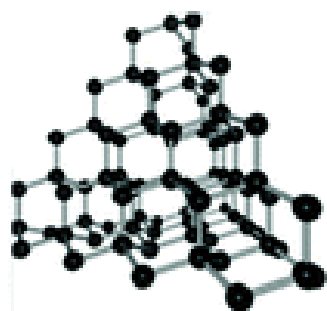
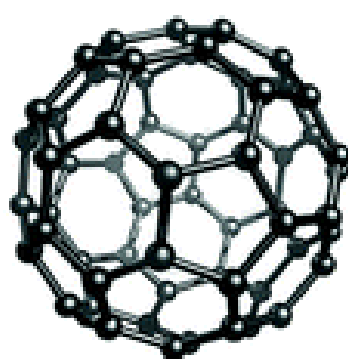


Grafén

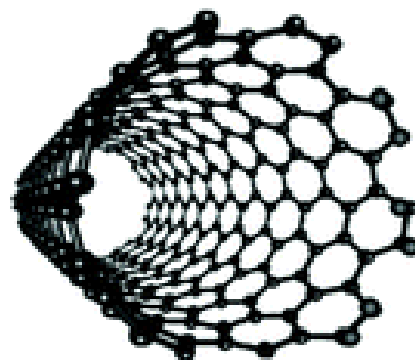
# Klasifikace - připomenutí



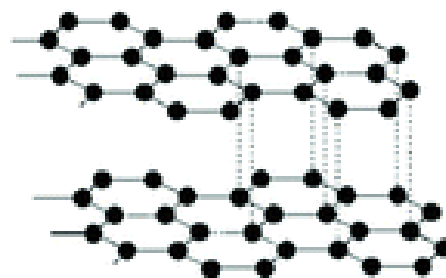
**Diamond**



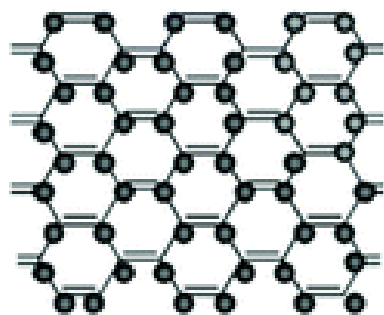
**Fullerene**



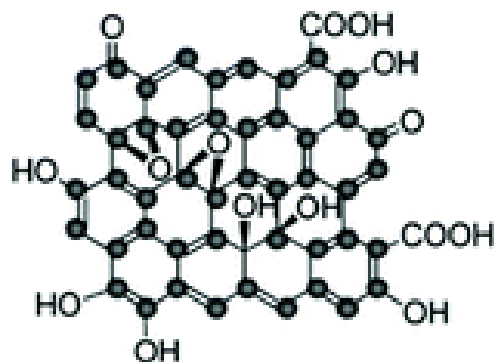
**Carbon nanotube**



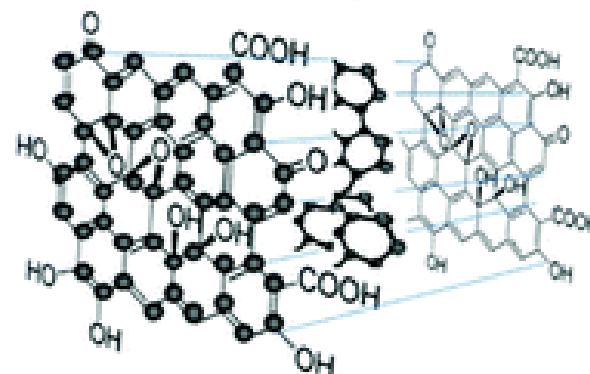
**Graphite**



**Graphene**



**Graphene oxide**



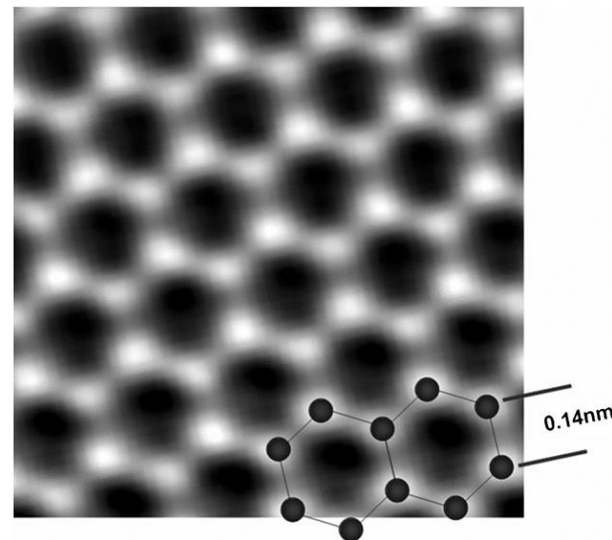
**Carbon dot**

# Uhlíkové nanostruktury - grafén

Grafén je alotropem uhlíku, jehož struktura představuje jednu vrstvu grafitu. Tvoří 2D nanodeštičku skládající se z jediné vrstvy  $sp^2$  vázaných atomů uhlíku složených do šestiúhelníkové krystalové struktury podobné včelím plástvím o tloušťce jednoho atomu uhlíku s meziatomovou vzdáleností 0,142 nm.

Grafen přenáší elektrony vysokou rychlostí a vede tak elektrický proud lépe než křemík, díky silným vazbám mezi atomy uhlíku patří k nejpevnějším materiálům, propouští světlo a je výborným vodičem tepla.

Elektrony v grafenu mají jiné vlastnosti, než by měly mít. U žádného jiného materiálu nebylo dosud pozorováno, že by se jeho elektrony chovaly, jakoby neměly žádnou efektivní hmotnost a pohybovaly se téměř rychlostí světla.

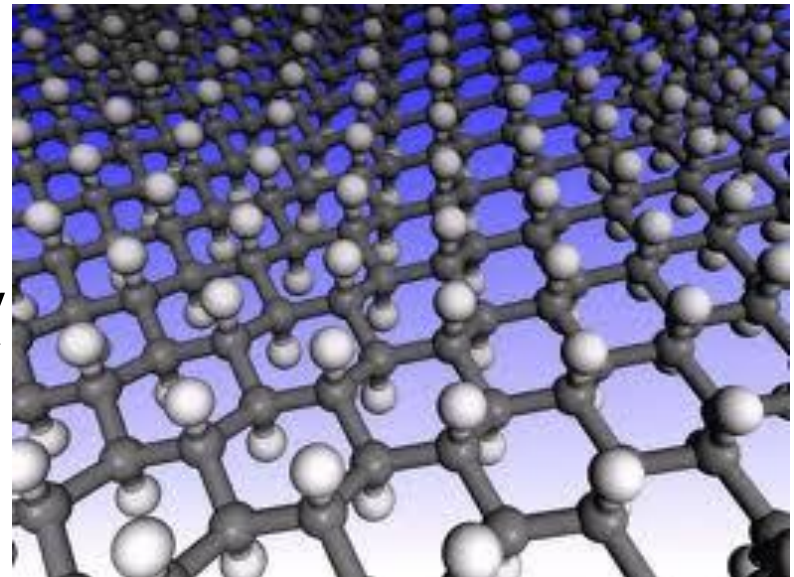


# Mechanické vlastnosti

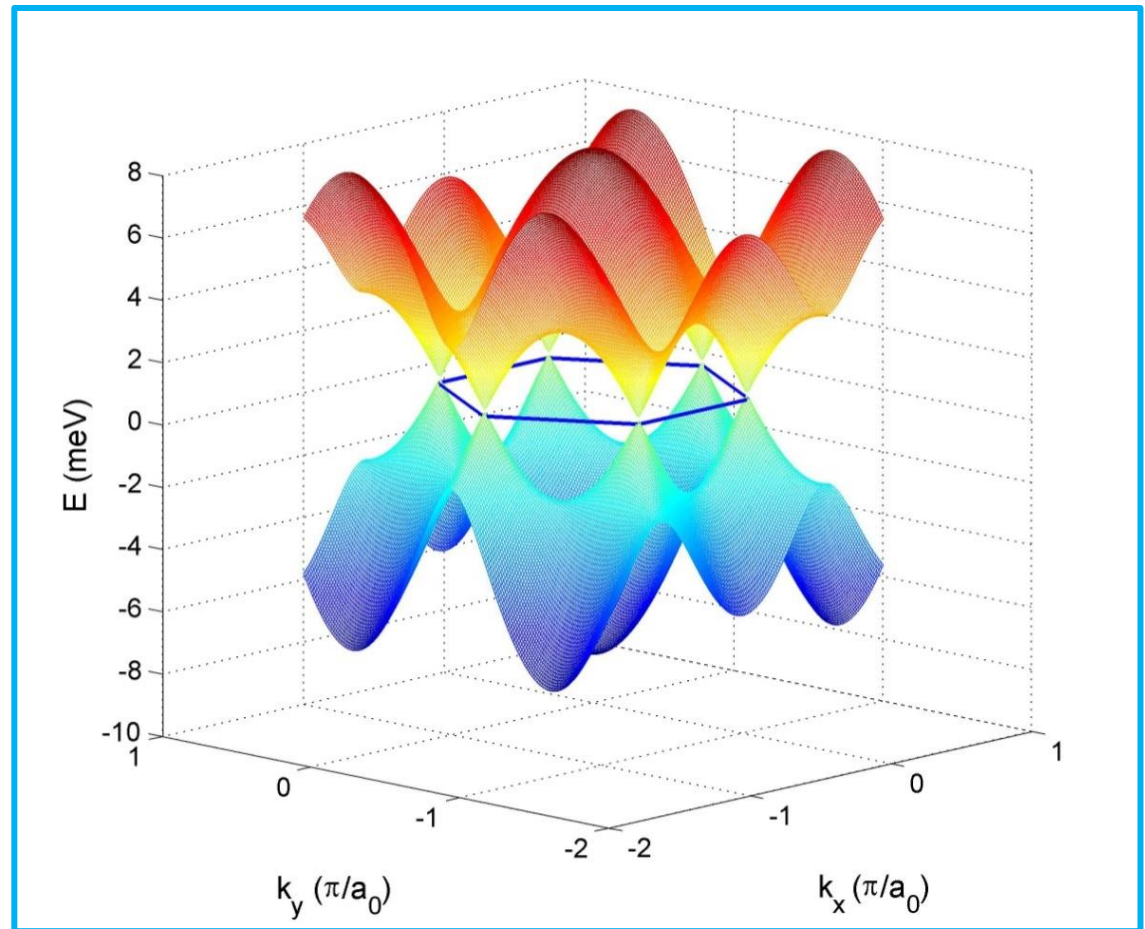
**Modul pružnosti grafenu** podél základní roviny je skoro stejně velký jako u diamantu, přesto však může být roztažen o čtvrtinu své délky. Přitom jeho pevnost v tahu je asi 125krát větší než u oceli; je to zatím největší známá pevnost. Je velmi tenký, ale pro plyny a kapaliny neprostupný.

Nanopásky z grafénu mohou být **polovodivé** a lze z nich zkonstruovat tranzistor, který je rychlejší než tranzistor křemíkový (až do frekvence 1 THz). Grafenové filmy nabízejí levnou alternativu k indium-cínovému oxidu, který slouží jako **průhledná elektroda** pro sluneční články, navíc propouští i část IR spektra záření Slunce.

**Nové materiály na bázi chemicky modifikovaného grafenu by mohly být ještě stabilnější, spolehlivější a užitečnější než samotný grafén.**



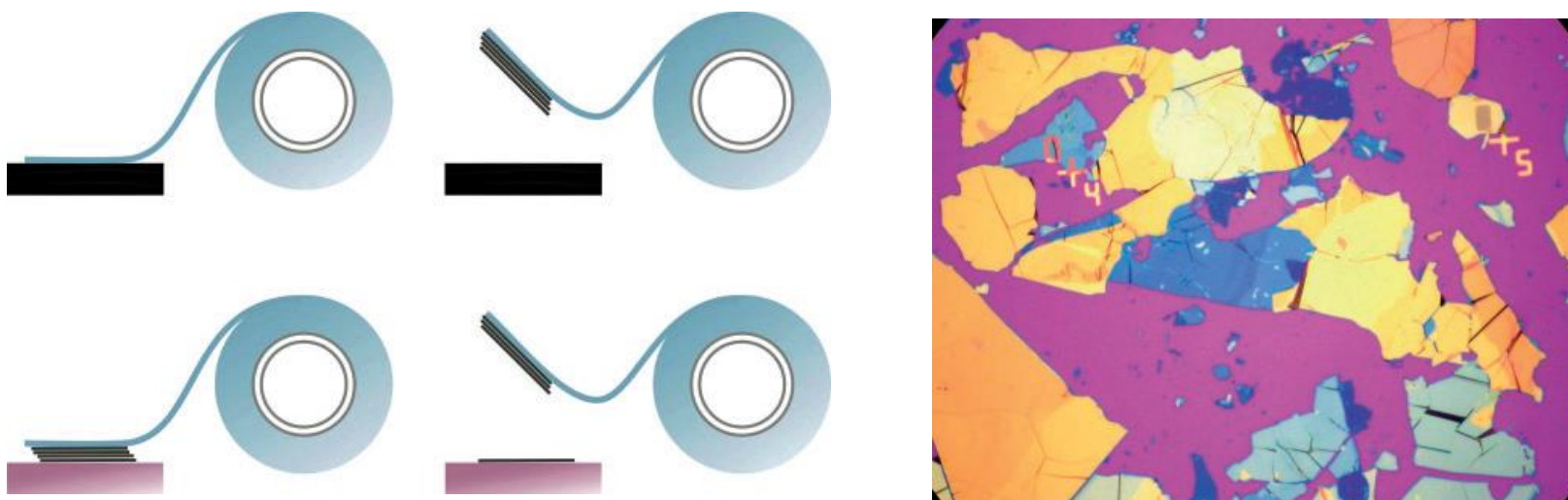
# Energetická struktura grafénu



# The graphene story: how Andrei Geim and Kostya Novoselov hit on a scientific breakthrough that changed the world... by playing with sticky tape

- They were playing about with flakes of carbon graphite in an attempt to investigate its electrical properties when they decided to see if they could make thinner flakes with the help of sticky Scotch tape.
- The original idea of working with graphite was to see if it could be used as a transistor – the fundamental switching device at the heart of computing.
- In fact, Novoselov says, they had almost given up with graphite when they heard about how *microscopy researchers working along the university corridor used Scotch tape to clean the mineral before putting it under the lens.*

# Výroba grafénu metodou mikromechanického štípání (metoda izolepy)



Pozn:

Obyčejná lepicí páska může produkovat například i rentgenovské fotony !

doi:10.1038/nature07378



# Fyzika a lepicí pásky

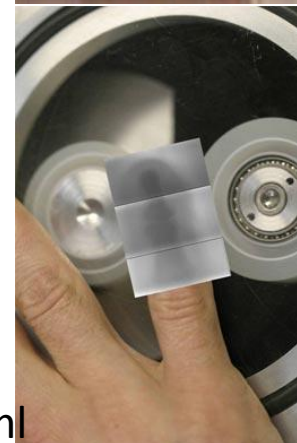
**Relative motion between two contacting surfaces can produce visible light, called triboluminescence.**

**This concentration of diffuse mechanical energy into electromagnetic radiation has previously been observed to extend even to X-ray energies.**

**Here we report that peeling common adhesive tape in a moderate vacuum produces radio and visible emission, along with nanosecond, 100-mW X-ray pulses that are correlated with stick–slip peeling events.**

**For the observed 15-keV peak in X-ray energy, various models give a competing picture of the discharge process, with the length of the gap between the separating faces of the tape being 30 or 300  $\mu\text{m}$  at the moment of emission. The intensity of X-ray triboluminescence allowed us to use it as a source for X-ray imaging. The limits on energies and flash widths that can be achieved are beyond current theories of tribology.**

Depilace jako vyšetřovací metoda??





# Výroba grafénu jinými metodami

1. **Příprava oxidu grafénu** ( grafén s navázanými hydroxylovými a epoxidovými skupinami) a následující redukce. Existuje široká škála redukčních metod zahrnující například využití chemikálií, UV světla, mikrovln, vysokých teplot atd.

2. **Depozice metodami CVD** - dnes často používané postupy, využívající přechodové kovy jako katalyzátory pro tepelný rozklad plyných uhlíkových prekurzorů. Z používaných přechodových kovů má pro své vlastnosti zvláštní postavení měď.

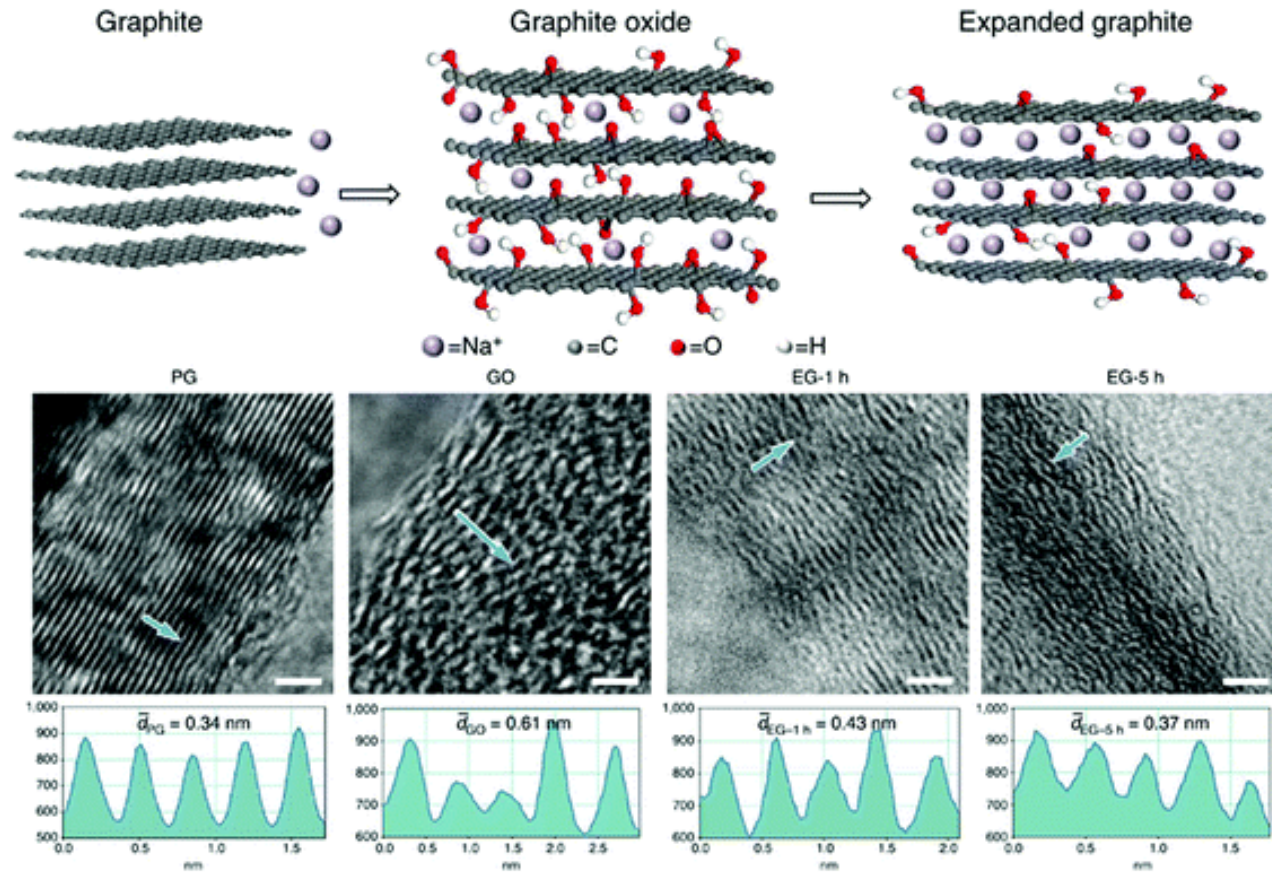
3. **Epitaxe na karbidu křemíku SiC**. Metoda spočívá v zahřívání karbidu křemíku na teploty nad 1300°C, což má za následek sublimaci křemíkových atomů z jeho povrchu a grafitizaci přebytečných atomů uhlíku a tvorbě grafénové vrstvy.

4. **Chemická exfoliace**, spočívá ve vystavení grafitového prášku smíchaného s organickým rozpouštědlem intenzivnímu ultrazvuku. Rozpouštědlo oslabí mezivrstvou soudržnost a ultrazvuk vrstvy odtrhá.

Tento výčet však rozhodně není konečný, naopak, stále jsou vyvíjeny nové a zdokonalovány staré způsoby přípravy grafénu.

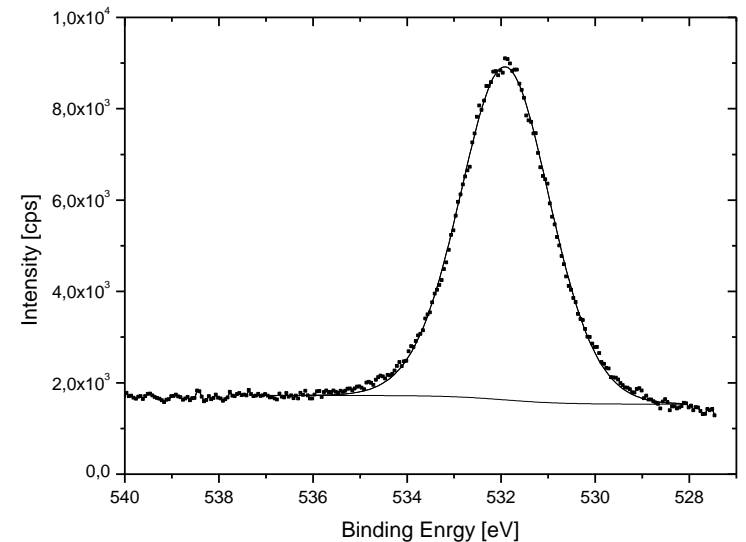
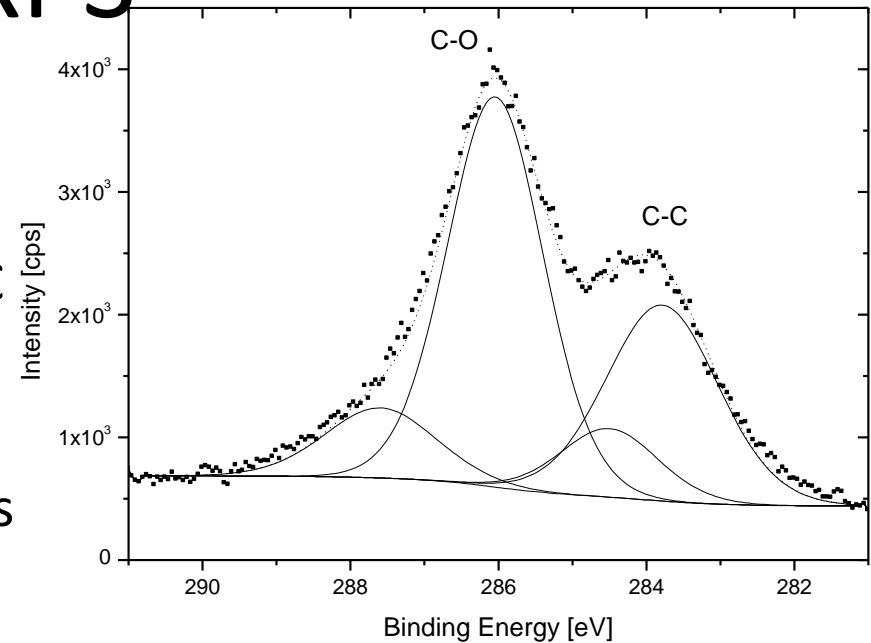
# Příprava oxidu grafénu

Schematic diagram: (left)  $\text{Na}^+$  cannot be electrochemically intercalated into graphite because of the small interlayer spacing; (middle) electrochemical intercalation of  $\text{Na}^+$  into GO is enabled by the enlarged interlayer distance resulting from oxidation; however, the intercalation is limited by steric hindering from large amounts of oxygen-containing groups; (right) a significant amount of  $\text{Na}^+$  can be electrochemically intercalated into EG owing to a suitable interlayer distance and reduced oxygen-containing groups in the interlayers. Below are high-resolution TEM images showing cross-sectional layered structures for PG, GO, EG-1 h and EG-5 h.



# GO XPS

The graphene oxide (GO) used in the nanocomposite syntheses was investigated. The expected element C (62 at.%), O (35 at.%) and contamination from glassware Si (3 at.%) were detected in survey XPS spectra. The high resolution peak C 1s has multiple component character where the components can be identified as following C-C bonds (284 eV – 30 %) in **graphite hexagonal matrix**, -C-C- bonds (284.5 eV – 9 %) from surface carbon contamination, dominant C-O bonds (286 eV – 51 %) and small amount of probably complex -C-O- or C=O bonds (287.6 eV – 10%)



# Grafén

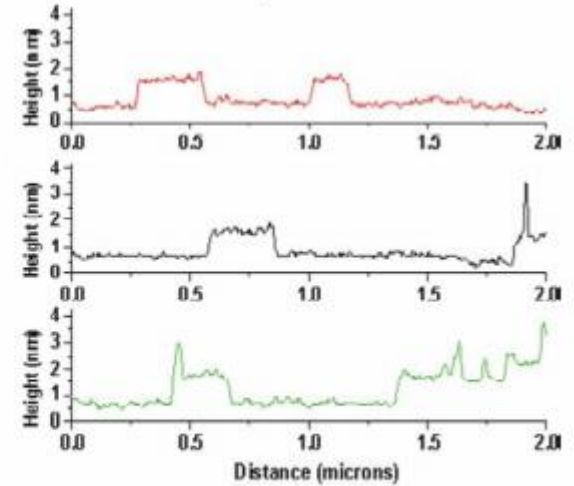
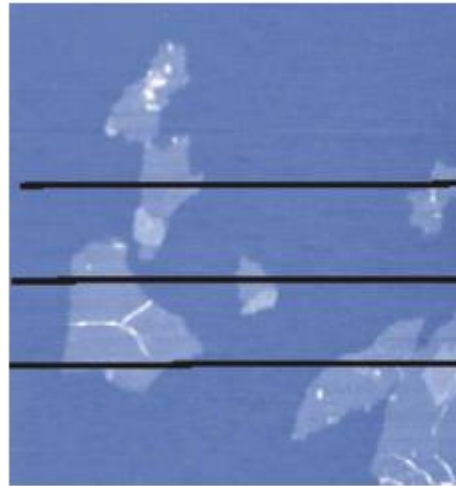
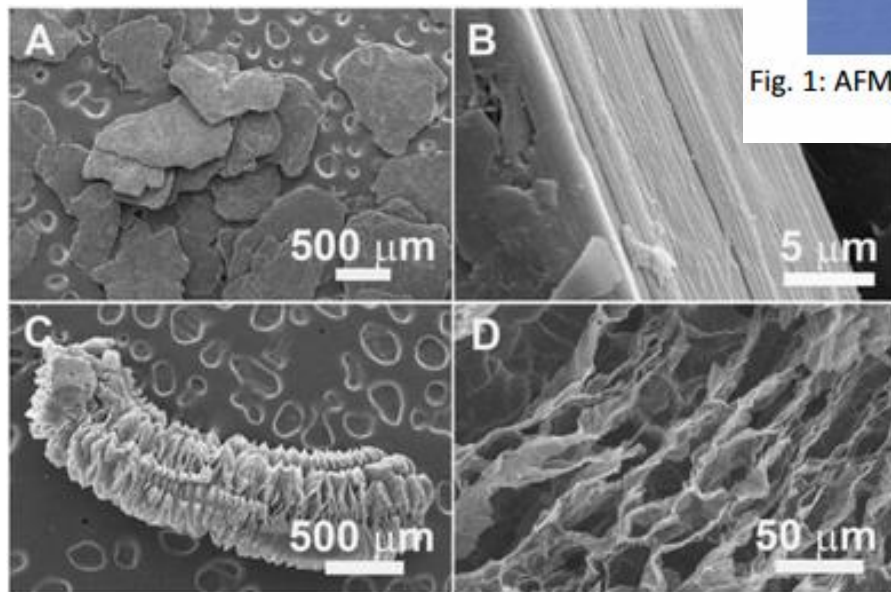


Fig. 1: AFM image of exfoliated GO sheets with three height profiles acquired in different locations (Stankovich et al. 2007)



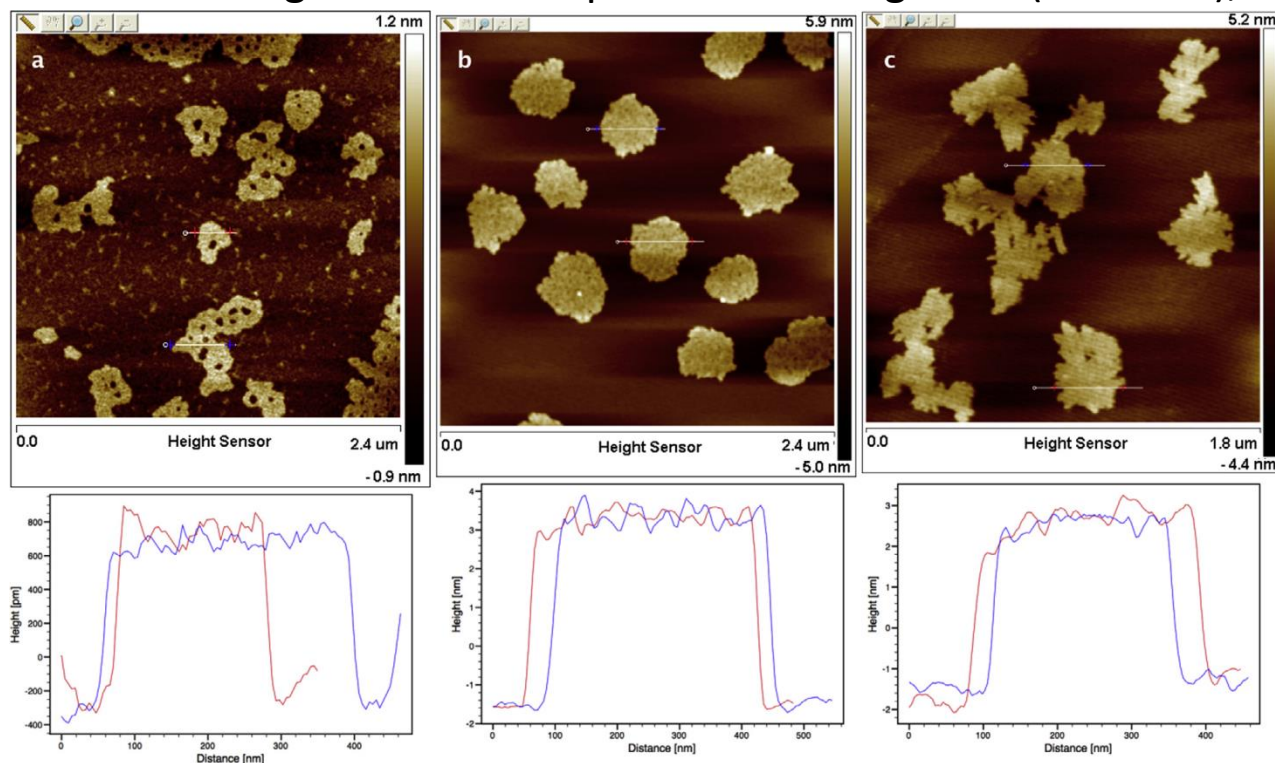
SEM images of the characteristic structures of flake graphite (A, B) and expanded graphite (C, D).



# Ultrazvukem

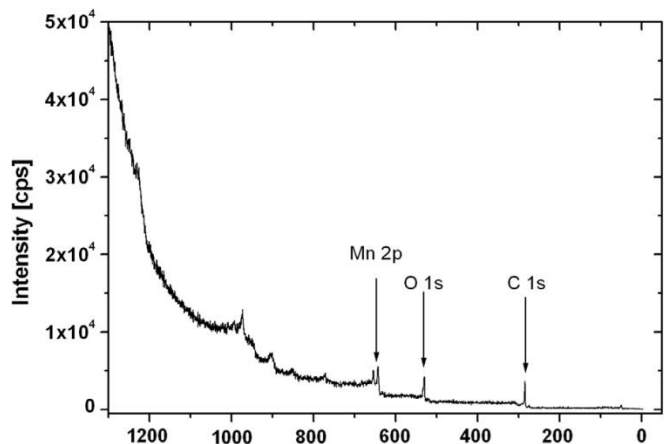
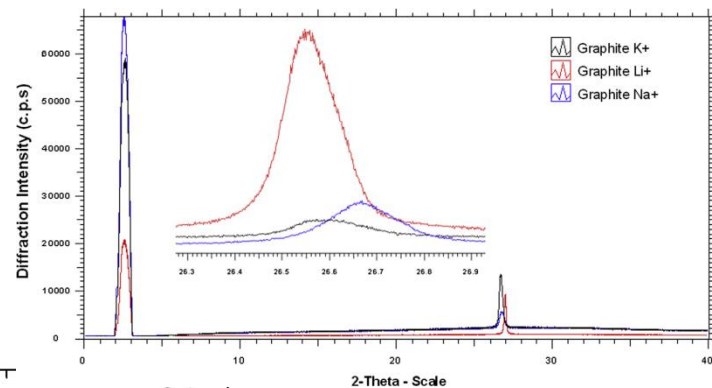
For ultrasound treatment procedure was used industrial processor UIP2000hd (20 kHz, 2000 W, Hielscher Ultrasonics, GmbH) with water cooled pressurized stainless-steel reactor (100 ml).

Method of exfoliating graphite in an alkaline environment is based on a process related to the cavitation phenomenon.  $\text{KMnO}_4$  and  $\text{KOH}$  react at elevated temperatures to form dark green unstable potassium manganate ( $\text{K}_2\text{MnO}_4$ ),

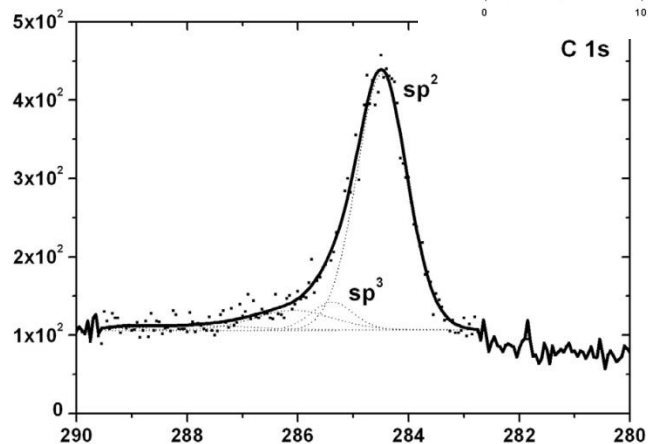


AFM images of the exfoliated graphite using (a)  $\text{KOH}$  and  $\text{KMnO}_4$ , (b)  $\text{NaOH}$  and  $\text{NaMnO}_4$  and (c)  $\text{LiOH}$  and  $\text{LiMnO}_4$ .

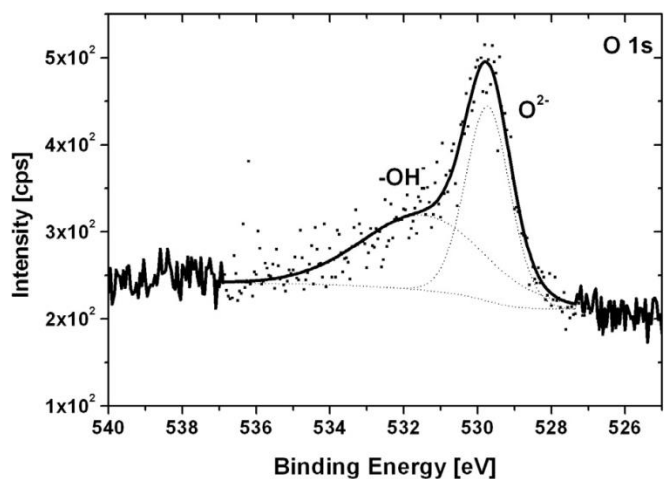
# TEM, XPS a XRD



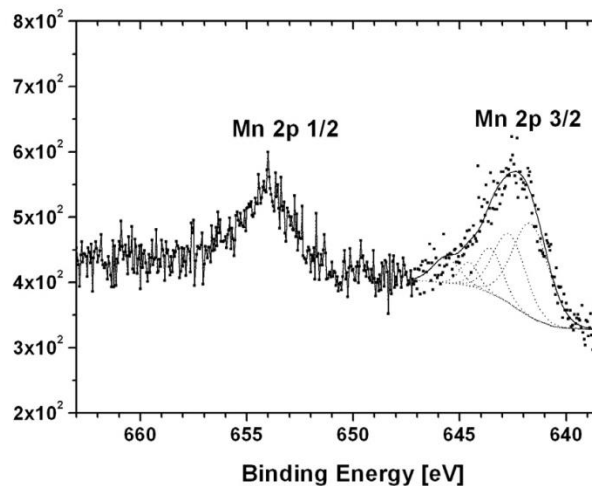
(a)



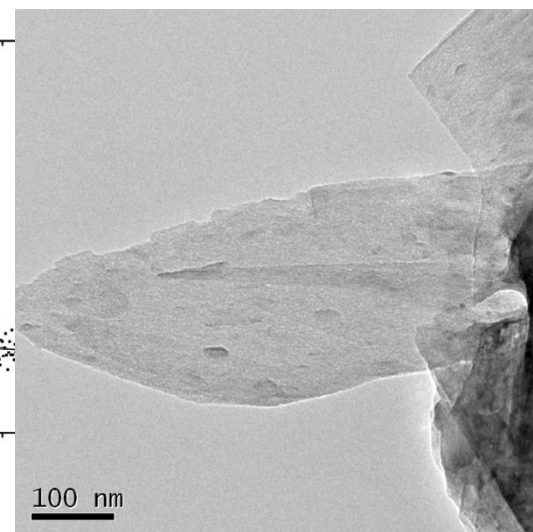
(b)



(c)

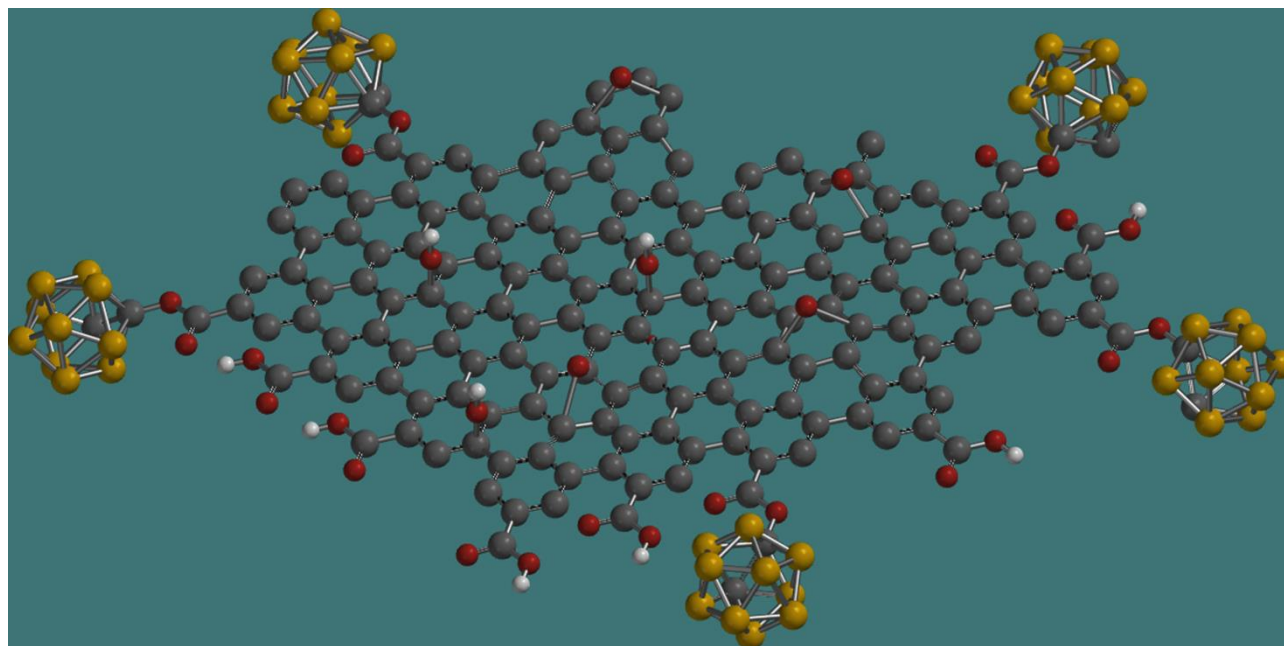


(d)



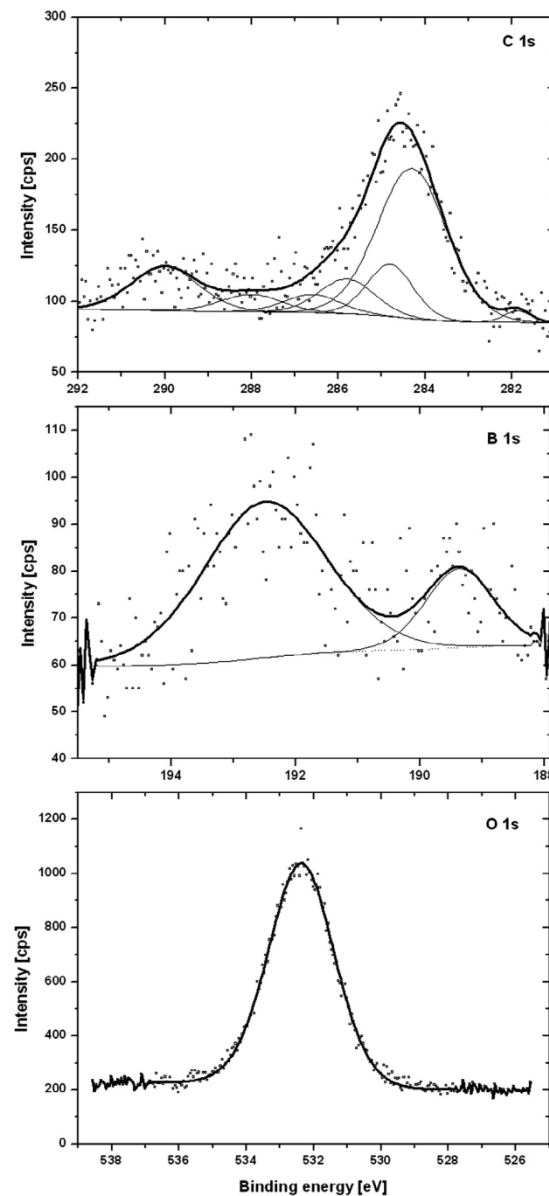
# B funkcionalizovaný grafén

Carborane functionalized graphene oxide, a precursor for conductive self-assembled monolayers.



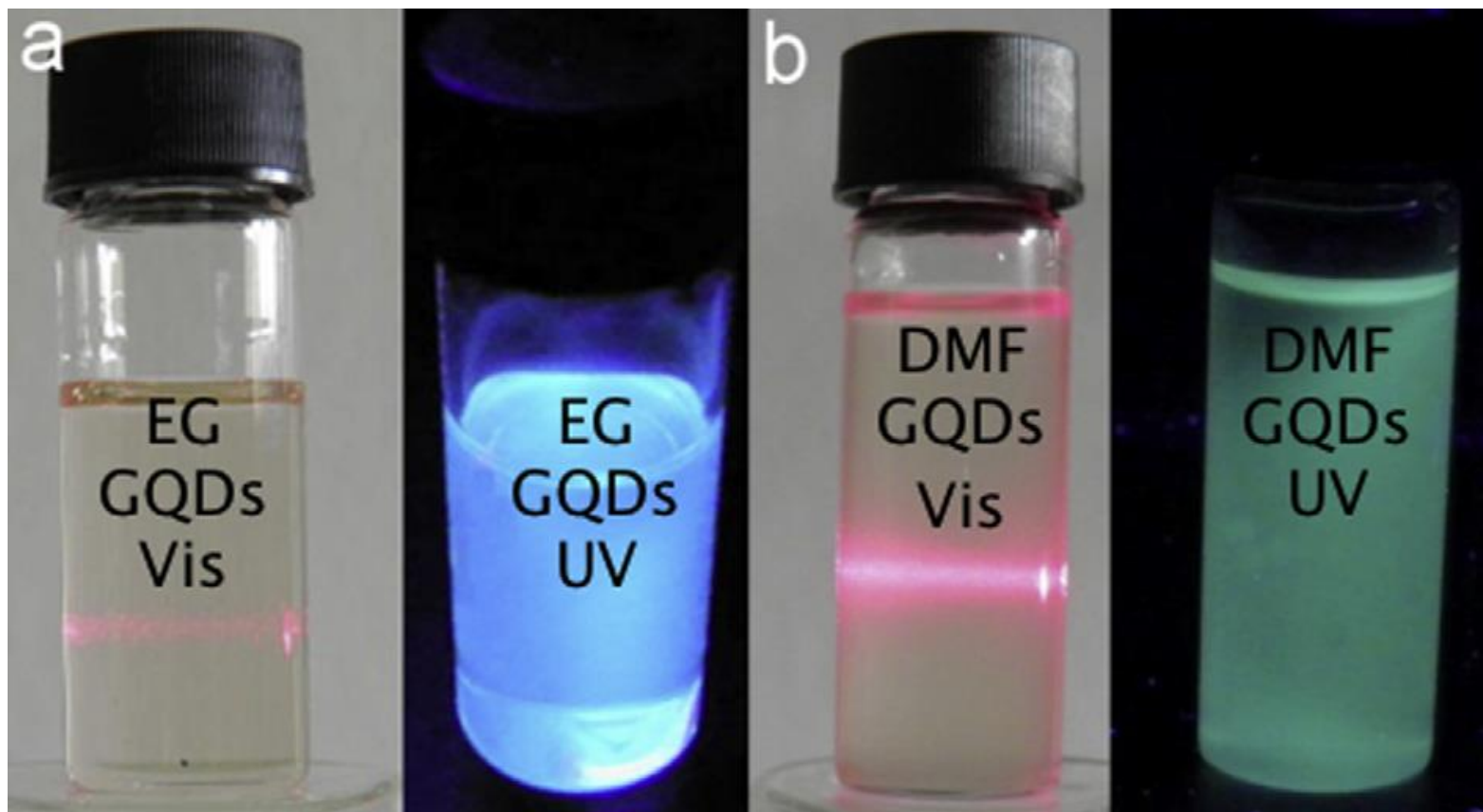
Scheme of o-carborane edge-functionalized GO layer.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.carbon.2013.10.003>



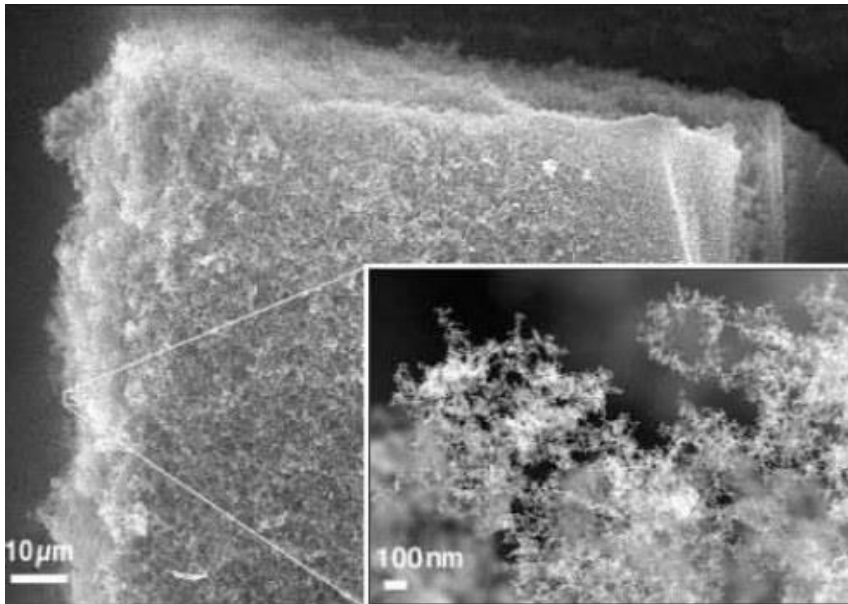


# Blue and green luminescence of reduced graphene oxide quantum dots



Photographs of blue (a) and green photoluminescent GQDs (b) prepared by refluxing GO in ethylene glycol (EG\_GQDs) and dimethylformamide (DMF\_GQDs) and excited at 365 nm (right images). The red tracks in left images are along a laser beam.

# Nanopěna



# Nanopěna

Zajímavou formu uhlíku se podařilo vytvořit vystavením uhlíkového terčíku v argonové atmosféře působení výkonného pulzního laseru. Mikrostruktura (předchozí slide), jež se vytvořila po zahřátí na teplotu 10 000°C, připomíná vzájemně pospojované sítě uhlíkových trubiček 5 nm dlouhých.

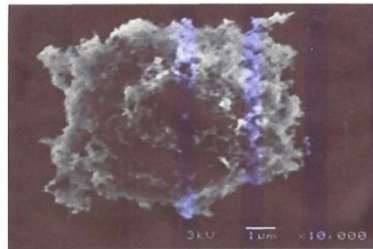
Tato forma pevné látky byla označena jako nanopěna a po studiu elektronovým mikroskopem lze novou strukturu považovat za pátou formu uhlíku.

Vzorky připravené z uhlíkové nanopěny **vykazují feromagnetické vlastnosti**, což je u látky z čistého uhlíku nanejvýš překvapivé. Všechny ostatní známé formy uhlíku se totiž až dosud chovaly jako látky bez měřitelného magnetického momentu. Efekt za pokojové teploty vymizí po několika hodinách, ale může se udržet mnohem déle za nízkých teplot.

Uhlíková nanopěna by mohla například posloužit při léčbě rakoviny. Po vstříknutí látky do nádoru by totiž bylo možné jej zničit lokálním zvýšením teploty po pohlcení infračerveného záření nanopěnou.

# Saze

- Mezi známé uhlíkové nanočástice lze zařadit například saze o rozměru (10–500nm ) vznikající nedokonalým spalováním organických látek.



Částice saze

Schématicky znázorněná  
struktura sazí

