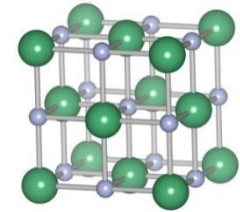
<http://spie.org/x31865.xml>



http://www.semiconductor-today.com/news_items/2010/MARCH/NICHIA_310310.htm

Nitridy tranzitivních kovů

- ochranné povlaky pro řezné nástroje
- vysoká tvrdost (pro TiN $H \approx 34 \text{ GPa}$)



<http://www.ijs.si/ctp/vrste%20prevlekA.html-12>
<http://www.sandvik.com>



Vývojové strategie:

slévání, dopování

TiN+0,66 Al
 $H \approx 37 \text{ GPa}$

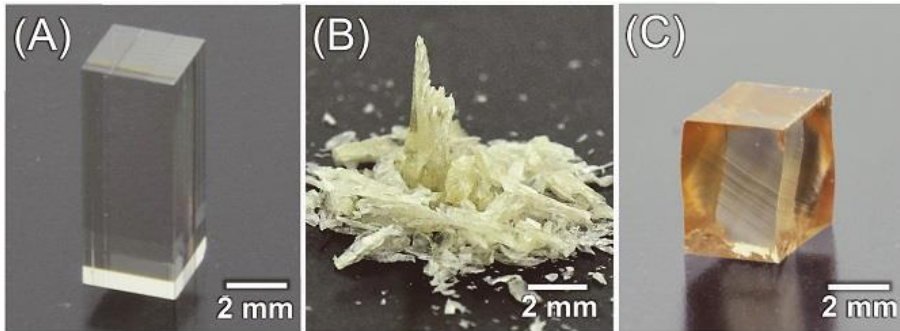
multivrstvy

TiN/VN s periodou 5,2nm
 $H \approx 55 \text{ GPa}$



Materiály s překvapivými vlastnostmi

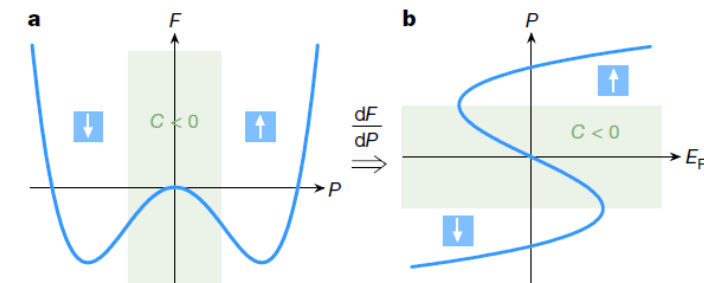
ZnS: plasticita za tmy, křehkost na světle (Oshima et al., Science 360 (2018), 772)



<https://physicsworld.com/a/inorganic-semiconductors-can-be-more-flexible-in-the-dark/>

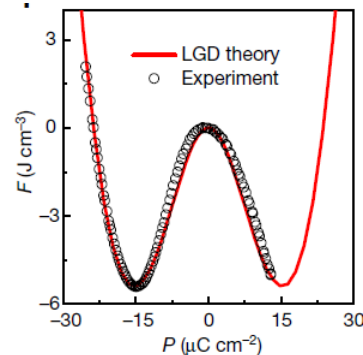
Ferroelektrika (kondenzátory se zápornou kapacitou?)

- feroelektrické materiály objeveny cca před stoletím
- možné využití v nanoelektronice

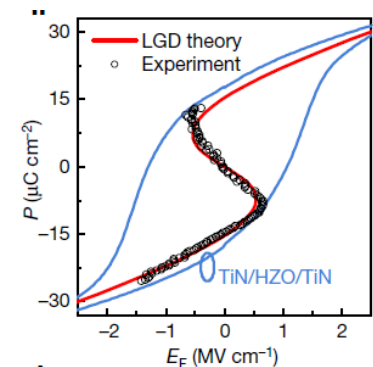
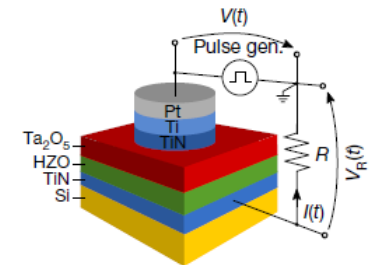


Teorie Landau–Ginzburg–Devonshire

$\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ (HZO)



Experiment Hoffmann, Nature 565 (2019) 464.



Inteligentní materiály (smart materials)

těž responzivní materiály: mění své vlastnosti v reakci na změny ve svém okolí (bez nutnosti externího řídicího systému).

Velmi obecně pojato např.:

- **chromogenické** (mění optické vlastnosti v reakci na světelné, tepelné, či elektrické podněty)
- **fotochemické** (mění tvar při dopadu světla – A.G.Bell 1880)
- **s tvarovou pamětí** – po stimulu (zahřátí, mag. pole) se navracejí do původního tvaru
- **piezoelektrické** - senzory, aktuátory (tiskové hlavy, mikrofony,)
- **magnetostriktivní** – mění tvar či rozměry působením mag. pole
- **samoregenerační** (polymery, beton, ochranné vrstvy, ..)

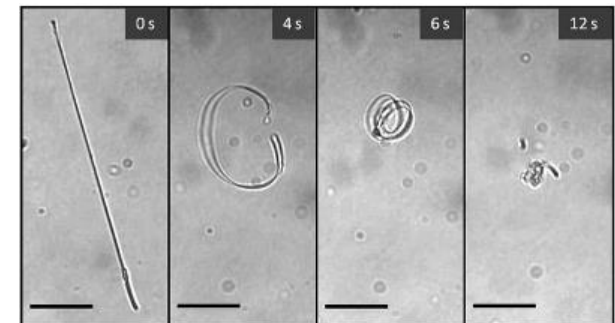
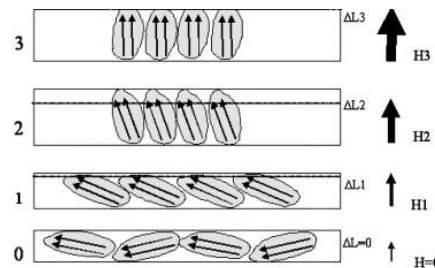
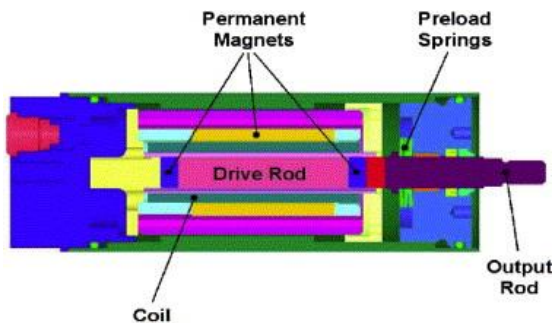
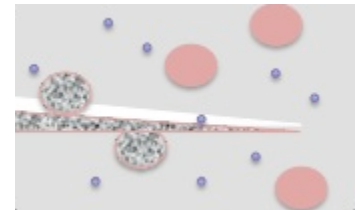


Figure 14. Snapshots showing coiling of a nanowire composed of (E)-DMAAM after 1 s of light exposure at time 0 s. Scale bars: 10 μm . Reprinted with permission from reference [74].

Slitiny s tvarovou pamětí (shape memory alloys -SMA)

Tvarová paměť - historie

- pseudoelastická 1932 (Ölander)
- Mosaz (CuZn) 1938
- AuCd 1951
- Bez využití do 1962.
- NiTi 1963 (Buehler et al.)
- a dále: NiAl, InTi, CuSn, CuZnAl, CuAlNi, NiMnGa, FePd, ...

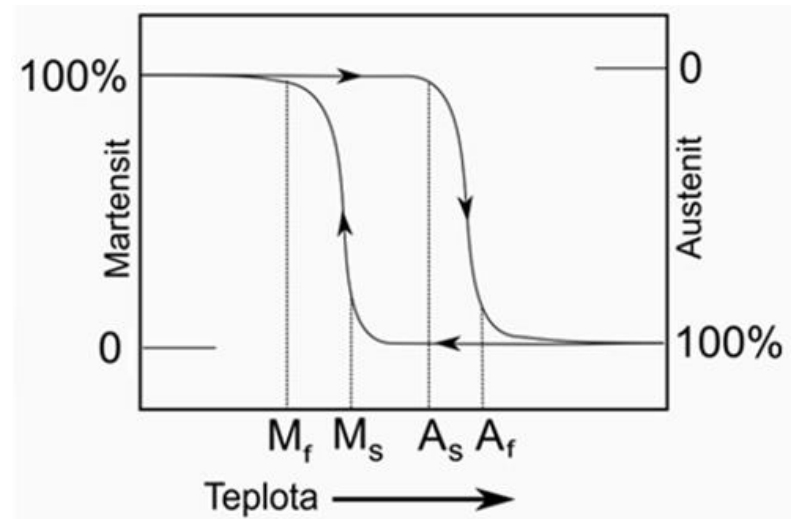
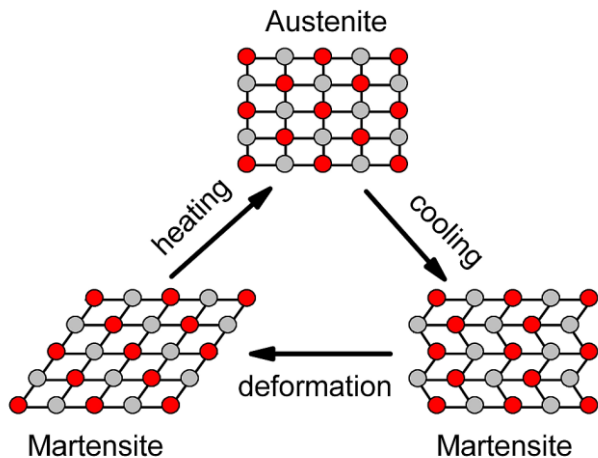


Slitiny s tvarovou pamětí (shape memory alloys -SMA)

Tvarová paměť - historie

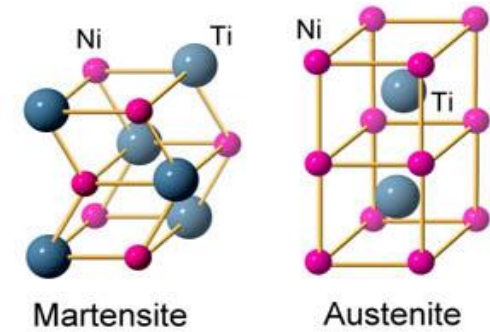
- pseudoelastická 1932 (Ölander)
- Mosaz (CuZn) 1938
- AuCd 1951
- Bez využití do 1962.
- NiTi 1963 (Buehler et al.)
- a dále: NiAl, InTi, CuSn, CuZnAl, CuAlNi, NiMnGa, FePd, ...

Princip: martenzitická transformace



Nitinol – materiál s tvarovou pamětí

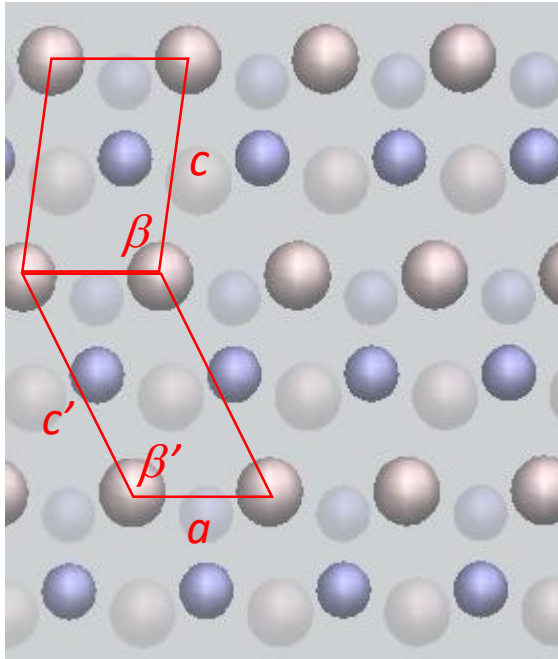
Ni Ti Naval Ordnance Laboratory



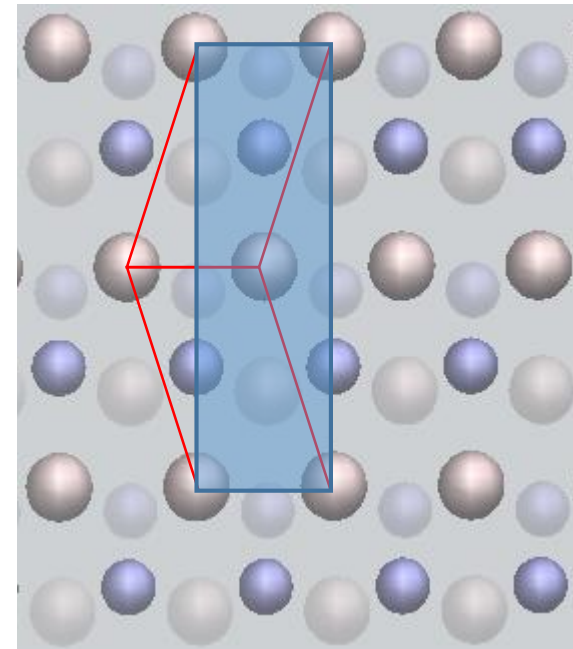
Experimental

Theoretical

B19'
 $a = 2.89 \text{ \AA}$;
 $b = 4.11 \text{ \AA}$;
 $c = 4.65 \text{ \AA}$;
 $\beta = 97.8^\circ$



BCO
 $a = 2.93 \text{ \AA}$;
 $b = 4.01 \text{ \AA}$;
 $c = 4.93 \text{ \AA}$;
 $\beta = 107^\circ$

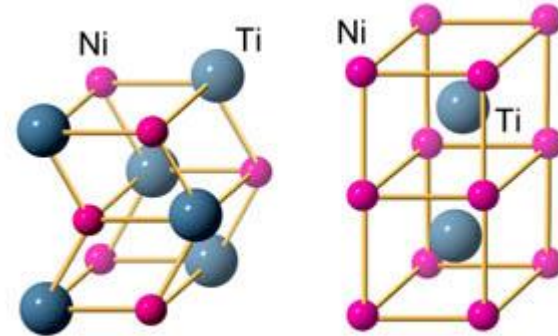


Nitinol – materiál s tvarovou pamětí

Ni Ti Naval Ordnance Laboratory

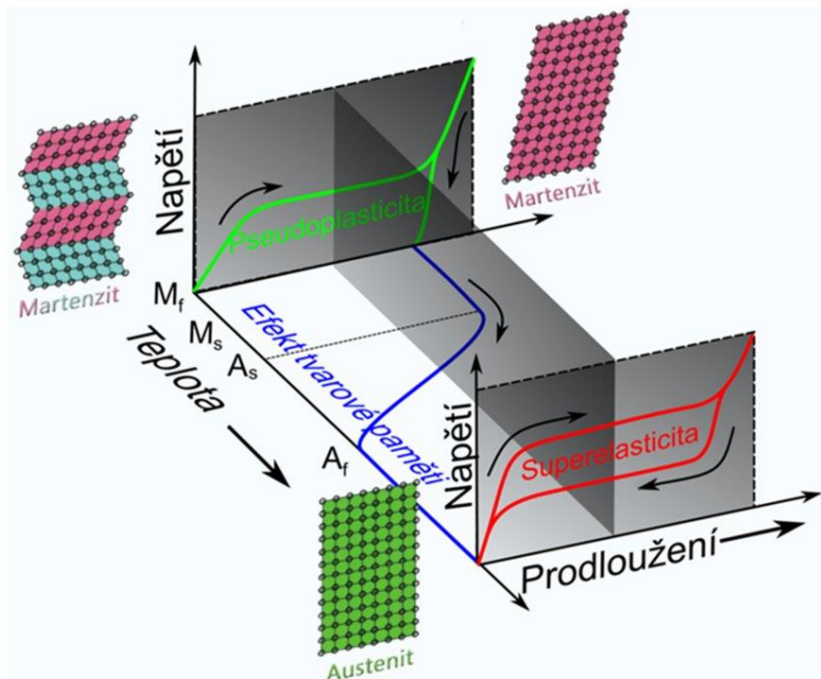
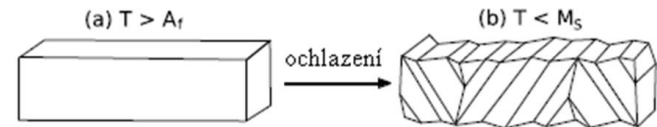
Vlastnosti:

Tvarová paměť
superelastická (pseudoelešticita)
biokompatibilita



Martensite

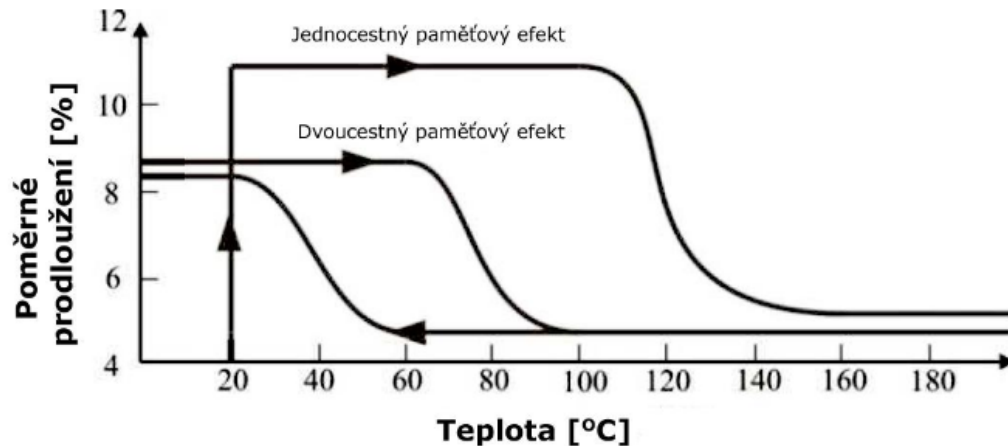
Austenite



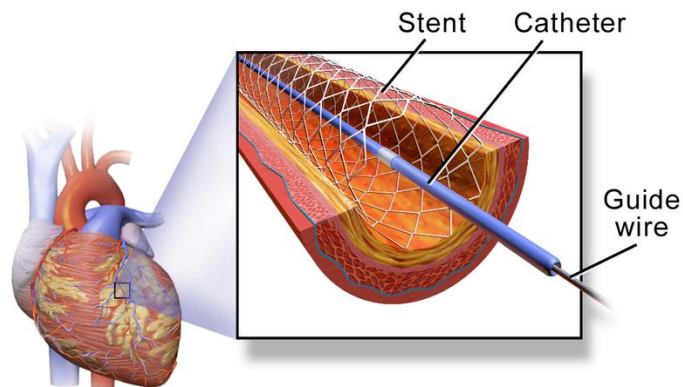
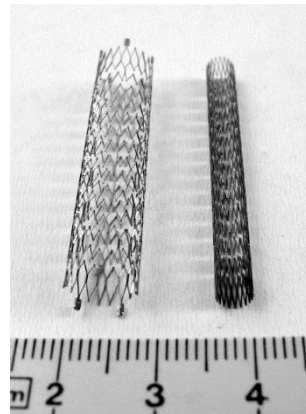
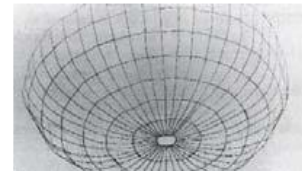
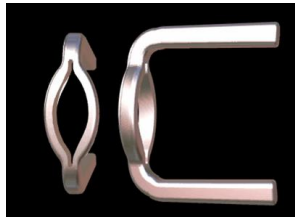
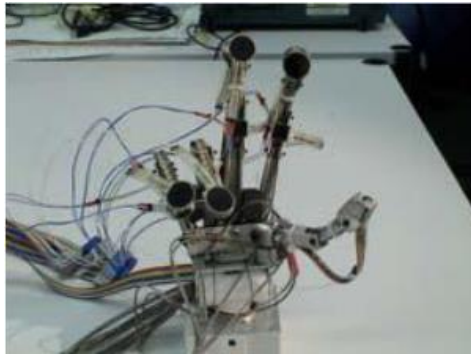
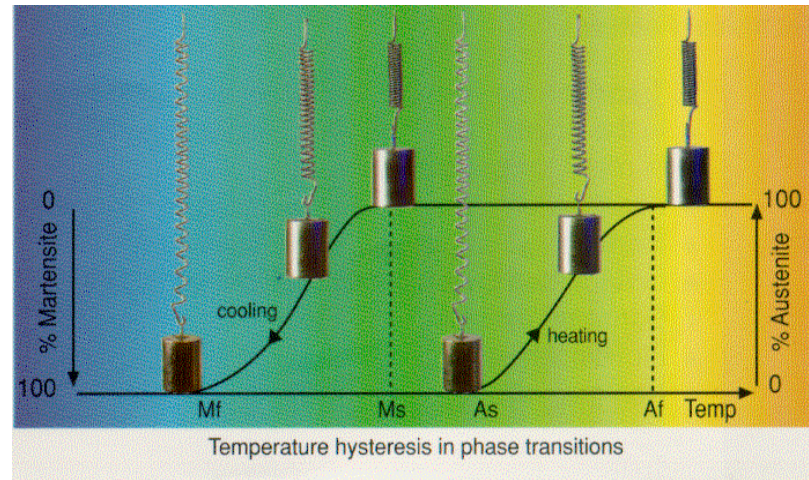
Nitinol – materiál s tvarovou pamětí

- Transformační teplota -200°C až 110°C
- Hystereze transformace až 30°C
- Deformace až 8.5%
- Youngův modul
 - Austenit 83 GPa
 - Martenzit 28-41 GPa
- Rezistivita
 - Austenit $100\ \mu\Omega\text{cm}$
 - Martenzit $70\ \mu\Omega\text{cm}$

Dvoucestný paměťový efekt

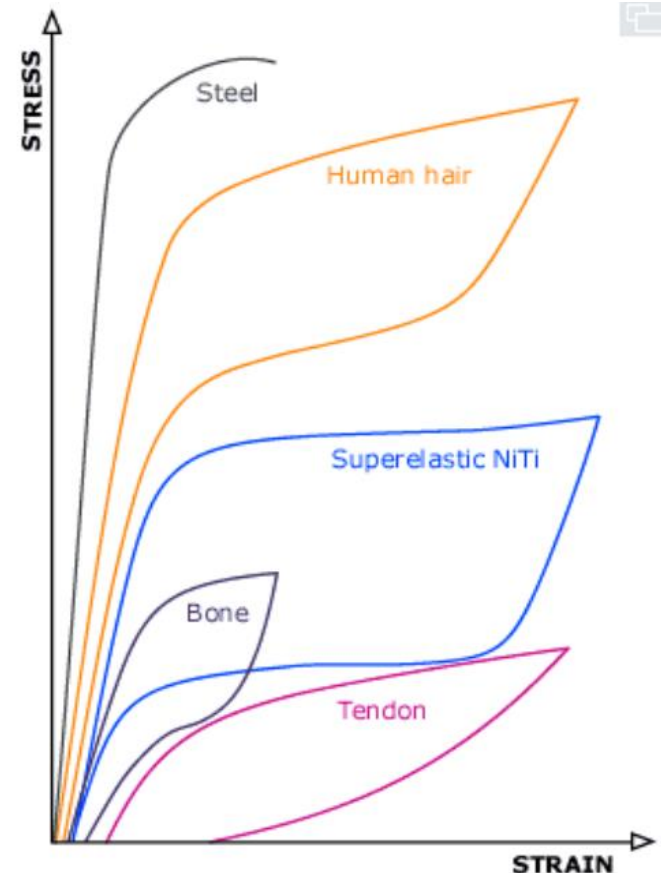


Materiály s tvarovou pamětí - využití

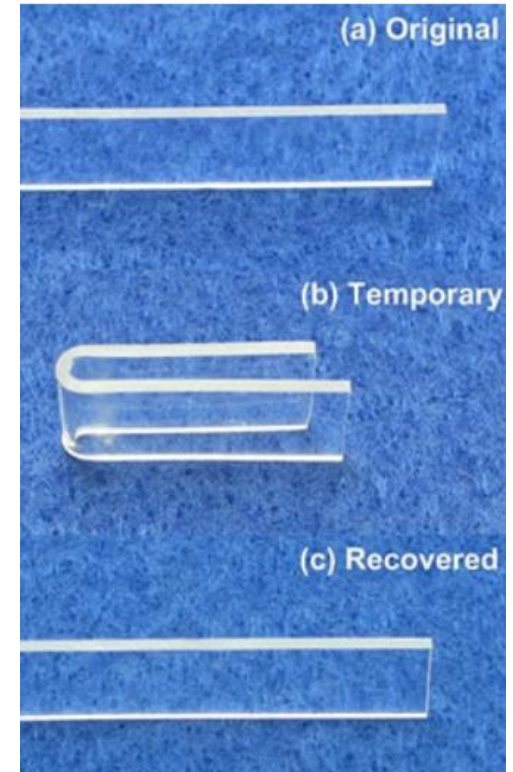
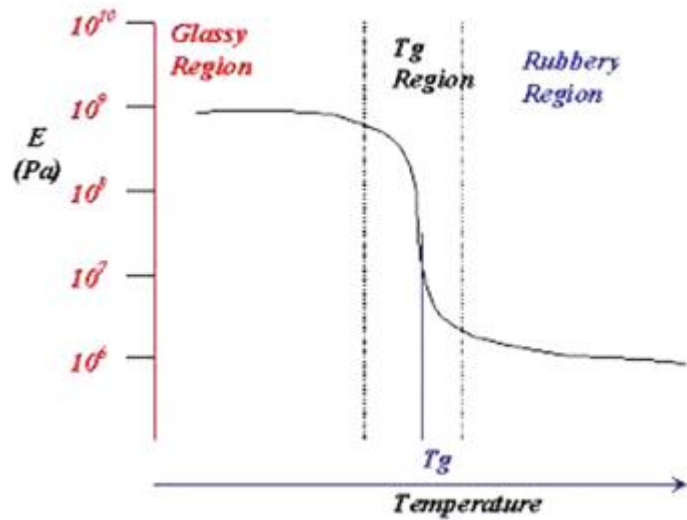


Materiály s tvarovou pamětí

- Požadavky:
 - funkčnost
 - stabilita
 - biokompatibilita
- Biokompatibilita nitanolu:
 - uvolňování Ni iontů
 - studie na zvířatech – Ni karcinogenní
 - cytotoxicita nitanolových stentů
- Úprava povrchu - laser
 - plazma
 - elektrolytické leštění
 - mechanické leštění
- Povlaky
 - PTFE
 - TiN a CTiN

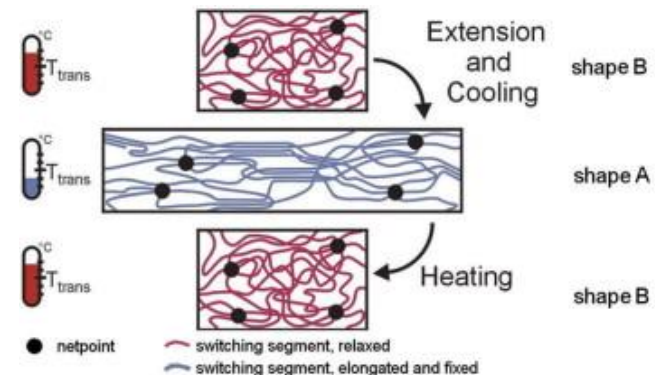
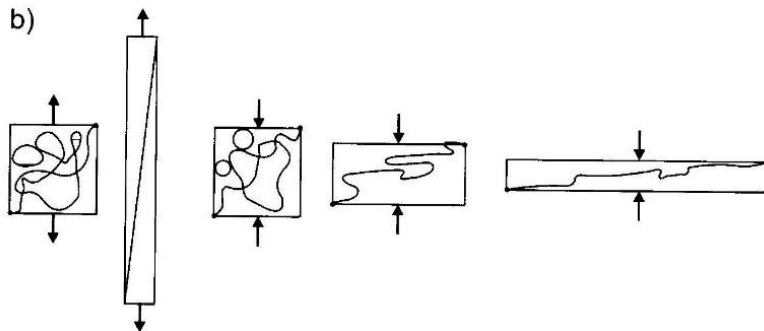


Polymery s tvarovou pamětí (SMP)



Polymery s tvarovou pamětí (SMP)

- Za normálního stavu řetězce náhodně smotané. Pokud při teplotě skelného přechodu T_g změníme tvar a zchladíme, dojde k zamrznutí řetězců v nataženém stavu.
- Zpětnou transformaci opět vyvoláme ohřevem na teplotu, která je závislá na napětí a množství sekundárních vazeb. Doba zpětné transformace je závislá na teplotě.
- Deformací tahem se řetězce snadno napřímují a jejich výsledná orientace je rovnoběžná s napětím. Při tlaku se řetězce orientují kolmo na napětí.
- Maximální dosažitelná zpětná transformace je funkcí délky řetězců a hustoty příčných vazeb.

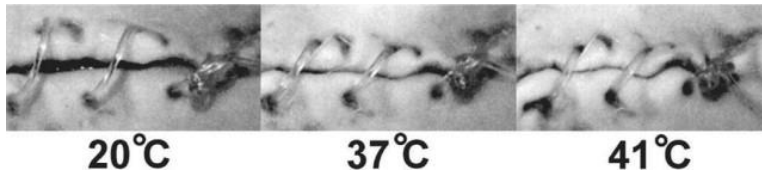


Tvarová paměť kovů a polymerů

- U obou je termo-elastická transformace podobná:

Mechanicky natažený řetězec polymeru lze přirovnat k martenzitické struktuře stabilní při nízkých teplotách a náhodně svinutý řetězec struktuře austenitu.

- Polymery vykazují především tepelně indukovanou tvarovou paměť, dvoucestný transformační efekt mohou vykazovat ale jen ve velice omezeně do 1% u PTFE.
- Zpětná transformace je při ohřevu řízená volnou entropií.

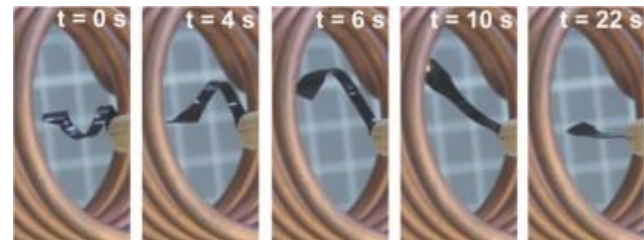


- Nepřímý ohřev

IR záření



střídavé mag. pole



(magnetické nanočástice v polymeru)