

# Nanodrátky

# Nanodrátky

**Nanodrátky** jsou struktury s průměrem řádu několika nanometrů a délkou alespoň 20x delší. V těchto rozměrech se uplatňují kvantové jevy, proto se někdy označují jako kvantové dráty. Existují v mnoha variantách: kovové (např. Ni, Pt, Au), polovodičové (Si, InP, GaN aj.) nebo nevodivé ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$  aj.). Molekulární nanodrátky jsou složeny z opakujících se molekul – např. organické (DNA) nebo anorganické ( $\text{Mo}_6\text{S}_{9-x}\text{I}_x$ ). Nejtypičtější nanodrátky mají poměr délka/průměr = 1000 i více. Proto patří k 1D nanomateriálům.

Nanodrátky mají řadu vlastností, které nelze pozorovat u objemových materiálů stejného složení. Je to dáno tím, že v příčném směru se chovají kvantově a obsazují energetické hladiny lišící se od klasických spojitých energetických pásů v objemových materiálech. Jako příklad lze uvést anorganické molekulární nanodrátky ( $\text{Mo}_6\text{S}_{9-x}\text{I}_x$ ,  $\text{Li}_2\text{Mo}_6\text{Se}_6$ ) s průměrem 0,9 nm a délkou několik stovek mikrometrů. Jiné důležité příklady jsou nanodrátky InP, GaN a další.

# Syntéza nanodrátků

**S použitím šablon**, tj. materiálů s válcovými póry, do nichž se plní materiál nanodrátků a ten přebírá morfologii pórů. Šablony musí mít potřebné chemické a mechanické vlastnosti, jejich póry musí mít požadovaný průměr, hustotu a rovnoměrnost rozložení. Nejčastěji se používají anodicky vytvořená vrstva oxidu hlinitého na hliníku, sklo s nanopóry, iontově leptané polymerové vrstvy a slída.

Póry se plní pod tlakem materiálem nanodrátků v tekutém stavu. Metoda vyžaduje mechanickou pevnost šablony a materiál s nízkou teplotou tání. Vyrábí se tak např. nanodrátky z Bi, In, Sn, Al a z polovodičů Se, Te, GaSb aj.

Alternativní metodou je **elektrochemická depozice**. V tom případě je substrát nejdříve opatřen tenkou vodivou vrstvou, která slouží jako katoda a na ní je deponována šablona. Nanodrátky rostou galvanickým procesem, který lze velmi dobře řídit. Struktura nanodrátků je polykrystalická bez preferenčního růstu. Tímto postupem jsou syntetizovány především polovodivé nanodrátky (CdS, CsSe aj.), kovové (Pb, Ag, Cu) nebo multivrstvové drátky Co/Cu.

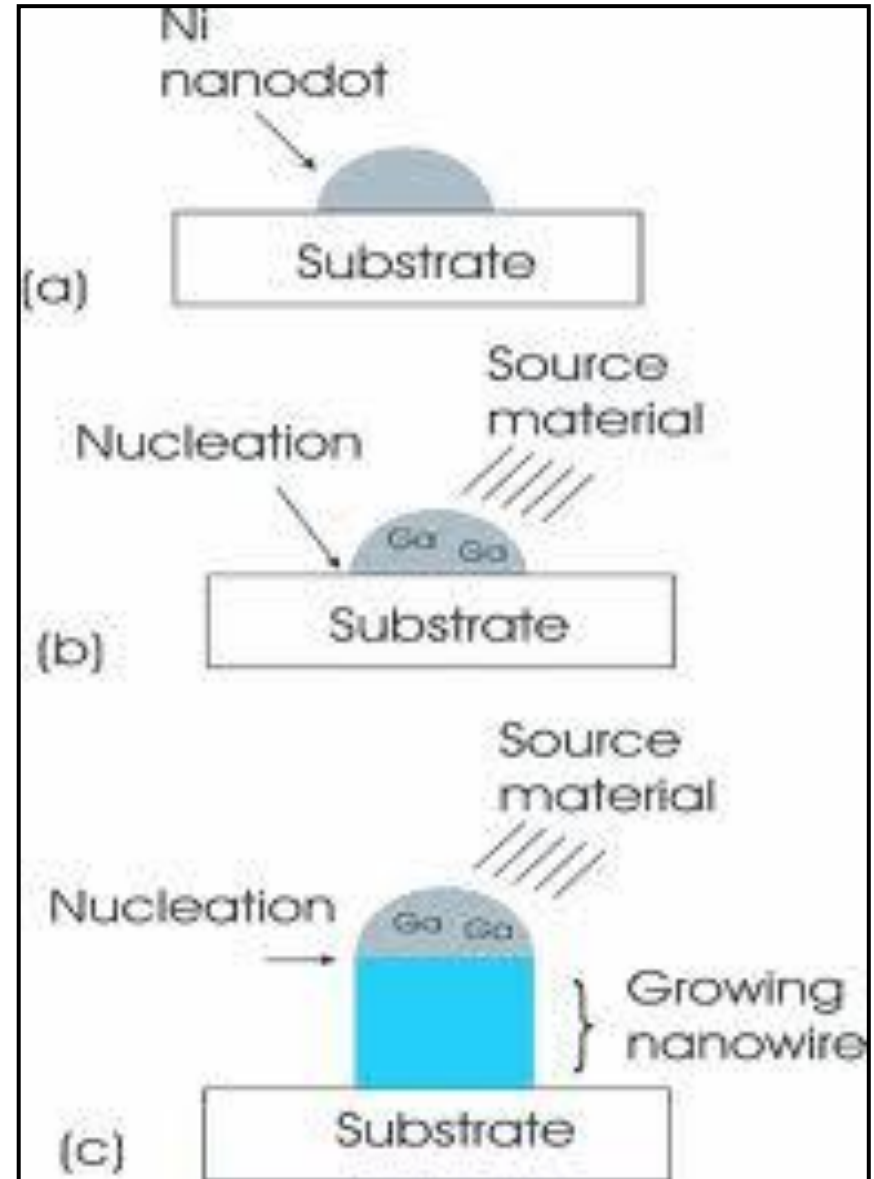
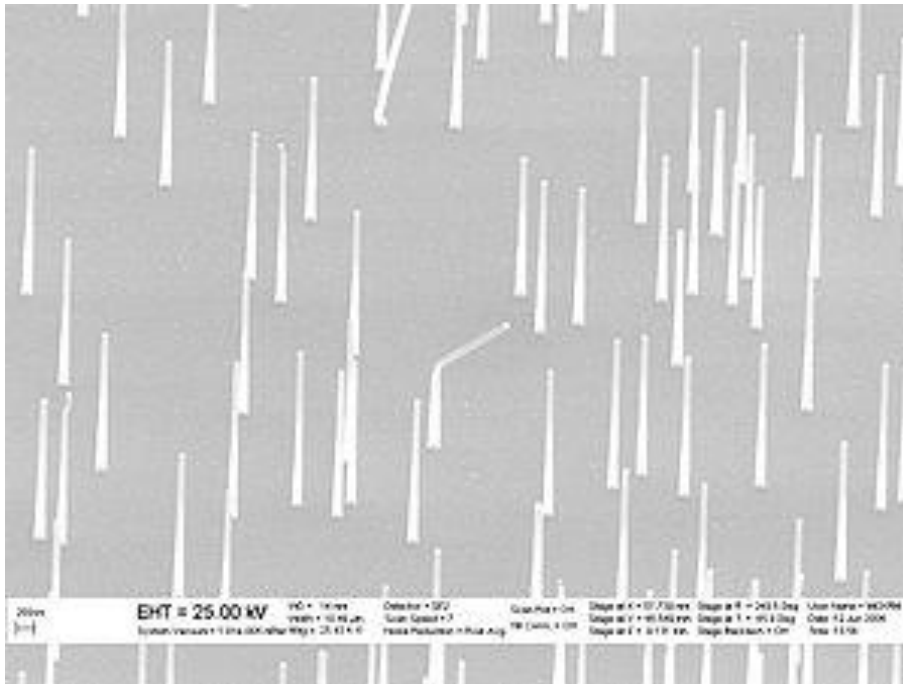
# VLS

## Syntéza nanodrátků metodou Vapour – Liquid – Solid (VLS)

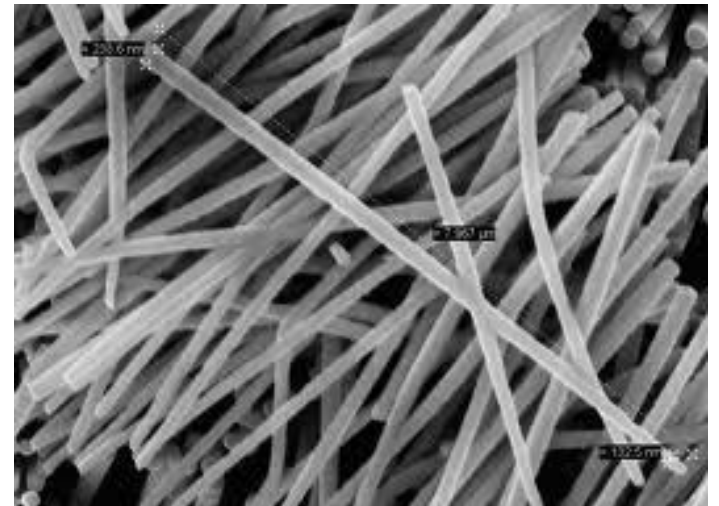
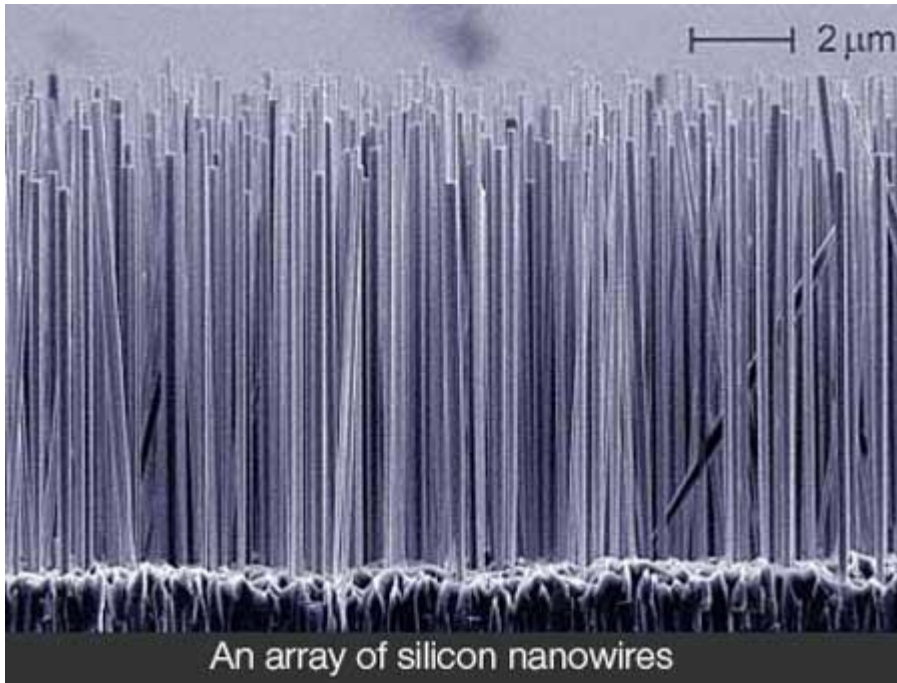
Mechanismus růstu využívá adsorpci zdrojového materiálu v plynném skupenství na kapičce katalytického materiálu (např. roztavené kapičky zlata na křemíkovém substrátu). Vytváří se supersaturovaná slitina zdrojového materiálu a katalyzátoru, na povrchu kapičky se vytváří nukleační jádro a na něm precipituje zdrojový materiál. Na kapičce katalyzátoru se tak vytváří zárodek preferenčního růstu nanodrátku potlačující další nukleaci na kapičce katalyzátoru. Nanodrátek roste anisotropicky a jeho průměr je určen rozměrem kapičky katalyzátoru. Materiál nanodrátku je velmi čistý, s výjimkou konce kde je malá část tvořená slitinou katalyzátoru a zdrojového materiálu. Problém technologie vytvoření dostatečně malých kapiček katalyzátoru ( 1 -20 nm) byl úspěšně vyřešen, lze připravovat nanodrátky s požadovaným průměrem a s určenou strukturou a rozložením v ploše.

Materiály nanodrátků : polovodiče (prvkové, binární, sloučeniny), Si, Ge, SiO a další.

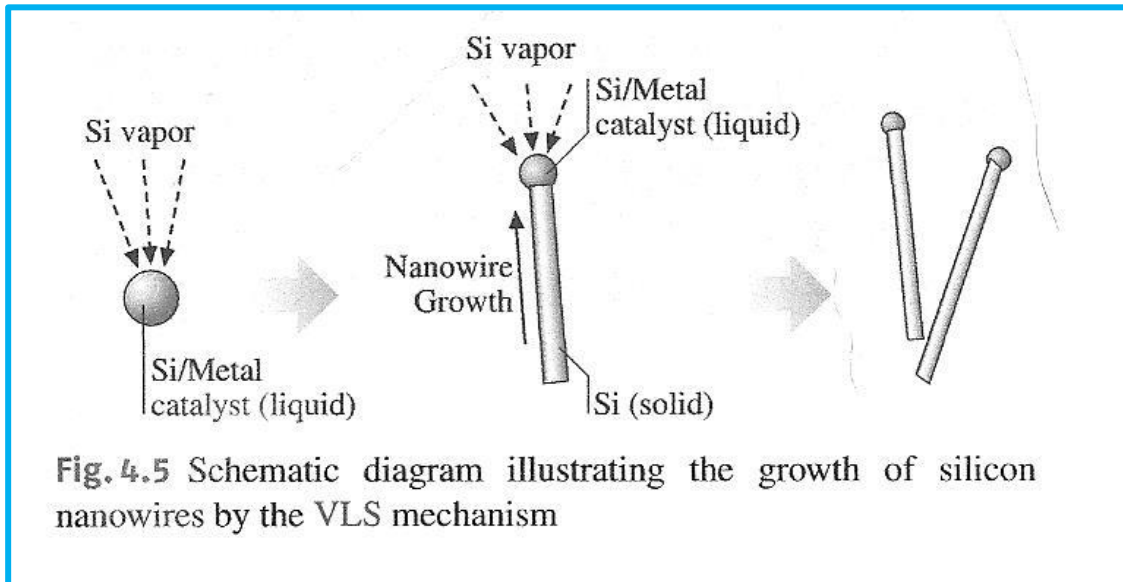
# VLS



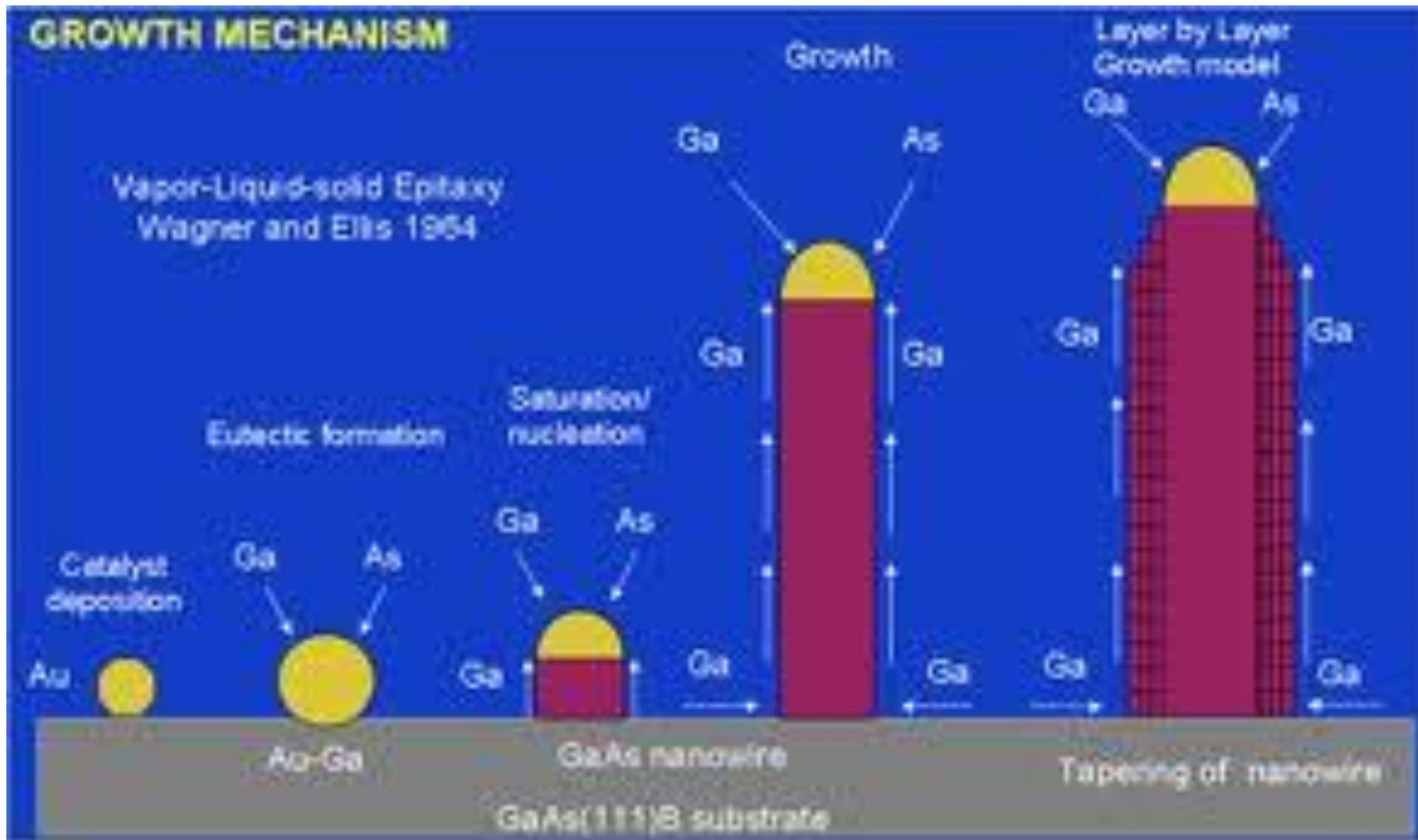
# Si



# Nanodrátky Si - VLS



# Nanodrátky GaAs metodou VLS





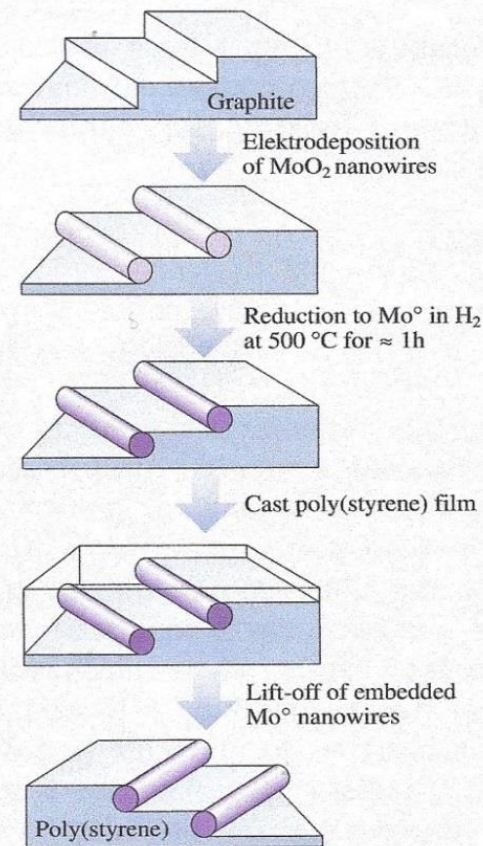
# Selektivní galvanická depozice

Další metodou pro růst nanodrátků je selektivní galvanická depozice podél hranových schodů vysoce orientovaného pyroelektrického grafitu (HOPG). Postupem jehož schéma je na obrázku se vytvářejí nanodrátky  $\text{MoO}_2$ .

Selektivní růst byl dosažen použitím nízkého napětí v systému kde grafit byl katodou čímž se dosáhlo preferenčního růstu na hranách a minimalizoval se růst na rovinných částech.

Syntetizované nanodrátky  $\text{MoO}_2$  jsou dále redukovány na kovový molybden a uvolněny od grafitu jako volné nanodrátky. Stejným postupem byly připraveny nanodrátky i z jiných kovů.

nanowire, not its diameter. In this context, other surface morphologies, such as self-assembled grooves in etched



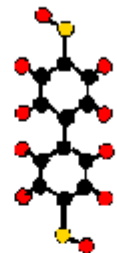
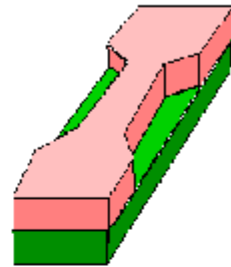


**Fig. 4.8** Schematic of the electrodeposition step edge decoration of HOPG (highly oriented pyrolytic graphite) for the synthesis of molybdenum nanowires [4.53, 102]

Existuje řada dalších metod přípravy nanodrátků.

Jako příklad uvádíme metodu využívající laserovou ablaci targetu složeného z cílového materiálu a katalyzátoru. Růst probíhá v silně nerovnovážných podmínkách. Laserový impuls vytváří oblak plazmatu v němž při ochlazování nukleují nanoklastry katalyzátoru a vyvolávají růst monokrystalických nanodrátků.

## ( CHARACTERISTICS of NANOWIRES )

	<b>BREAKJUNCTION</b>	<b>NANOTUBE</b>	<b>MOLECULAR WIRE</b>	<b>QUANTUM WIRE</b>
				
<b>Composition</b>	Cu, Ag, Au . .	C	C,N,H,S	GaAs/AlGaAs
<b>Geometry</b>	?	Tubular	Fixed by Q.M.	Planar (2-D)
<b>Width</b>	atomic	1-20 nanometers	~ 1 nm	100's of nanometers
<b>Length</b>	1 - 1000 nm	1 - 20 $\mu$ m	few nanometers	2 - 20 $\mu$ m
<b>External Connections</b>	Easy	Problematic	Challenging	Straightforward
<b>Fabrication</b>	Contact Mechanics	Carbon Arc	Test Tube	High Resolution Lithography
<b>Conduction Mechanism</b>	Quasi-ballistic	?	?	Ballistic

# Morfologie

- Křemíkové nanodrátky syntetizované laserovou ablací z práškového křemíkového targetu. Rozdílné depoziční podmínky umožňují dosáhnout odlišné morfologie drátků.

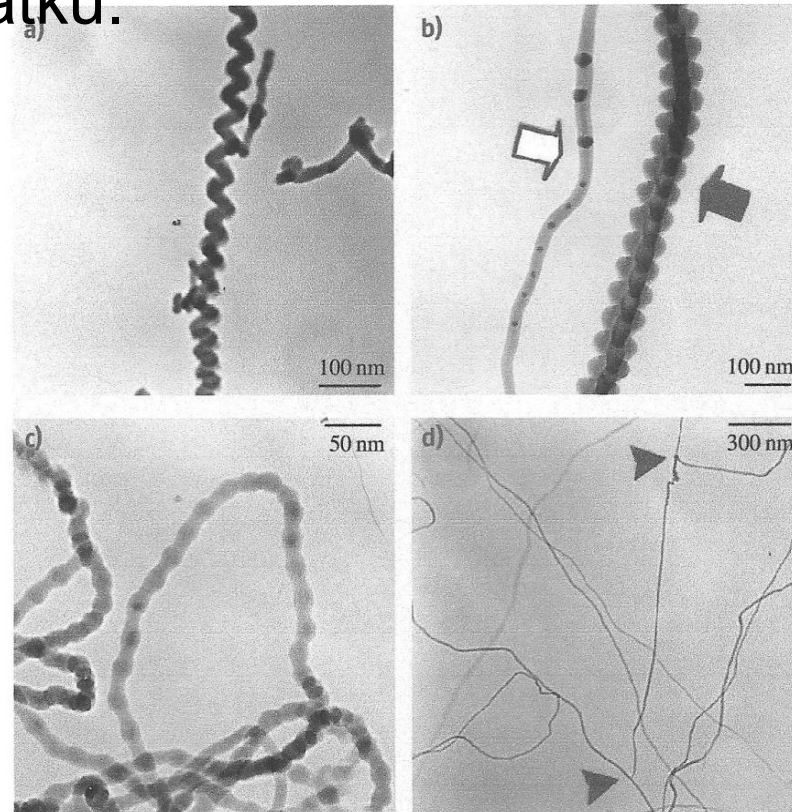


Fig. 4.13a-d TEM morphologies of four special forms of Si nanowires synthesized by the laser ablation of a Si powder target. (a) A spring-shaped Si nanowire; (b) fishbone-shaped (indicated by a *solid arrow*) and frog-egg-shaped (indicated by a *hollow arrow*) Si nanowires; and (c) pearl-shaped nanowires, while (d) shows poly-sites for the nucleation of silicon nanowires (indicated by *arrows*) [4.116]

# Nanodrátky

