

Nanotrubky a další uhlíkové makromolekuly

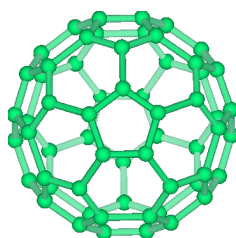
Adam Purkrť

Abstrakt

Uhlíkové nanotrubky jsou relativně mladým, avšak rychle se rozvíjejícím oborem nanotechnologie. V článku je nastíněna historie vzniku oboru, výjimečné vlastnosti nanotrubek (tepelná a elektrická vodivost, vysoká schopnost absorpce plynů, mechanická pevnost, ...) a jejich možné aplikace v (blízké) budoucnosti (konstrukční materiály, nádrže na vodík, mikroelektronika, field-emitting displeje, paměťové elementy, ...)

Úvod

Uhlíkové nanotrubky jsou makromolekuly uhlíku, podobně jako tzv. fullereny (např. C_{60} , C_{76} , C_{100}), což jsou velké molekuly tvaru „kopacích míčů“, strany tvořené pěti- a šesti-úhelníky (v jejichž vrcholech se nachází uhlík), či tzv. uhlíkové cibule (carbon onions), což jsou v podstatě větší fullereny.



obr. 1 – molekula fullerenu C_{60}

Nejprve připomeňme fyzikální poměry v tuze (grafitu). Tato látka je tvořena atomovými rovinami (skládajícími se ze šestiúhelníkových buněk, podobnost s včelím plástem). Jednotlivé atomové roviny jsou mezi sebou poměrně slabě vázány (Van der Waalsovy síly) — kloužou po sobě, tuha se otírá. Naproti tomu vazby mezi uhlíky v atomové rovině jsou silné.

Uhlíkovou nanotrubku lze chápat jako atomovou rovinu tuhy sbalenou do ruličky, na koncích uzavřenou „čepičkami“ z polovin fullerenu.

Stručná historie oboru

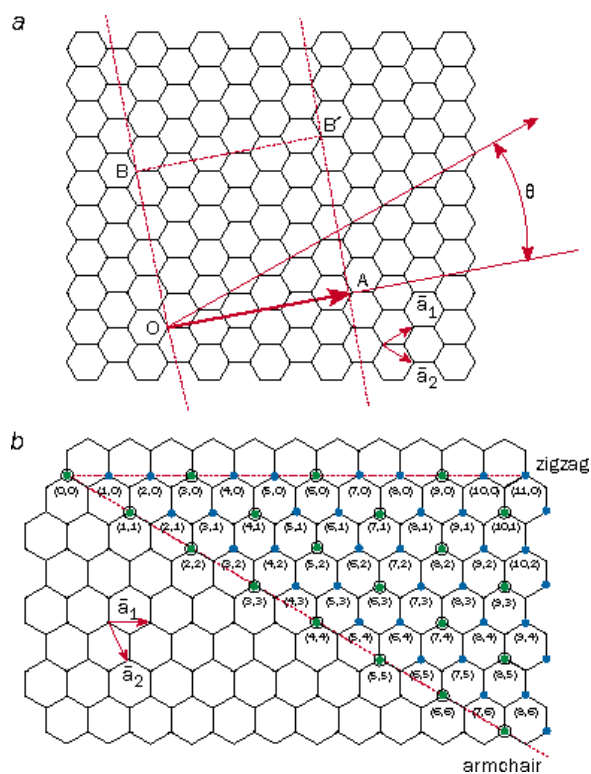
- 1985 — Objev fullerenů
- 1991 — Objev nanotrubek – Sumio Iijima (NEC, Japan) – zkoumal „saze“, které vznikaly při obloukovém výboji mezi uhlíkovými elektrodami; jednalo se o jeden ze způsobů přípravy fullerenů. Pod elektronovým mikroskopem však pozoroval něco, co sám nazval nanotrubkami. V tomto případě se jednalo o vícevrstevné nanotrubky (Multi-Walled NanoTubes, MWNT).
- 1991 — nezávisle – Ústav chemické fyziky, Moskva – objev mnohem kratších nanotrubek (prakticky jen protáhlejší fullereny), název tzv. „barrelerenes“ (od slova „barel“).
- 1993 — Iijima (NEC), Bethune (IBM) – vyvinutí technologie výroby jednovrstevných nanotrubek (SWNT) (důležité, neboť pro ně existuje propracovanější teorie)

- 1996 — Rice University – vypařování uhlíkového terče laserovými (pulsy) v peci při 1200⁰ C, Co-Ni katalyzátor, protéká argon, odnáší trubky do měděné nádoby. Výhody: kontrolovatelnější podmínky (tj. předpověditelnější výsledky), vyšší homogenita výtěžku, 80–90% uhlíku přeměněno v nanotrubky, velké procento jednotěnných nanotrubek. Těž objevena možnost výroby svazků nanotrubek.

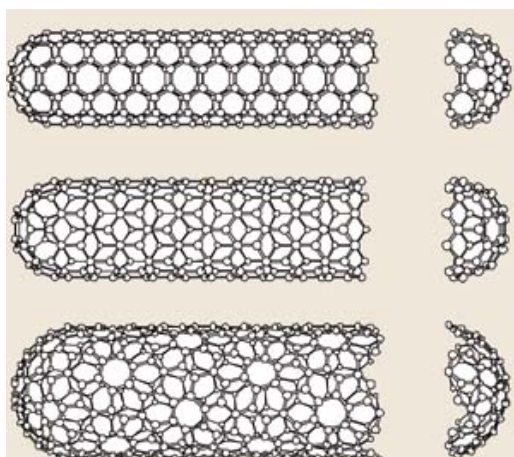
Vlastnosti

Nanotrubky mají průměry typicky v oblasti 1 nm až 50 nm, délku až 300 μm (tj. 0.3 mm, což je již makroskopický rozměr běžně dostupný našim představám, narozdíl od průměru; extrémně velký poměr délka/šířka je jednou ze zajímavých vlastností nanotrubek). Nanotrubky se též liší tloušťkou stěny; rozeznáváme nanotrubky jedno- a vícevrstevné (single, multi walled). Při výrobním procesu mohou též vznikat celé svazky nanotrubek. Zajímavá makromolekula příbuzná nanotrúbkám je tzv. **torus** - nanotrubka zatočená do sebe (podobná nafouknuté duši jízního kola).

Nanotrubky mohou mít jak kovový, tak polovodičový charakter v závislosti na tom, jak se uhlíkový plát sbalí (popsáno tzv. chirálním vektorem, viz obr. 2) (O s A, B s B'); chirální vektor $C_h = n\hat{a}_1 + m\hat{a}_2$; zkráceně označován jako (n, m). Chirální vektor souvisí kromě (polo)vodivosti též s průměrem nanotrubky. Viz následující obrázky (obr. 2a odpovídá chirálnímu vektoru (4,2))



obr. 2 – chirální vektor



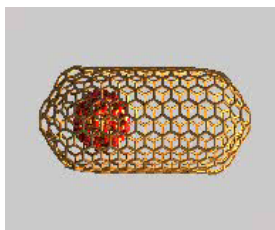
obr. 3 – nanotrubky s rozdílným
chirálním vektorem

Obr. 3: nahoře (5, 5) (tj. $n = m$, tato třída nanotrubek se nazývá „armchair“), uprostřed (9, 0) ($n = 0$ či $m = 0$, tzv. „zigzag“), dole (10, 5) ($n \neq 0 \wedge m \neq 0 \wedge n \neq m$, tzv. „chiral“).

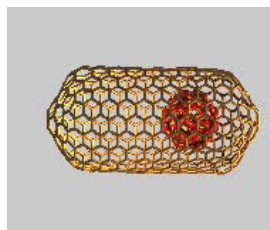
Výjimečná je též vysoká mechanická pevnost a tepelná vodivost nanotrubek (obé souvisí s velkou silou vazeb v atomové rovině, z níž (jak si lze představit) je nanotrubka stočena).

Aplikace v elektronice

- Nanotrubky tedy mohou vytvářet jak vodiče, tak PN přechody, tedy i tranzistory a v budoucnosti pravděpodobně i mikroprocesory (s úrovní miniaturizace o několik řádů vyšší než v případě v současné době používané techniky napařování).
- Field emission display – (patent) - elektrony vystřelované z nanotrubek, minidělo (trojice) na každý bod; ve srovnání s klasickou katodovou obrazovkou odpadá nutnost vychylování a urychlování paprsku
- paměťový prvek – molekula fullerenu („buckyball“) uvnitř z obou stran uzavřené nanotrubky – dva stabilní stavy: fullerén na jednom/druhém konci trubky = jeden bit – přepínání/čtení elektrickým polem na konci nanotrubek – řádově terabity v cm^3



obr. 4 – bit 0



obr. 5 – bit 1

- i pro stávající elektroniku – chlazení – výjimečná tepelná vodivost podél trubek, malý přestup mezi jednotlivými trubkami, možnost odvádět teplo z malého horkého jádra procesoru na větší plochu

Další aplikace

- výztužná vlákna – řádově $100\times$ vyšší mez pevnosti při $6\times$ nižší hmotnosti, tj. $600\times$ vyšší poměr pevnosti ke hmotnosti než v případě oceli. (teoretická možnost sestrojení „kosmického výtahu“, lana mezi asteroidem obíhajícíím nad geostacionární drahou a zemským povrchem, po němž by bylo možné vytahovat do kosmu náklad s nižšími náklady než pomocí raket).
- nanopumpa – laserem řízená – osvitem laserem se „rozvlí“ nanotrubka, doprava několika málo atomů látky na přesně určené místo.
- nelineární optika – silný efekt optického omezení (nad jistou mezí prudce klesá propustnost světla) – → ochranné pomůcky pro zrak při sváření, práci s laserem atd.
- přepínače v optických počítačích
- absorpce vodíku v (dopovaných → příměsí drží konce otevřené) nanotrubkách – absorpce při chlazení, po zahřátí desorpce – schopnost pohltit až 40 hmotnostních procent vodíku – srovnatelné s benzinem (ostatní metody ukládání vodíku do 5 wt.%)
- separace tritia ($40\times$ větší absorpce tritia než $\frac{1}{4}H$)

Závěr

Uhlíkové nanotrubky jsou v současnosti teprve v počátcích svého vývoje a jejich praktické uplatnění v kterékoli ze zmíněných oblastí dosud nepřesáhlo stadium základních experimentů. S nemalou pravděpodobností však předchozí věta za několik let již nebude pravdou.

Odkazy

- <http://www.pa.msu.edu/cmp/csc/nanotube.html> – The Nanotube Site
- <http://www.rdg.ac.uk/~scsharip/tubes.htm>
- <http://www.americanscientist.org/articles/97articles/yakobson.html>
- <http://www.europhysicsnews.com/full/09/article3/article3.html>
- <http://www.fundp.ac.be/~phlambin/Nanotube/knee.html>
- <http://cnst.rice.edu/ropes.html>