

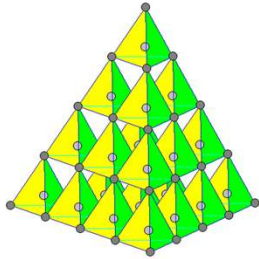
Nanotorud ja nende rakendused

Rait Rand

Sissejuhatus - süsinik

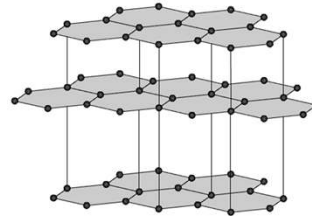
Süsiniku allotroopsed teisendid:

- Teemant



Väga tugev (>100GPa)
Optiliselt läbipaistev
Väga hea soojusjuht
Elektriisolaator

- Grafiit



Pehme (1GPa)
Optiliselt läbipaistmatu
Halb soojusjuht
Elektrijuht

Keemilise elemendi omadust mitut lihtainet moodustada nimetatakse **allotroopiaks**. Ühe ja sama keemilise elemendi erinevaid lihtaineid nimetatakse **allotroopseteks teisenditeks** ehk **allotroopideks**.

Süsinik moodustab vaid 0,2% maakera massist on ta kogu elusa looduse aluseks 13. kohal elementidest.

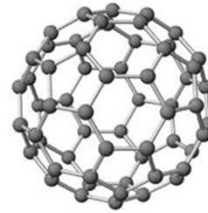
Süsinikku iseloomustab omadus ennast teiste süsiniku ja kergeate aatomitega seostada kulutades selleks minimaalselt energiat.

Eestis on levinumateks süsinikuühenditeks lubjakivi ja dolomiit.

Grafiidi sideme pikkus u. 150pm

Fullerenid

- Fullerenid avastas 1985 Harold W. Kroto.
Tugeva laseriga süsinikku arustades leiti et ülekaalus 60 aatomiga moodustised.



Diameeter u. 1nm

Fullereni läbimõõt on u. 1µm

Samal ajal lasti vaakumkambrisse paisuda heeliumil, mis momentaanselt jahutas tekkinud süsinikuaaurud, misjärel teoreetiliselt oleksid pidanud moodustuma erisuguse suurusega süsiniku klastrid. Uurijad "kaalusidki" tekkinud tolmu ära, kuid vastu ootusi ei olnud tekkinud erineva suurusega klastreid, vaid "kaalud" näitasid millegipärast, et tekkinud tolmus olid ülekaalus moodustised, mis koosnesid 60 süsiniku aatomist. Eksperimendid kestsid ühtekokku 11 päeva ja selle aja jooksul sai selgeks, et avastati midagi enneolematut - uut tüüpi süsinikustruktuur.

Leidub näiteks tahmas.

Sideme pikkus on u. 0,7nm

Fullerenid koosnevad 20 heksagonist ja 12 pentagonist.

Leitud on et boorist saadud 80 aatomiga fullereneid on stabiilsemad, mida tegelikult tõestas ka projekteerija Fuller B80

Fullerenid - kasutusala

- Katsete järgi laserile läbitungimatud. Näiteks sõjanduses kaitsena
- Elastsuse ja tugevuse tõttu uuritakse võimalusi kasutada laskemoonana.
- Meditsiinis: HIV viiruse vastase vaktsiini leidmisel.
- Sidudes fullerene teiste elementide ja materjalidega saab luua erakordsete omadustega materjale näiteks superkondensaatid jne.

Uurijad Kenyan ja Wudl on avastanud, et C60 fullereneid tõkestavad HIV viiruse proteaasi (valke lagundav ferment), ensüüm mis põhjustab viiruse arengut.

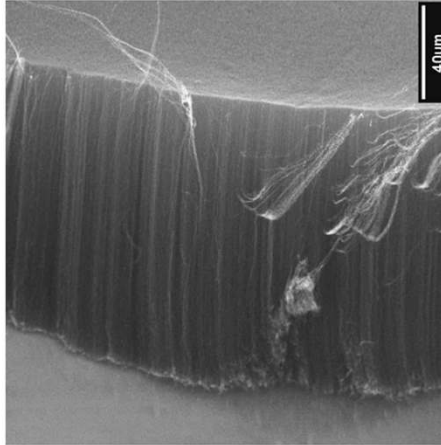
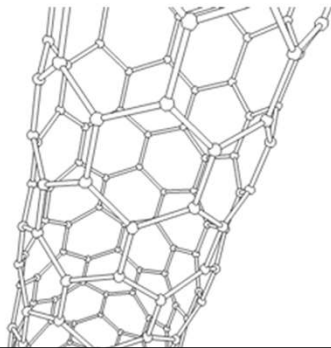
Nanotorud

- 1991 avastas Sumio Iijima kasutades kaarleeki kahe süsinikelektroodi vahel.
- 1993 suudeti valmistada ühe kihiline nanotoru.

Umbkaudsed mõõtmed:

Diameeter: 1-50nm

Pikkus: 10-100 μ m



Need pikergused torukesed olid aga äärmiselt peenikesed, läbimõõduga vaid mõni nanomeeter.

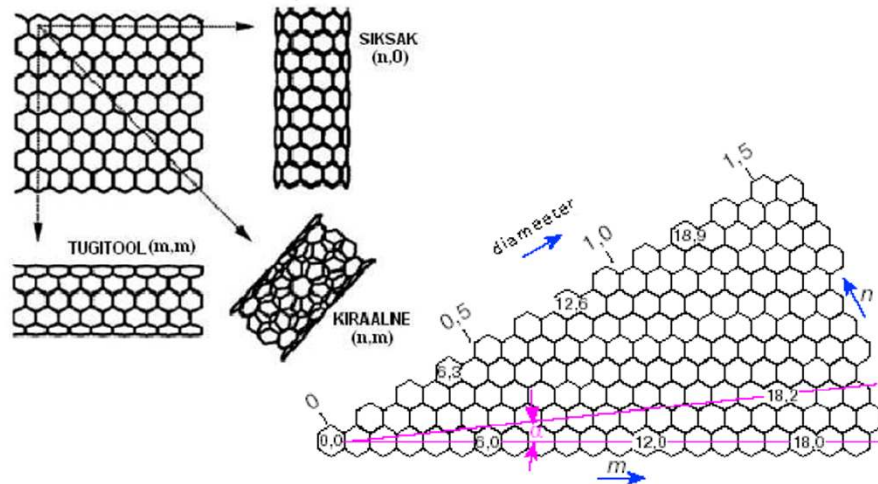
Avastatud on nanotorud ka damaskuse terases mis lubab teda töödelda väga tugevaks ja teravaks.

Ideaalne naotoru on sisuliselt süsiniku leht mis on kokku rullitud.

Sõltuvalt rullimise nurgast on ta kas

Nanotorude elektrilised omadused

- Nanotoru elektrilised omadused sõltuvad tema diameetrist ning “kokkurullimise” moodusest.



Nanotorude väiksed mõõtmed ning struktuuri sümmeetrilisus lubasid oletada huvitavaid kvantefekte ning elektrilisi ja magnetilisi omadusi.

Need oletused on ka kinnitust leidnud katsete ning tõestuste näol.

$D=1,356$

$Y=3,2$

Nanotorude elektrilised omadused

- Diameeter on määratud järgmiselt:

$$D = \frac{3d_0}{\pi} \sqrt{m^2 + n^2 - mn}$$

d_0 - süsiniku aatomite vaheline kaugus võres (0,142nm)

Üheseinaliste nanotorudel on metalliline juhtivus kui $n-m$ jagub kolmeka ehk $(n-m)=3q$ kus q on täisarv.

Pooljuht nanotoru keelutsooni laius avaldub järgnevalt:

$$E_g = 2d_{cc} \gamma / D$$

Kus d_{cc} - süsiniku aatomite vaheline kaugus võres (0,142nm)

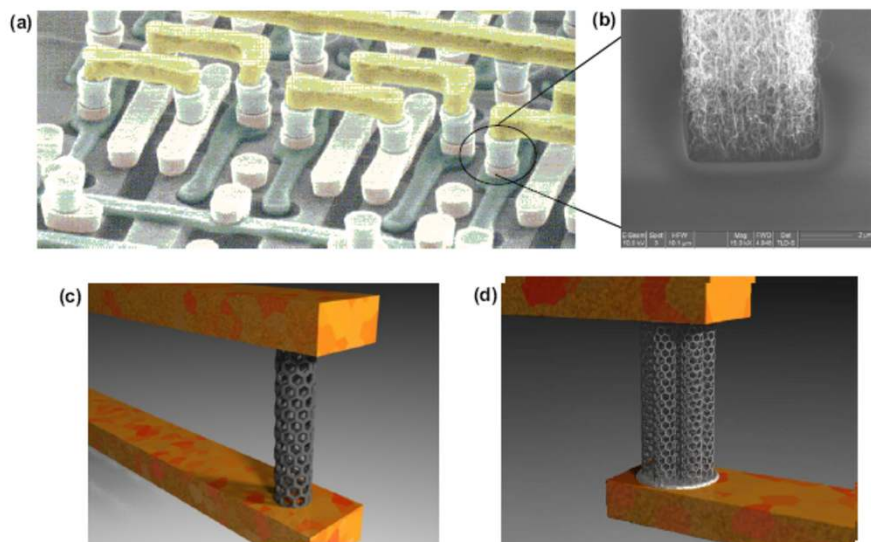
γ - lähima naabri leidmise parameeter (2,5-3,2eV)

D - nanotoru diameeter

Kõik (m,m) tüüpi torud on metallilise juhtivusega.

2,5

Nanotorude elektrilised omadused



Uuringutega on selgunud et nanotoru juhivad voolu u. 1000 korda paremini kui vaskjuhe.

(a) A pictorial representation of the wiring in an integrated circuit. The horizontal interconnects are shown in yellow and the vertical interconnects are shown in grey.

(b) MWNT räni oksiidiki külge kasvatatud. Mida saab kasutada näiteks läbiviikude tegemiseks.

(c) A pictorial representation of the limit where a SWNT is used as a vertical interconnect in what may eventually become a molecular circuit.

(d) An interconnect based on a bundle of SWNTs will have a low bias resistance of 6.5 k divided by the number of nanotubes.

(Source: (a) IBM Journal of Research and Development, (b) from [Kre02], (c) and (d) courtesy of

Infineon Technologies.)

Nanotorude mehhaanilised omadused

- Nanotorud on moodustunud σ sidemetest, mis teeb nad piki oma telge väga tugevaks

	Young'i moodul (GPa)	Tõmbetugevus (GPa)	Tihedus (g/cm ³)
MWCNT	1200	~150	2,6
SWCNT	1054	75	1,3
SWCNT-e kimp	563	~150	1,3
Grafiit (tasapinnaline)	350	2,5	2,6
Teras	208	0,4	7,8

- Võrdluseks on tabelis näidatud MWCNT, SWCNT, SWCNT kimbu, grafiidi ja terase andmed

Tabelis on ara toodud üheseinalise 10,10 toru andmed

Youngi moodul on toru telje suunaline elastsusmoodul

Katsed ongi näidanud et need on kõrgeima tõmbetugevusega ja youngi mooduliga tugevamad isegi teemandist.

Youngi moodul ei sõltu toru kiraalsusest kuid sõltub toru diameetrist. (rakendatud jõud/venitus)

Kõrgemad väärtused on torudel mille diameeter jääb 1-2nm vahele.

Suurema diameetriga torude omadused lähenevad grafiidi omadustele ja ei ole mehhaaniliselt enam nii satbiilsed.

MWCNT koosneb üksteise sees olevatest torudest ning youngi moodul sellisel torul on summa erineva diameetriga torude Youngi moodulitest ning nanotorude vahelisest van der Waalsi jõust.

Seetõttu on mitmekihilise toru elestsuskonstant suurem kui ühekihilisel, tavaliselt 1,1-1,2 TPa

Nanotorude mehhaanilised omadused

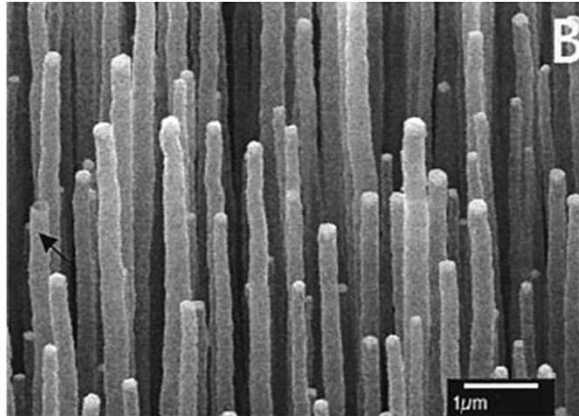
- Nanotorud on võimelised venima kuni 15%
- Tõmbetugevus 150 GPa
- Kõik nanotoruga seotud elastsed deformatsioonid (venitus, kokkusurumine, vääne paine) on mittelineaarsed.
- Vaakumis stabiilne ka 2800C juures
- Umbes 2 korda parem soojusjuht kui teemant

Enamus jäigad materjalid võimaldavad venimist ainult 1% ennem purunemist.

Nii suur pikivenivus tuleb **elastsest pikipaindes?** mille tõttu mehhaaniline pinge vabaneb

Nanotorude saamise tehnikad

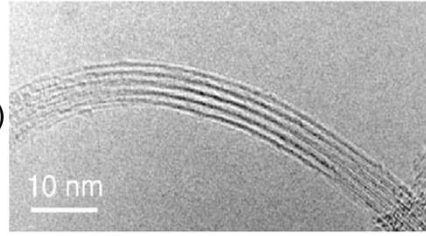
- Keemiline aurufaasist sadestamine (CVD)
 - Suhteliselt odav
 - SWCNT/MWNT
 - Sümmeetriliselt paigutunud CNT



Chemical Vapor Deposition

Nanotorude saamise tehnikad

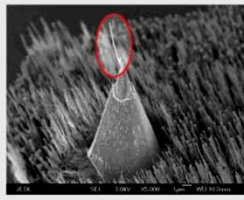
- Kaarleegi meetod
 - SWCNT/MWNT
 - Pakktöötlus (CNT kimbud)
 - Suhteliselt odav
 - Palju kõrvalprodukte



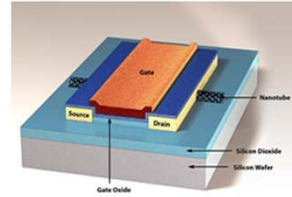
- Lasertöötlus
 - SWCNT/MWNT
 - Yield alla 70%
 - Väga võimas laser
 - Kallis (energiamahukas)
 - Enimkasutatud



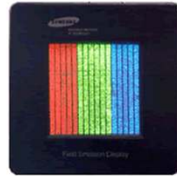
Nanotorude kasutusvalad



- AFM mõõtetervik
- Molekulaar elektroonika



- FED seadmed (displeid)



- Biomeditsiinis
- Materjalitehnoloogias
- ???



- Energia salvestamine:
 - Vesiniku hoiustamise efektiivsuse tõstmine
 - Superkondensaatorid

Väljaemissioonkuvar

