

aplikace plazmatu / elektrické výboje v plynech

především doutnavý výboj
 $p \approx 10^{-1} - 10^2 \text{ Pa}$

nejprve studován stejno-
směrný (ss) doutnavý výboj
 ALE pro technologie nevhodné

☞ střídavé doutnavé výboje:

- nízkofrekvenční
- vysokofrekvenční
- mikrovlnné

plazmové procesy v aplikacích

○ depozice tenkých vrstev:

- polovodiče (křemík)
- kovy (hliník, měď, slitiny)
- dielektrika (oxid křemíku, nitrid křemíku, oxidy kovů, low-k dielektrika)
- tvrdé a supertvrdé vrstvy (diamant, c-BN, nitridy kovů, DLC, CN)
- polymerní vrstvy (antikorozní a ochranné vrstvy, senzory ...)

○ odstraňování materiálu z povrchu:

- čištění
- vytváření 3D struktur

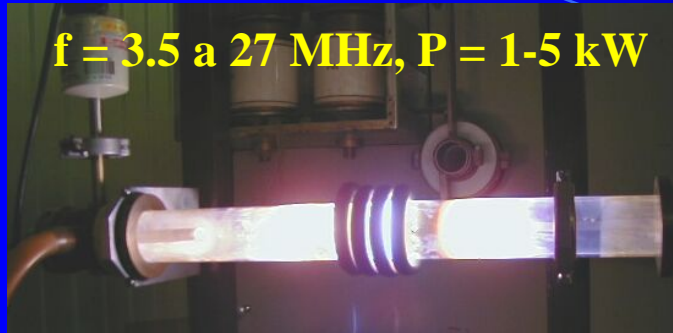
○ modifikace povrchu

- změna povrchové energie (smáčivost, adheze)
- očkování chemických skupin
- drsnost ...

- mikroelektronika
- automobilový průmysl
- textilní průmysl
- obalový průmysl
- lékařství

Plazmové zdroje I.

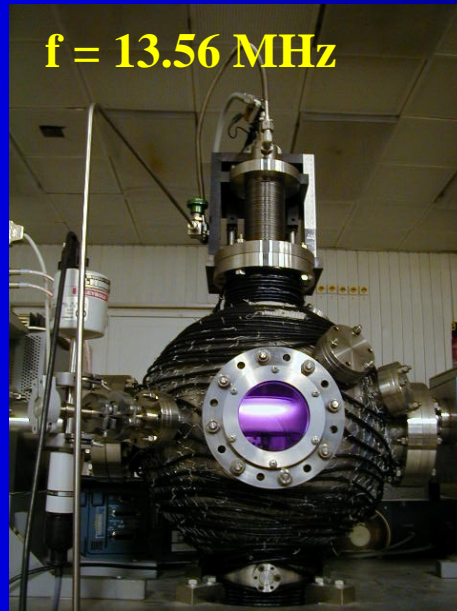
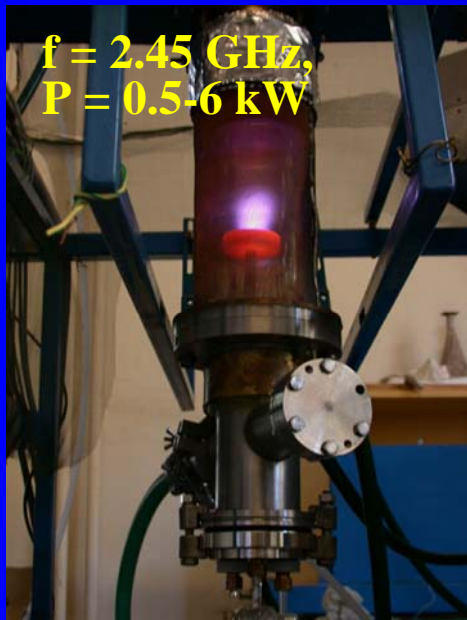
- vysokofrekvenční induktivní výboj



nízký tlak

- vysokofrekvenční kapacitní výboj

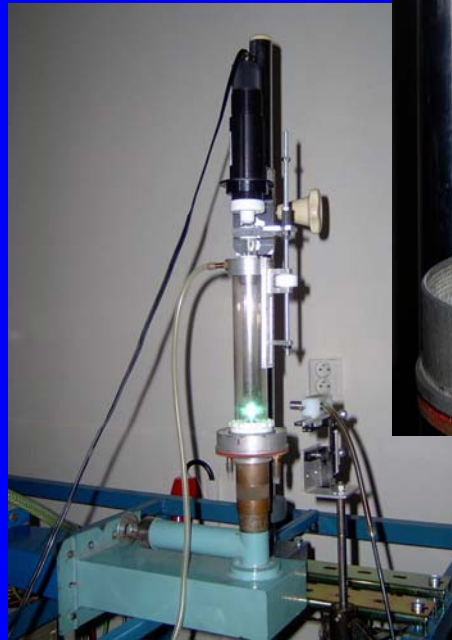
- mikrovlnný ASTEX reaktor



- mikrovlnný pulzní výboj



■ mikrovlnný pochodňový výboj

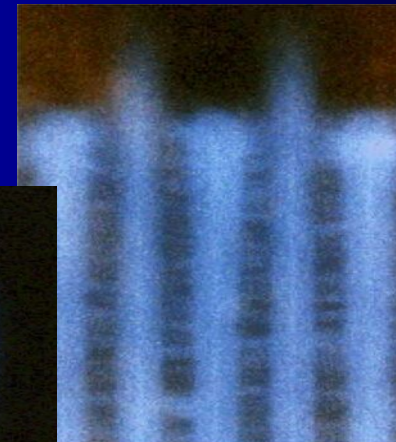
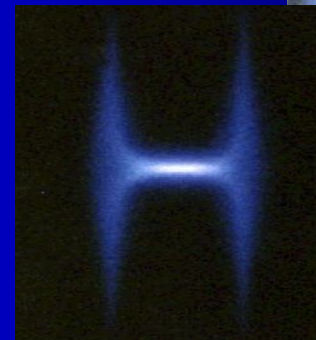


Plazmové zdroje II.

atmosférický tlak

■ koplánární bariérový výboj

■ plazmová mikrotryska



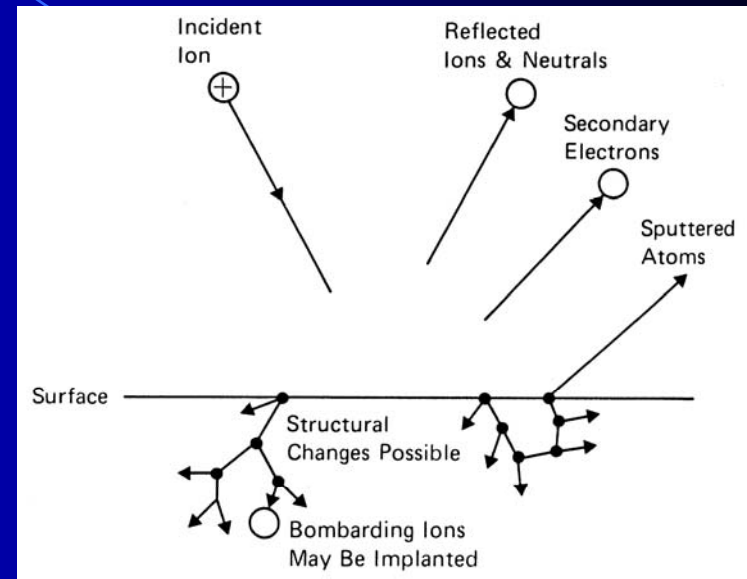
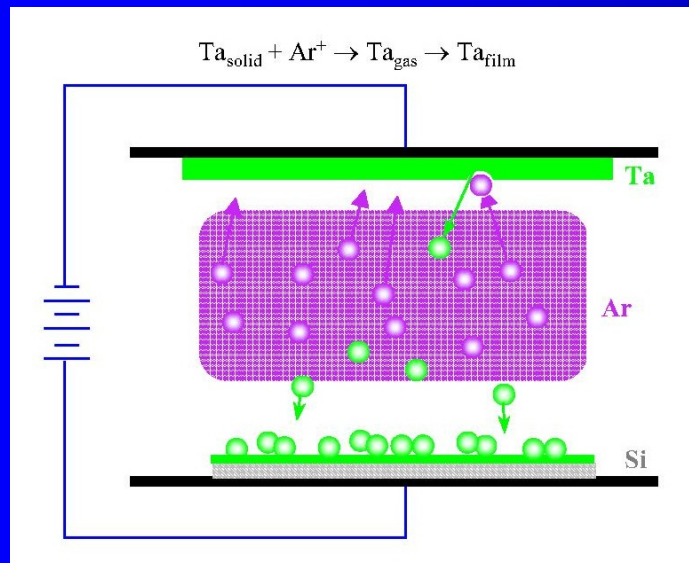
souhrn plazmových technologií I.

○ nereaktivní plazmové procesy

➤ odprašování (sputtering)

odstraňování materiálu fyzikálními procesy

➤ naprašování (sputter deposition nebo physical vapor deposition) kovové vrstvy (i slitiny a kompozity)



➤ implantace

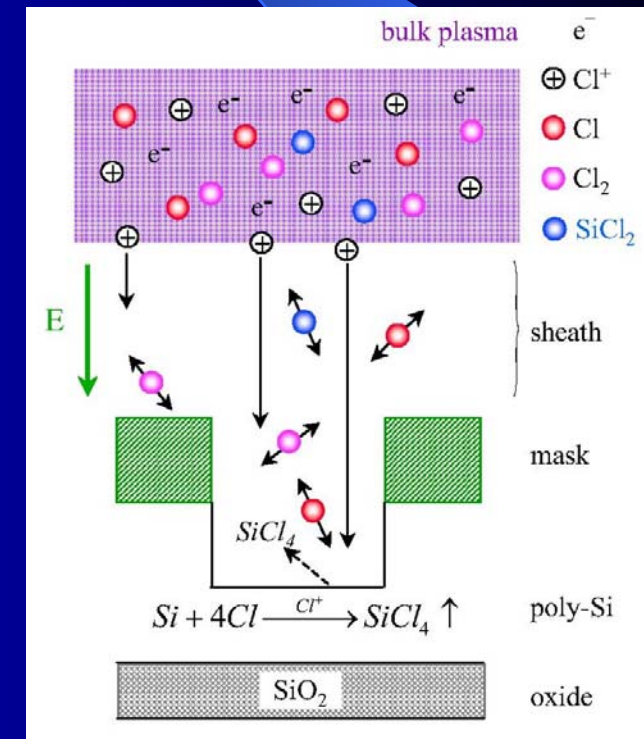
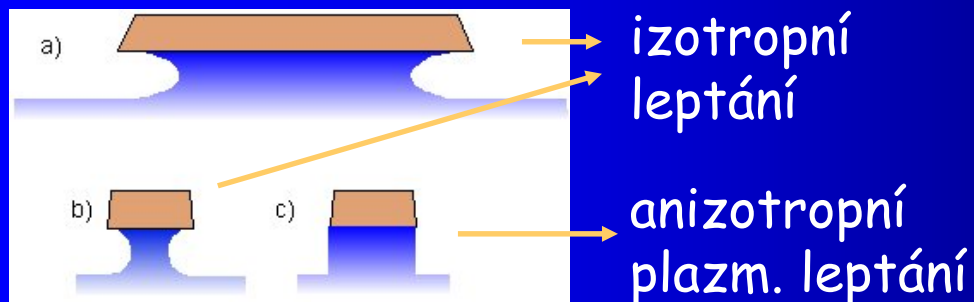
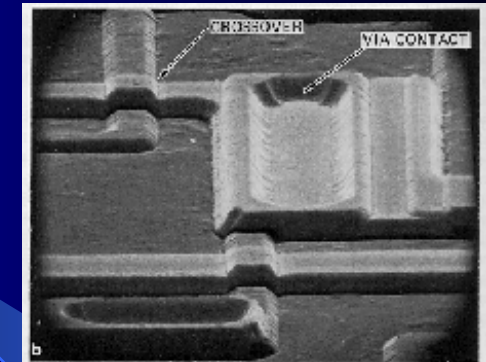
souhrn plazmových technologií II.

○ reaktivní plazmové procesy

- plazmové leptání (plasma etching)
odstraňování materiálu fyzikálně-chemickými metodami
- plazmochemická depozice z plynné fáze (PECVD)
depozice materiálu fyzikálně-chemickými metodami
- plazmová modifikace povrchu
kombinuje oba předchozí procesy
- depozice reaktivním naprašováním
(reactive sputter deposition)
deponovaný materiál je odprašován z terče ale dochází i k chemickým reakcím, ať už v objemu plazmatu nebo na povrchu pevné látky - depozice nitridů kovů, polymerů, kompozitů apod.
- nitridace, oxidace

plazmové leptání

- reakce vysoce reaktivních neutrálů (např. atomární chlór) s povrchem za vzniku těkavých sloučenin
- bombardování povrchu ionty
 - odstranění povrchové kontaminace blokující leptání
 - příspěvek ke kinetice leptání

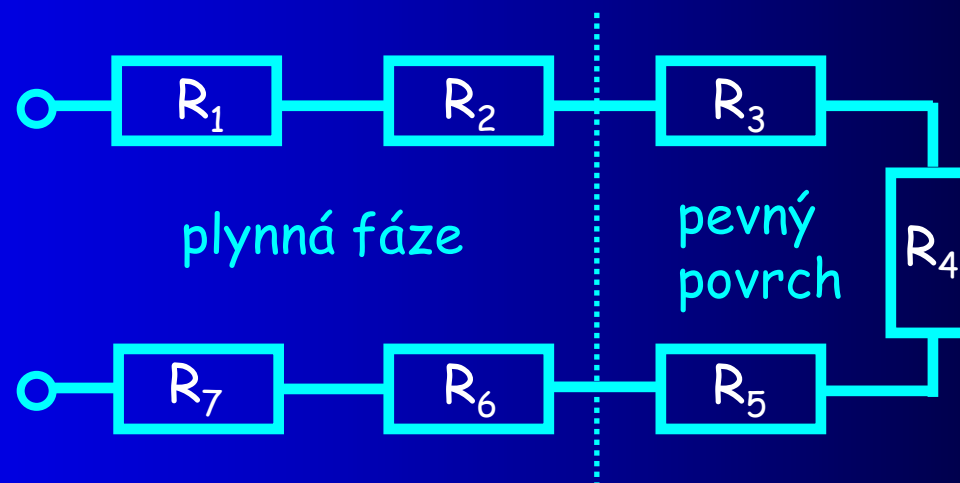


co to je CVD ?

○ chemical vapor deposition (CVD)

tepelně řízená chemická depozice z plynné fáze (reaktanty v základním stavu):

1. transport reaktantů do prostoru depozice
2. difuze reaktantů na povrch substrátu
3. adsorpce reaktantů
4. fyz.-chem. procesy → vrstva a vedlejší produkty
5. desorpce vedlejších produktů
6. difuze vedlejších produktů do toku plynu
7. transport vedlejších produktů z prostoru depozice

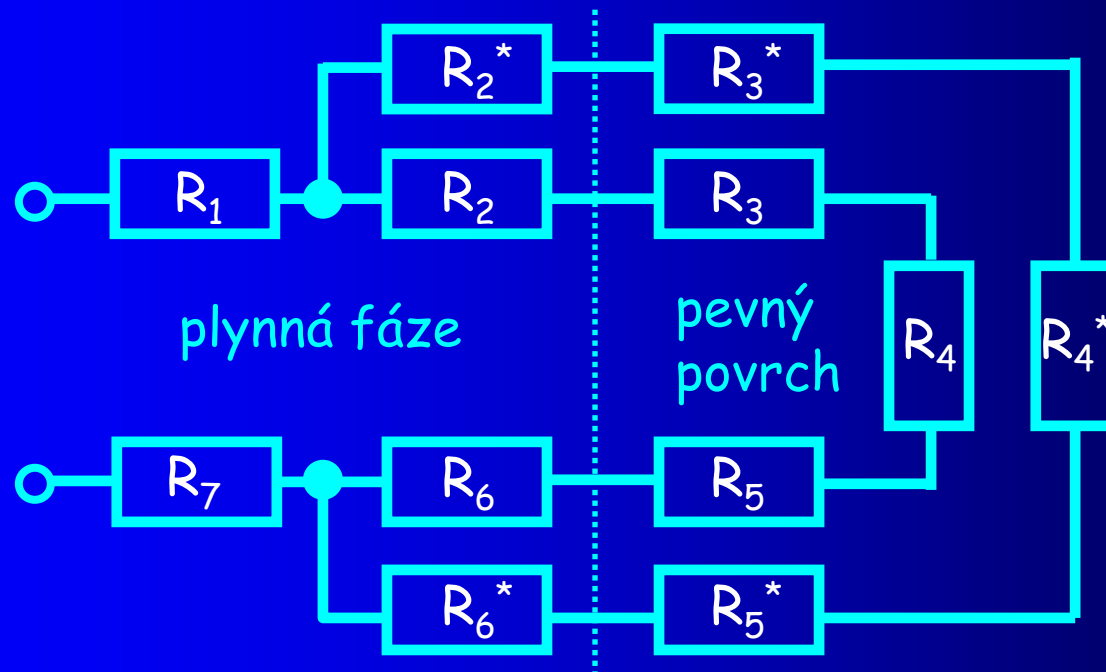


a co PECVD ?

- plasma assisted CVD (PACVD)
- plasma enhanced CVD (PECVD)

metoda CVD, kde je v plynu zapálen výboj (plazma):

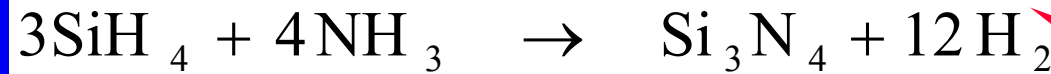
- ☞ dochází ke srážkám energetických elektronů s těžkými částicemi plynu
- ☞ produkce vysoce reaktivních částic
- ☞ probíhají dva alternativní depoziční procesy



PECVD x CVD

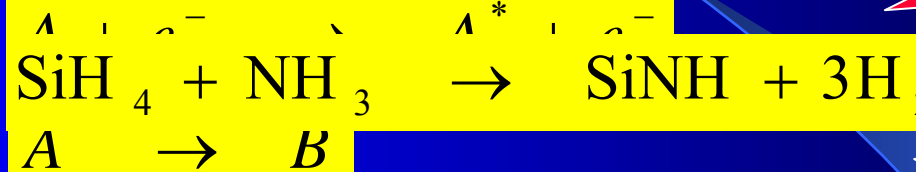
reakční větve:

tepelná



700-900°C

plazmatická



250-350°C

při PECVD je plazmatická větev reakčního schématu mnohem významnější, protože:

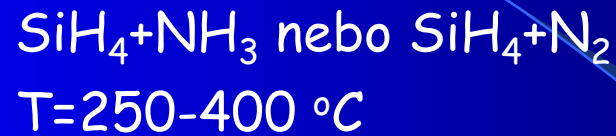
- ☞ koeficient ulpění vysoce reaktivních částic je blízký jedné
- ☞ aktivační energie chemických reakcí jsou nižší v případě excitovaných reaktantů

PECVD - nižší teplota depozice, možnost depozice nových materiálů, nahrazení nebezpečných reaktantů jinými
ale komplexnost chemických reakcí a procesů, horší selektivita a řízení reakce, možnost poškození energetickými ionty, uv zářením a elektrostaticky (hromadění náboje)

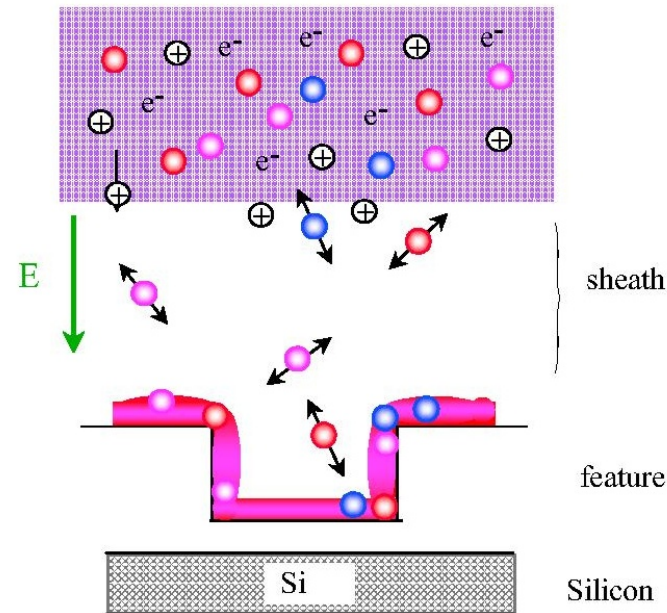
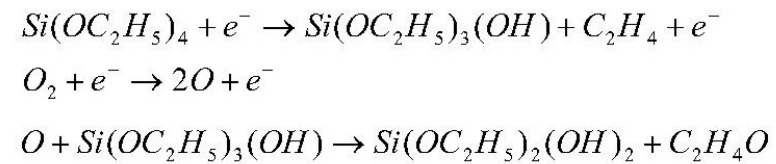
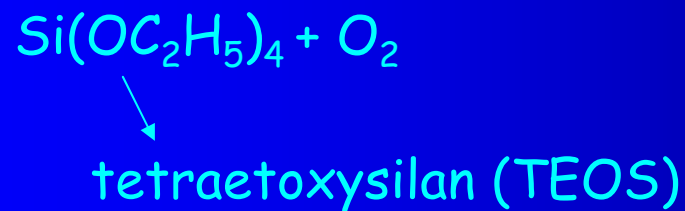
PECVD materiálů s křemíkem I.

○ dielektrické vrstvy pro mikroelektroniku

nitrid křemíku:
(závěrečná ochranná pasivace pro i.o.)



oxid křemíku:
(dielektrická oddělující vrstva)



PECVD materiálů s křemíkem II.

○ ... dielektrické vrstvy pro mikroelektroniku

low-k dielektrika: organokřemičitany + O_2 /... + ...
(dielektrická oddělovací vrstva pro ULSI)

organokřemičité skla (OSG)

○ polovodičové vrstvy pro mikroelektroniku

epitaxní křemík: $SiH_4 + H_2$ $T=800\text{ °C}$

polykrystalický křemík: $SiH_4/SiH_2Cl_2 + H_2/Ar$ $T=450-700\text{ °C}$
(gate elektroda a spojující materiál
v MOS i.o., panely solární energie)

○ vrstvy SiO_x a $SiO_xC_yH_z$ pro celou řadu dalších aplikací

otěruvzdorné vrstvy pro plasty, protikorozní vrstvy pro kovy,
bariérové vrstvy pro obalový a farmaceutický průmysl,
biokompatibilní vrstvy

směsi s organokřemičitany (TEOS, HMDSO, ...)

PECVD materiálů na bázi uhlíku

○ diamantové vrstvy (mikro a nano)

0,1 - 5% $\text{CH}_4/\text{C}_2\text{H}_2/\dots$ v H_2

v.f. plazma $p=0,01-4\text{kPa}$, $T_{\text{plynu}}=1000-1500^\circ\text{C}$, $P=0.5-3\text{kW}$

m.v. plazma $p=2-10\text{kPa}$, $T_{\text{plynu}}=2000-2500^\circ\text{C}$, $P=0.5-2\text{kW}$

$T=700-1000^\circ\text{C}$

○ diamantu podobné uhlíkové vrstvy (DLC)

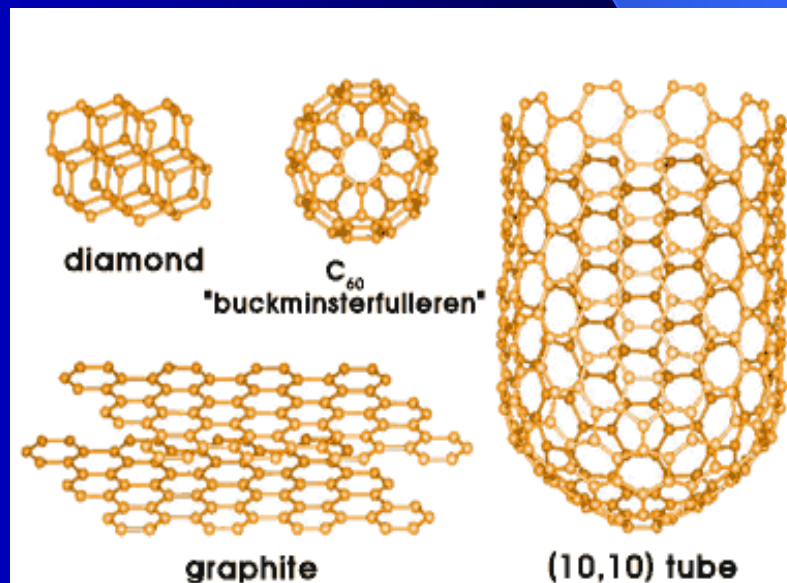
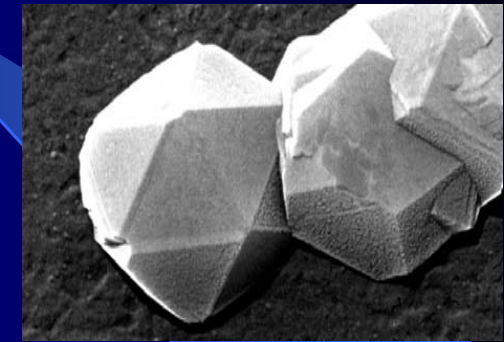
iontový bombard (samopředpětí)

$\text{CH}_4/\text{C}_2\text{H}_2/\dots + (\text{Ar}/\text{H}_2)$, $T < 300^\circ\text{C}$

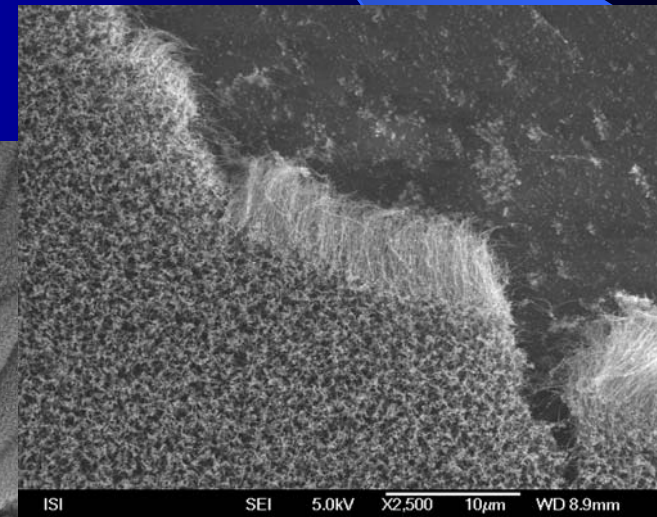
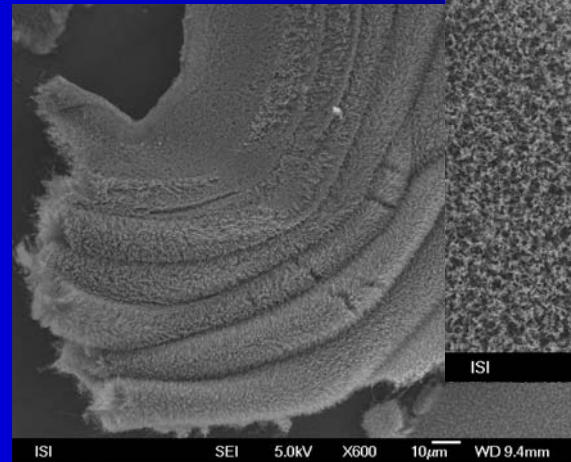
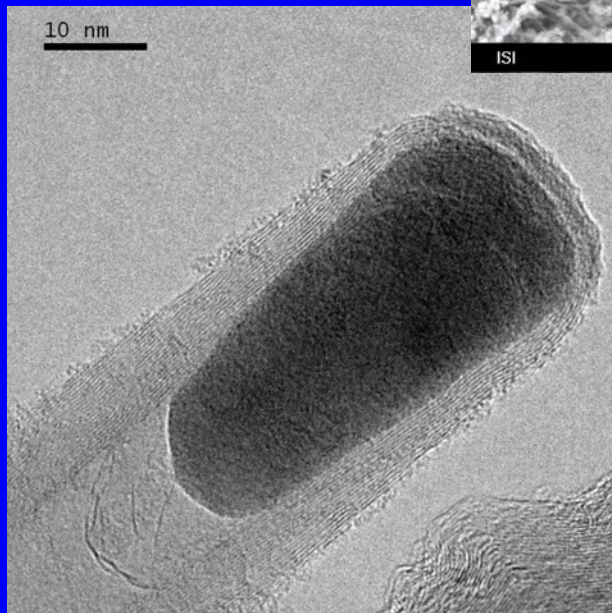
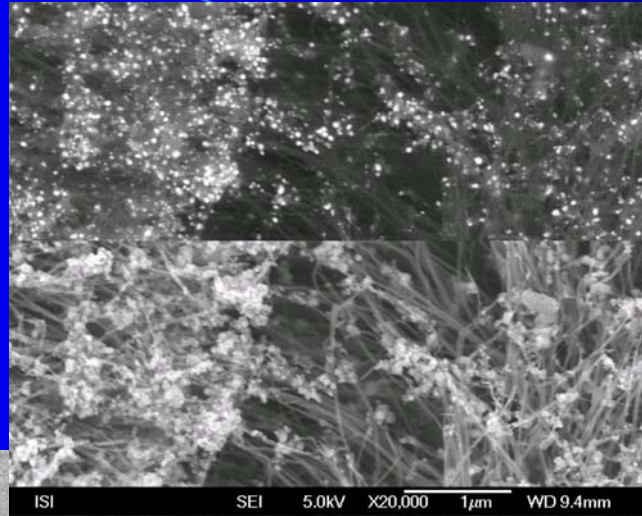
○ polymerní uhlovodíkové vrstvy ($\alpha\text{-C:H}$)

○ uhlíkové nanotrubky

$\text{CH}_4/\text{C}_2\text{H}_2/\dots + \text{H}_2 + \text{katalyzátor}$
(Fe, Ni, Co), $T = 400-700^\circ\text{C}$



PECVD uhlíkových nanotrubeček



Plazmové modifikace povrchů

- polycarbonate (PC)
- non-woven polypropylene (PP) textiles
- polyester (PES) cords
- polyethyleneterephthalate (PET) knitted vascular prostheses
- filter paper

