

ÉRZÉKELŐK

Dr. Pődör Bálint

Óbudai Egyetem KVK Mikroelektronikai és Technológia Intézet

25. ELŐADÁS: SZÉN NANOCSONYOK (CNT) ÉS CNT SZENZORIKA



2013/2014 2. félév

1

SZÉN NANOCSONYOK (CNT)

A nanotechnológiában kulcsfontosságúak a *szén nanocsonyok*. Az egyfalú szén nanocsony egy nagyon kis átmérőjű, belül üres egyenes henger, amelynek a "falán" helyezkednek el a szénatomok. Elnevezésük onnan ered, hogy a henger átmérője a nanométeres tartományba esik, vagyis ezek a csövek négy nagyságrenddel vékonyabbak az emberi hajszálnál. Ez azt jelenti, hogy a kerületen, a cső tengelyére merőlegesen körbehaladva legfeljebb néhányszor tíz szénatomot találunk. Ugyanakkor hosszuk tipikusan több tíz- vagy százezerszer nagyobb vastagságuknál.

2

SÉN NANOCSSÖVEK (CNT)

Szén nanocsöveket először fullerének előállításánál figyeltek meg, 1991-ben. Az ívkisüléssel párosított elpárologtatáshoz használt grafitrúd felületén keletkezett kormot vizsgálták elektronmikroszkóppal. A felvételeken koncentrikusan egymásba ágyazott csöveket lehetett látni, amelyek száma esetenként a tízet is meghaladta. Az ilyen többfalú szén nanocsövek külső átmérője 2 és 20 nm közé esik, a szomszédos falak távolsága 0,34 nm, vagyis megegyezik a grafit párhuzamos rétegei közötti van der Waals-távolsággal.

3

SÉN NANOCSSÖVEK (CNT)

A kutatások a 90-es évek közepén lódultak meg, amikor lehetővé vált egyfalú szén nanocsövek előállítása megfelelő katalizátorral adalékolt grafit lézeres elpárologtatásával. A szén nanocsövek előállítása manapság leggyakrabban valamilyen széntartalmú gáz katalitikus elbontásával (*chemical vapor deposition*, CVD) történik. Ennél az eljárásnál a katalizátorrészecskének egy hordozóra való megfelelő ráhelyezésével a létrejövő mintázat akár tervezhető is, például egyenletes sűrűségű "erdő" hozható létre szén nanocsövekből. Előállítottak már centiméteres hosszúságú nanocsövekből álló erdőt is, gyufaskatulya-méretben.

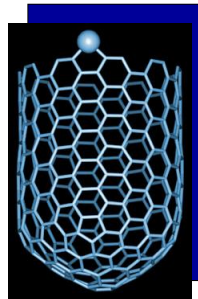
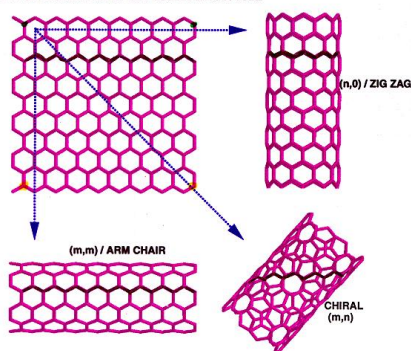
4

SZÉN NANOCSÖVEK (CNT)

CNT : csőformájú szénképződmény mintegy 1nm átmérővel. Hossza: néhány nanométertől mikronig.

CNT: geometriailag egy kétdimenziós

• STRIP OF A GRAPHENE SHEET ROLLED INTO A TUBE

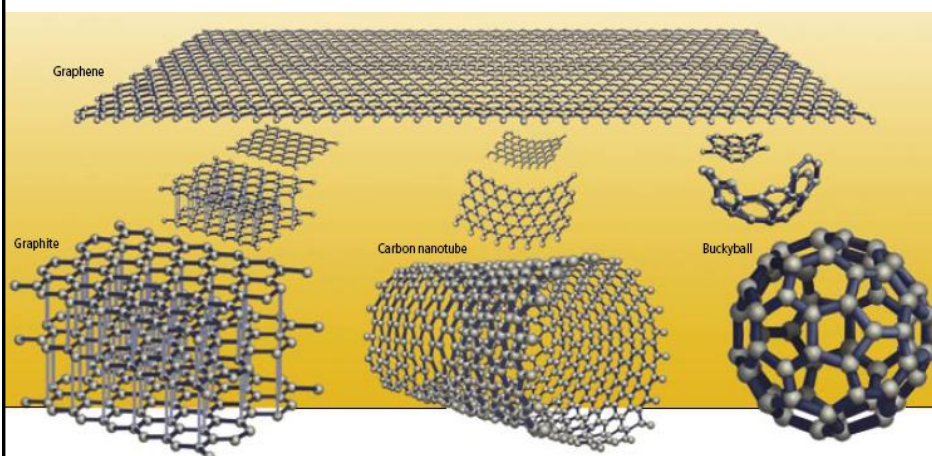


CNT: gyémántkeménységű, szakító szilárdsága ~ 200 GPa.
CNT: lehet fémes (a réznél jobb) vagy félvezető, kiralitásától függően

**NEM CSAK SZÉN ÉS
NEM CSAK CSŐ!**

5

C (SZÉN): MOLEKULÁRIS ALAKZATOK



6

FULLEREN ÉS GRAFÉN

C_{60} fullerén vagy "buckyball" vagy buckminsterfullerén (R.B.Fuller építész nevééről, aki hasonló szerkezeteket tervezett).

60 szénatom, 20 hatszög, 12 ötszög, futballabda alak.

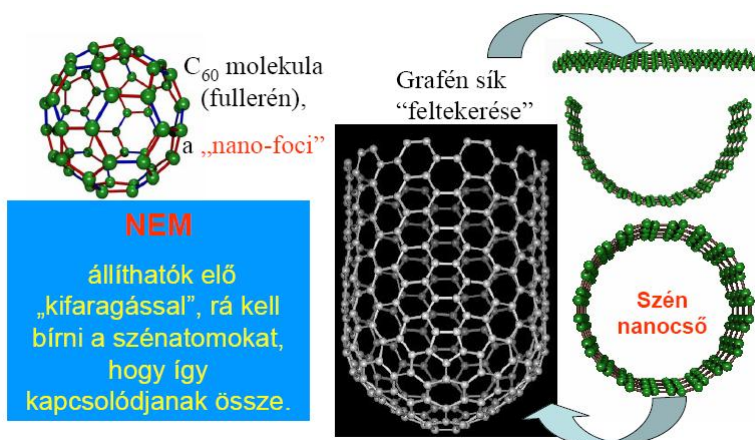
Kémiai Nobel díj 1996: H. Kroto, K. Smalley, R. Curl

Grafén: egy atomréteg "vastag" lemez

Fizikai Nobel díj 2010: A. Geim és K. Novoselov

7

FULLERÉN ÉS SZÉN NANOCső



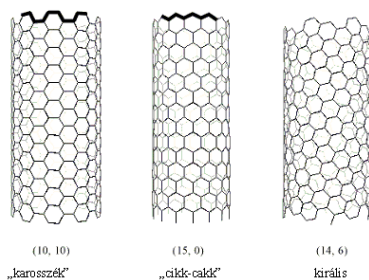
8

CNT: SZÉN NANOCSŐ

Az egyenes, egyfalú szén nanocső egy olyan nanoobjektum, amelyet úgy képzelhetünk el, mint az egyetlen atom vastagságú grafit réteg (grafén) tökéletes hengerré tekerése nyomán nyert alakzatot. A többfalú szén nanocső több, koncentrikusan egymásba helyezett, egyfalú csőből épül fel, úgy, hogy az egyes falak közötti távolság megegyezik a turbóréteges grafitra jellemző, 0,34 nm értékkel.

9

CNT SZERKEZETEK



Egyenes szén nanocsövek szerkezeti modellje. A három jellegzetes nanocső család: a karosszék csövek esetében egyik C-C kötés merőleges a cső tengelyére, a cikk-cakk csövek esetében egyik C-C kötés párhuzamos a cső tengelyével, míg a királis csövek esetében a cső tengelye és a hozzá legközelebb eső C-C kötés 0 és 30° közötti szöget zár be.

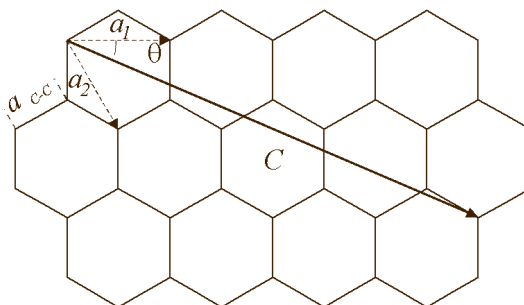
10

CNT SZERKEZETEK

Az egyfalú, egyenes szén nanocső elektromos tulajdonságait az a mód határozza meg, ahogyan a grafén réteg feltekerésére sor kerül, ez egyértelműen megadható az ún. feltekerési vektor segítségével. A vektor origójában és végpontjában található szénatomok „egybeolvasztásával” keletkező hengerfelületen, a feltekerési vektor a cső tengelyére merőleges kört alkot. A $C = n a_1 + m a_2$ egyértelműen azonosítja a szén nanocsövet, az egységvektorok (n, m) szorzóinak segítségével.

11

CNT SZERKEZETEK



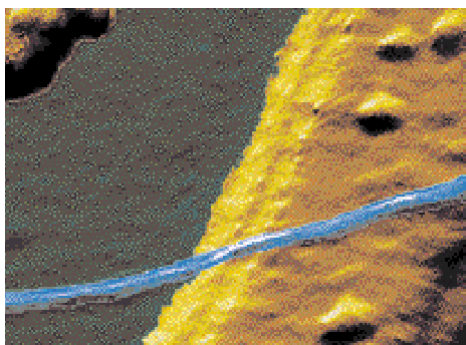
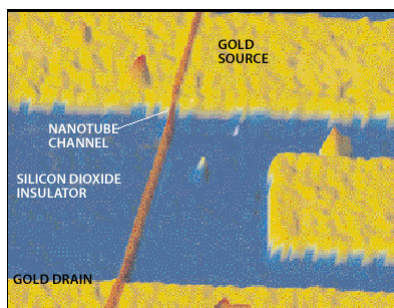
A grafén sík nanocsővé tekerését meghatározó feltekerési vektor C , a_1 és a_2 a grafén sík két egységvektora, a_{C-C} a szén-szén kötés.

12

Carbon Nano Tube - CNT

Novel materials with unique electrical and mechanical properties

Made of pure carbon, as regular and symmetric as crystals, exquisitely thin, impressively long macromolecules.



CNT

Felépítés szerint csoportosítható :

1. Single Wall CNT (SWCNT)
A cső fala egyetlen atomrétegből áll.
2. Multiple Wall CNT (MWCNT)
Több rétegből áll a cső fala.

Ismert felhasználási területek :

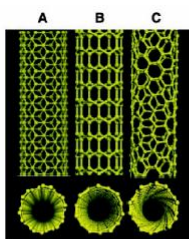
1. GM - műanyag festék bevonata alatt CNT, amely festéskor elektromosan töltött -> szebb festékbevonat
2. CNT alapú világító eszköz
3. CNT alapú kijelző

CNT: ELEKTROMOS TULAJDONSÁGOK

A feltekerés mikéntje befolyásolja az egyfalú nanocső elektromos tulajdonságait; minden karosszék konfigurációjú nanocső fémes viselkedésű, a cikkcakk nanocsövek közül azonban csak minden harmadik ilyen, a többiek félvezető tulajdonságokkal rendelkeznek. A királis nanocsövek esetén a kiralitás határozza meg a cső viselkedését.

15

CNT TULAJDONSÁGAI

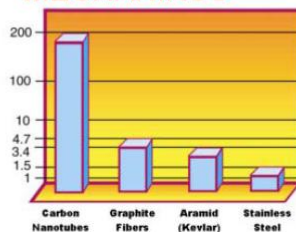


ELKTRONSZERKEZET

- fém vagy félvezető (feltekerés sz.)
- ballisztikus vezető
- nanoelektronika „szilíciuma”



MECHANIKUS



Egyfalú szén nanocsövek szakítószilárdsága (GPa) összevetve már alkalmazást nyert nagy szilárdságú anyagokéval
K.-T Lau & D. Hui, Composites B, 33 (2002) 263

16

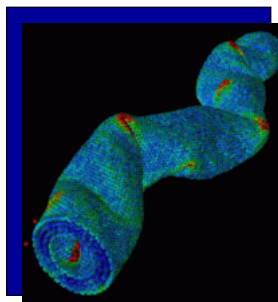
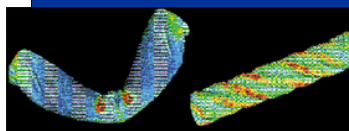
SZÉN NANOCSÖVEK TULAJDONSÁGAI

A legerősebb és leghajlékonyabb molekuláris anyag a C-C kovalens kötések és a varratmentes hexagonális hálós architektúra miatt

A Young modulus 1 TPa felett (70 GPa alumíniumra és 700 GPa C-szállra)
-a szilárdság/súly arány 500-szor nagyobb mint alumínium esetén, hasonló javulás acélhoz és titánhoz képest és egy nagyságrenddel jobb mint a grafit/epoxy keverék

A maximális deformáció ~10%-al magasabb bármilyen anyagénál

A hővezető képesség ~ 3000 W/mK axiális és igen alacsony a merőleges, radiális irányban



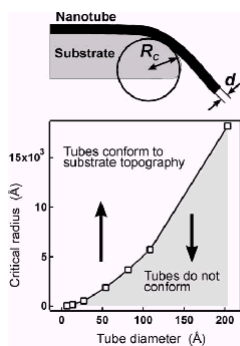
17

MECHANIKAI TULAJDONSÁGOK

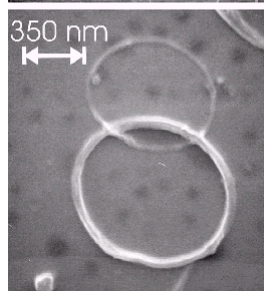
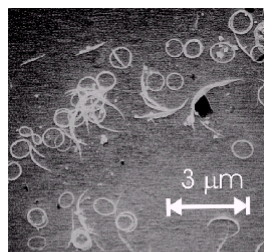
A szén nanocsövek mechanikai tulajdonságai is különlegesek. Szakítószilárdságuk példa nélküli, 75-ször nagyobb az acélénál, de még a régebről ismert szénszállaknál is 10-15-ször erősebbek. Ugyanakkor sűrűségük csak hatoda az acélénak. Mindez rendkívül kedvező lehetőségeket teremt könnyű és nagyon erős anyagok előállítására. A szén nanocsövekkel erősített műanyagok egy napon a könnyű és erős kompozitok új családját jelenthetik, amelyek különösen a gépkocsi- vagy repülőgépgyártásban válhatnak nélkülözhetlenné. Luxusalkalmazásokban már ma is léteznek: a 2006-os Tour de France kerékpárverseny győztese például olyan biciklit használt, amelynek a szénszálas vázát szén nanocsövekkel tovább erősítették. A rendkívül erős váz mindössze 1 kg-ot nyomott.

18

Alkalmazkodás a felülethez



Egymásba
fonodó
CNT-k



CNT alkalmazkodása
a szubsztráthoz, a
göbületi sugár
függvényében

MECHANIKAI TULAJDONSÁGOK

Szén nanocsövekkel ígéretes eredményeket értek el a mesterséges izom kutatása terén is. Az alapjelenség a nanocső nyúlása, illetve rövidülése a rávitt elektromos töltés függvényében. Néhány voltnyi elektromos feszültség hatására az emberi izomnál sokkal nagyobb húzófeszültség kifejtésére képesek. Ha ehhez hozzávesszük, hogy a piezokerámiákkal ellentétben nem törékenyek, érthető, miért kísérleteznek több helyen is a szén nanocsövek mechanikai működtető szerkezetként, aktuátorként való alkalmazásával.

ELEKTROMOS TULAJDONSÁGOK

A szén nanocsövek elektromos szempontból is érdekesek. Vannak közöttük fémes és félvezető tulajdonságúak is. Mindkét csoport nagyon fontos a jövőbeli nanoelektronikai alkalmazások szempontjából. Egyedi nanocsövekből már készítettek olyan áramköröket (tranzistorokat, logikai kapukat), amelyek mindazt tudják, ami, mondjuk, egy számítógép működéséhez szükséges. Ne feledjük, egy nanocső tranzisztor több mint százszor kisebb a jelenlegi legkisebb szilícium alapú tranzisztornál.

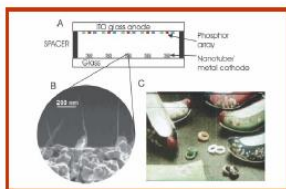
21

TERMIKUS TULAJDONSÁGOK

A jó elektromos vezetőképesség együtt jár a jó hővezető-képességgel. A szén nanocsövek - a fononok nagy szabad úthossza miatt - a legnagyobb hővezetőképeségű anyagok közé tartoznak. Szobahőmérsékleten, a cső hossz tengelye irányában 15-ször jobban vezetik a hőt, mint a réz. Kísérletek szerint sokkal jobb hőkontaktust biztosítanak például egy processzor és hűtőbordája között, mint a jelenleg használatos hővezető paszták.

22

ALKALMAZÁSOK



SÍKKÉPERNYŐ - SAMSUNG



Hordozható RX készülék –
APPLIED
NANOTECHNOLOGIES Ltd.,
USA

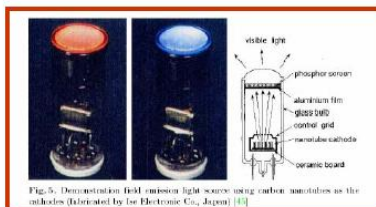


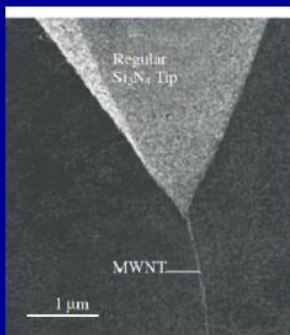
Fig. 5. Demonstration field-emission light source using carbon nanotubes as the cathodes (fabricated by ISE Electronic Co., Japan) [14]

VILÁGÍTÁS – ISE ELECTRONIC. CO. Japán

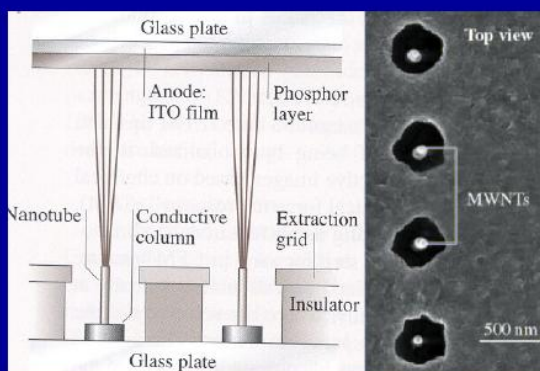


BICIKLI (a
teljes váz 1 kg!!)
- EASTON
SPORTS, USA

Szén nanocsövek nanotechnológiai alkalmazásokban (MWNT: többfalú szén nanocső)



Kerámia tű hegyére
növesztett MWNT AFM
szonda



Téremissziós képernyő működési elve és a
katód MWNT megvalósítása (Mo helyett)

CNT

Felépítés szerint csoportosítható :

1. Single Wall CNT (SWCNT)
A cső fala egyetlen atomrétegből áll.
2. Multiple Wall CNT (MWCNT)
Több rétegből áll a cső fala.

Ismert felhasználási területek :

1. GM - műanyag festék bevonata alatt CNT, amely festéskor elektromosan töltött -> szebb festékbevonat
2. CNT alapú világító eszköz
3. CNT alapú kijelző

CNT ELŐÁLLÍTÁSA

A szén nanocsövek szintézisére számos módszer ismert. Beszámoltak már cseppfolyós nitrogénben, illetve argonban, cseppfolyós ammóniában, vízben és sóolvadékban végzett sikeres szintézisekről. Ismertek gázfázisú és szilárdfázisú szintézismódszerek is. Ezek az eljárások nagy kapacitású nanocsőgyártó technológiákként még nem terjedtek el, holott például a vizes közegben grafitелеktródok között végrehajtott elektromos kisülés vagy a ferrocén katalizálta lángpirolízis technikailag nem állítana nagy nehézségeket a méretnövelés elé.

CNT ELŐÁLLÍTÁSA

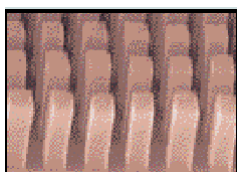
Jelenleg két módszer látszik alkalmasnak nagy mennyiségű - itt természetesen nem tonnáról, hanem kilogrammokról beszélünk - szén nanocsövek előállítására.

Az egyik a plazmatechnológia, amely elektromos ívkisülés révén hoz létre a nanocső képződéséhez megfelelően magas, úgynevezett plazmahőmérsékletet. Itt szénatomok, illetve atomcsoportok képződnek a szén elektródokból, és rakódnak le különböző szénformákként a reaktorban.

A másik módszer a szénhidrogének gázfázisú katalitikus bontása (CCVD - Catalytic Chemical Vapor Deposition).

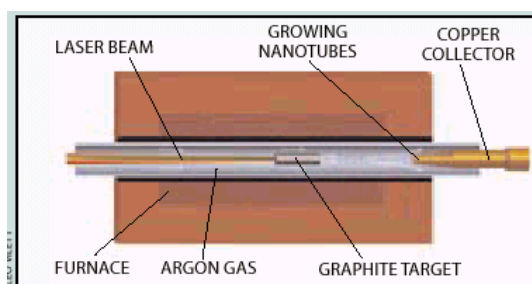
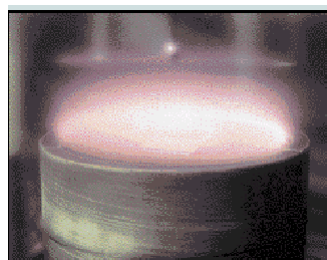
27

CNT előállítása



CVD

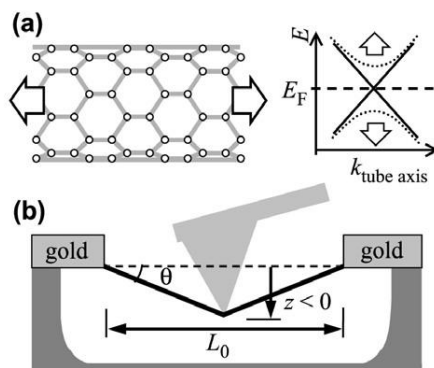
Kemence - grafit párologtatással



Lézerrel bombázott grafit rudak

CNT SZENZORIKA

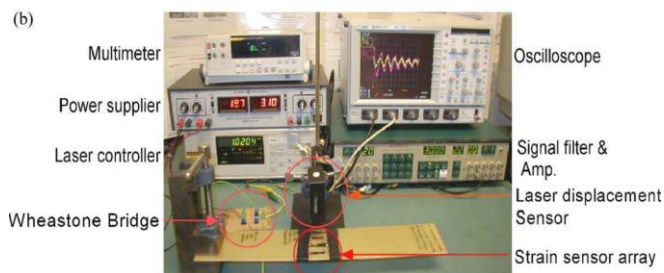
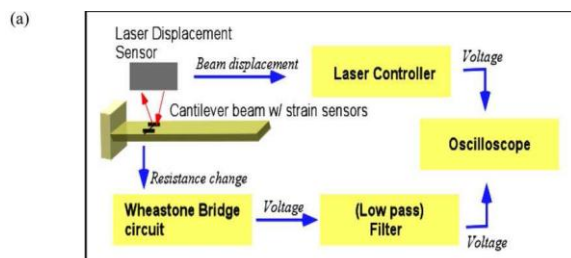
Nyúlásmérés CNT-vel: deformáció hatása a sáv szerkezetre



Deformáció – megváltozik a tiltott sáv
 $R(\sigma)$ arányos $\exp(E_{\text{gap}}/kT)$ -vel.

29

CNT SZENZORIKA



Nyúlásérzékelő hitelesítés

30

CNT SZENZORIKA

Az érzékenységi faktor (gauge factor):

$$GF = (\Delta R/R)/\varepsilon$$

Összehasonlítás:

Fémfólia alapú nyúlásmérő „bélyeg”: $GF \approx 2$

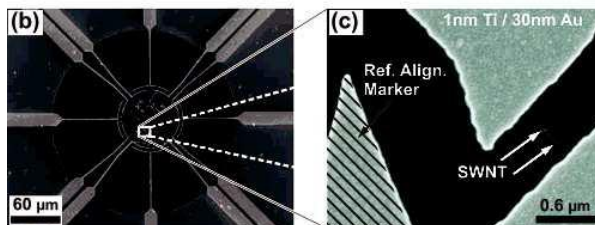
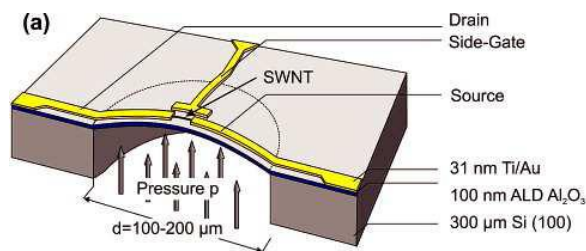
Szilícium alapú (piezorezisztív) nyomásérzékelők: $GF \approx 200$

SWNT alapú nyomásmérő: $GF > 200$, jelenleg (2006) 210

CNT alapú nyomás- és deformációérzékelő perspektivikus eszköz lehet.

31

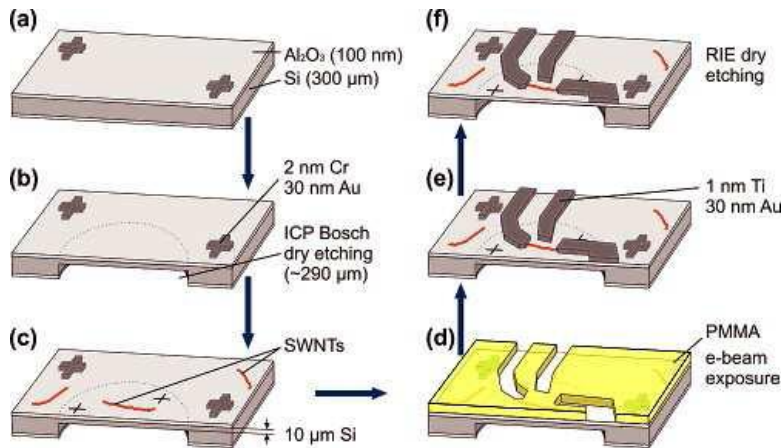
CNT SZENZORIKA



SWNT nyomásérzékelő

32

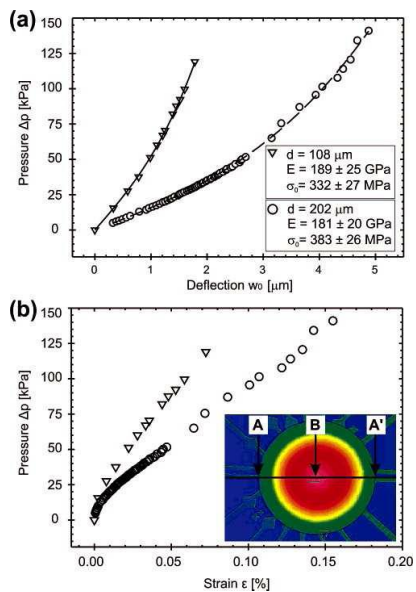
CNT SZENZORIKA



Egyfalú szén nanocső (SWNT) nyomásérzékelő előállítási lépései

33

CNT SZENZORIKA



$$\Delta p(w_0) = \frac{(7 - \nu)Et}{3(1 - \nu)r_0^4} w_0^3 + \frac{4t\sigma_0}{r_0^4} w_0$$

σ_0 kezdeti feszültség
 E Young-modulus
 ν Poisson-arány
 t membránvastagság
 r_0 a kör sugara

34

SZÉN NANOCSSŐ NYOMÁSÉRZÉKLŐK

Electrodes Modified by Carbon Nanotubes for Pressure Measuring

This paper describes a new approach to pressure sensors development using field emission and capacitive principles. Both sensors consist of two high doped silicon electrodes. Usually, for both pressure measurements, one electrode is anisotropic etched to obtain a sensitive membrane and the other one is solid with a carbon nanotubes (CNTs) array.

The field emission sensor works on the principle that the field emission current is correlated with the electrical field intensity, i.e. the anode-emitter distance when the applied voltage is fixed.

35

SZÉN NANOCSSŐ NYOMÁSÉRZÉKLŐK

The field emission sensor works on the principle that the field emission current is correlated with the electrical field intensity, i.e. the anode-emitter distance when the applied voltage is fixed.

The capacitive sensor takes advantage of CNTs dimensions to increase the surface. This means that the CNTs array in the emission sensors serves as the emitter source of electrons between the cathode and the anode in the electric field and the CNTs arrays in the capacitive sensors increase the surface of the electrodes, which are similar to a plate capacitor.

36

SZÉN NANOCSSŐ NYOMÁSÉRZÉKLŐK

The pressure sensors are very important microelectronic devices. We are able to recognize several types of them mostly divided due to their function principles. The CNT are promising materials with a wide range of use.

37

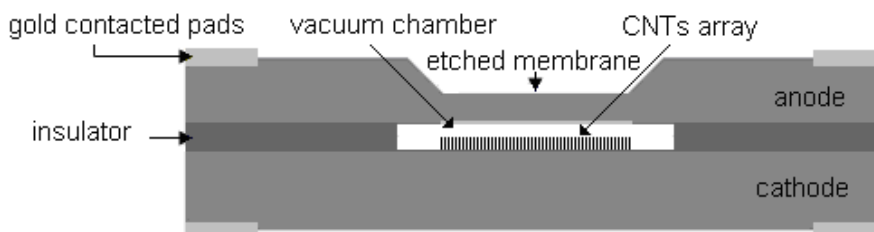
SZÉN NANOCSSŐ NYOMÁSÉRZÉKELŐK: MÁSFÉLE MŰKÖDÉSI ELVEK

Nyomásérzékelő a CNT téremissziós áramának mérésével.

Elv: a téremissziós áram rögzített feszültség mellett az elektromos tér, azaz az anód-emitter távolság (igen erős) függvénye. Az érzékelő membránjára ható nyomás azt meghajlítja, így az membrán alkotta anód és a CNT emitter "erdő" közötti távolság lecsökken.

38

NYOMÁSSZENZOR: CNT TÉR-EMISSZIÓ



A CNT "erdő" téremissziós tulajdonságain alapuló nyomásérzékelő keresztmetszeti vázlata. A szerkezet lényegében egy szokásos Si alapú nyomásérzékelő módosítása.

39

SZÉN NANOCső NYOMÁSÉRZÉKELŐK: MÁSFÉLE MŰKÖDÉSI ELVEK

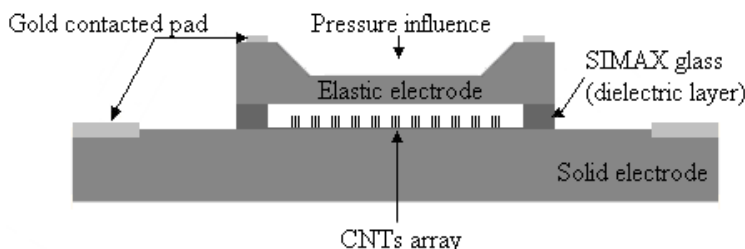
Nyomásérzékelő a CNT "erdő"-t alkotó nanocsövek nagy effektív felületének hasznosítása.

A szokásos MEMS kapacitív jelkiolvasású nyomásérzékelők fő limitáló tényezője a kis elektródafelület, mely meghatározza az eszköz kapacitását.

CNT "erdő" beépítésével lehetségessé válik a kapacitás megnövelése..

40

NYOMÁSSZENZOR: CNT ELEKTÓDA-KAPACITÁS



A CNT "erdő"-t alkotó szén nanocsövek, mint elektródák kapacitásán alapuló nyomásérzékelő keresztmetszeti vázlata. A szerkezet lényegében egy szokásos Si alapú nyomásérzékelő módosítása.

41

CNT "ERDŐ" ELŐÁLLÍTÁSA

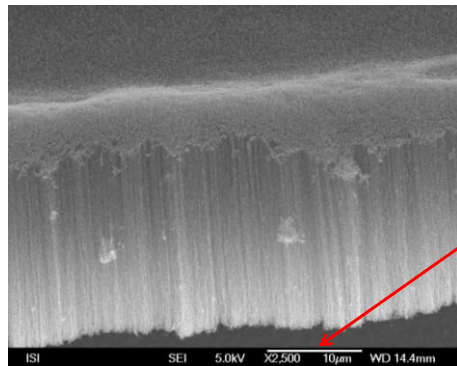
The nanotubes were prepared by plasma enhanced chemical vapor deposition (PECVD) on the silicon wafer with a patterned iron catalytic layer.

CNTs were deposited exploiting plasma enhanced chemical vapour deposition in an atmospheric pressure microwave torch. The main advantages of this technique are the time of deposition and absence of the vacuum system. The anode was made by anisotropic wet etching of silicon in potassium solution to create a membrane.

The CNTs were grown on silicon substrates coated with a thin iron catalytic layer (10 nm thick) which was vacuum-evaporated. The substrates with the catalytic layer were directly used for the deposition of nanotubes.

42

CNT "ERDŐ" SI FELÜLETEN

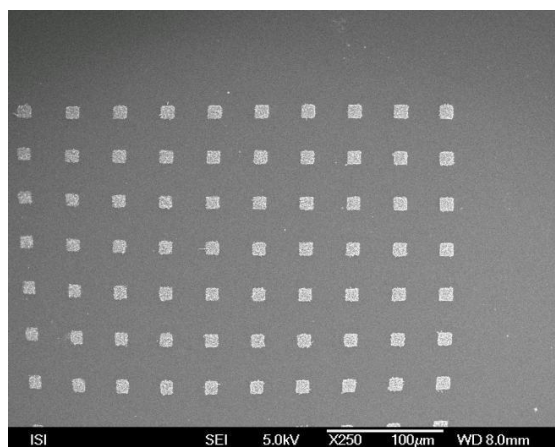


Lépték: 10 µm

CNTs deposited on the silicon electrode. The nanotubes were prepared by plasma enhanced chemical vapor deposition (PECVD) on the silicon wafer with a patterned iron catalytic layer. Thin CNTs with a diameter of about 100 nm were standing vertically perpendicular to the substrate due to a crowding effect.

43

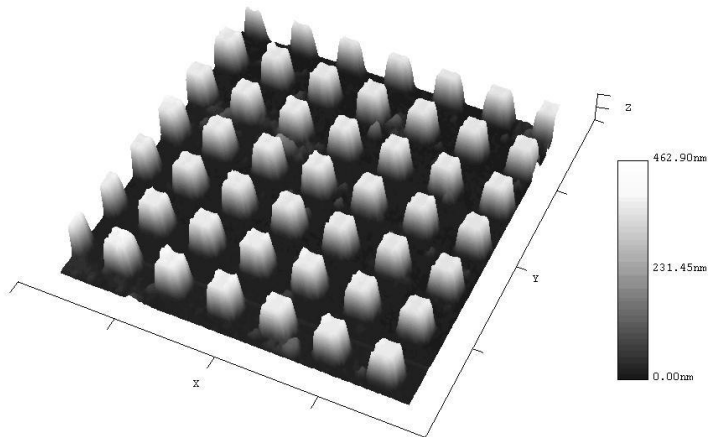
CNT "ERDŐ" SI FELÜLETÉN



SEM analysis of CNTs array.

44

CNT "ERDŐ" SI FELÜLETÉN

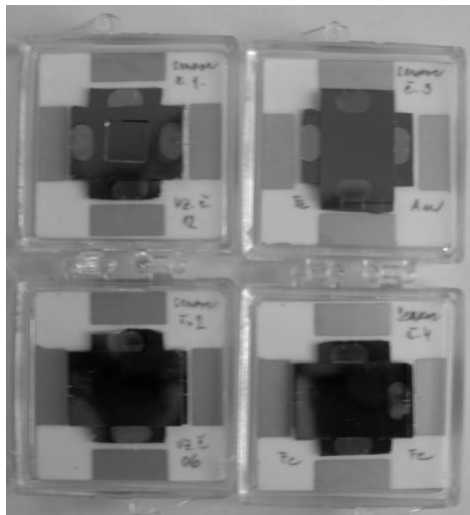


Scan Distance (19.58 μ m)
Z Distance (462.90nm)

AFM analysis of CNTs array.

45

CNT ALAPÚ KAPACITÍV ÉRZÉKELŐ



Practical realizations of the capacitive sensor.

46

CNT SZENZORIKA: SZÉN NANOCSŐ GÁZÉRZÉKELŐK

A szén nanocsövek egyedülálló geometriájuk, fizikai és kémiai tulajdonságaik miatt igen ígéretes objektumok gázok/gőzök érzékelése szempontjából is. A nanométeres tartományba eső átmérő, valamint az ebből adódó kvázi-egydimenziós elektronszerkezet folytán a falba épül hibák, idegen atomok, kapcsolódó funkciós csoportok jelentősen módosíthatják az elektronszerkezetet és így a vezetési tulajdonságokat.

Az egyfalú, félvezető szén nanocsövek vezetőképességét megváltoztathatják egyes, a környezet légtérből fiziszorbeált, vagy kemiszorbeált molekulák, mint például NO_2 , vagy NH_3 , de számos más molekulára is vannak kísérleti adatok.

47

CNT SZENZORIKA: SZÉN NANOCSŐ GÁZÉRZÉKELŐK

Elméleti számítások szerint is szerves molekulák, mint például a benzol adszorpciója jelentősen megváltoztathatja az egyfalú szén nanocsövek vezetőképességét.

Nanocsövek segítségével akár ppm gázkoncentráció is érzékelhető. Ugyanakkor meg kell jegyezni, hogy ezeket a kísérleteket ultra-nagy vákuumban vagy ellenőrzött légkörben végezték, azaz a mindennapi életben, ahol szobalevegőben kell valamilyen gázt/gőzt érzékelni, más érzékenységi határok várhatóak. Mivel a nanocső felületével érintkező légtérből fiziszorbeált molekulák jelentősen befolyásolni tudják a szén nanocső tulajdonságait, lehetőség van a szén nanocsövek gázszenzorokként való alkalmazására szobalevegőben is.

48

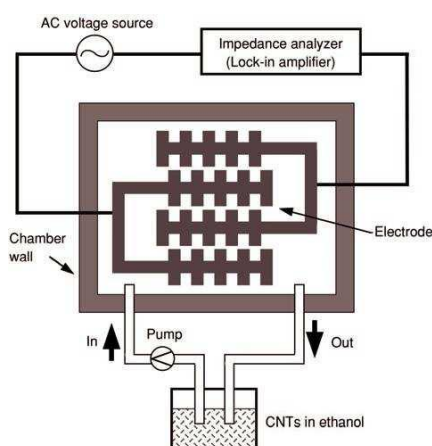
CNT SZENZORIKA: SZÉN NANOCSŐ GÁZÉRZÉKELŐK

Az előállítás illetve módosítás – például szándékosan létrehozott szerkezeti hibák, vagy specifikus érzékelő molekulák „lehorgonyzása” a cső külső felületén - különbözősége más és más molekulákra érzékeny nanocsöveket eredményezhet, így több, jól megválasztott nanocső minta felhasználásával lehetőség nyílik a környezetben található gázok/gőzök felismerésére. Azaz, egy ilyen érzékel képes „ujjlenyomatot venni” valamely detektálni kívánt gázzól/gőzről, majd a továbbiakban azonosítani annak jelenlétét a környezetben.

49

CNT GÁZÉRZÉKELŐK: ELŐÁLLÍTÁS

Intedigitális szerkezet



MWNT felvitele:

Etanolos szuszpenzióból

A csövek a magasabb térerősségek irányába igyekeznek

A struktúra réseiben csapdába esnek

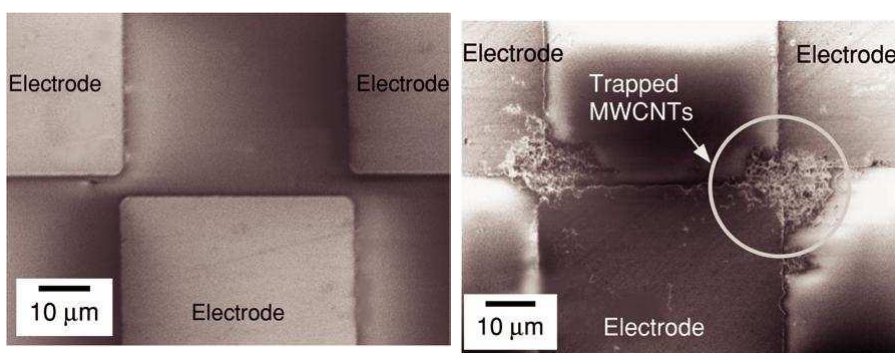
50

CNT SZENZORIKA

Makroszkópos szinten a szén nanocsövek fekete, vattaszer anyagként viselkednek, kivételt képeznek azok az esetek, amikor a fizikai - kémiai hatások (tisztítás, funkcionális, stb.) hatására a nanocsövek „göngyökké” állnak össze. A nanocsövek elhelyezése a kívánt helyre fontos és gyakran nehéz feladat. A leggyakrabban alkalmazott és egyben legegyszerűbb módszer az, ha valamilyen illékony szerves oldószerben (alkohol, toluol, aceton, stb.) ultrahangos rázással megfelelő koncentrációjú szuszpenziót hozunk létre a szénnanocsövekből. A gázérzékelket etanolos nanocsuszpenzió ellenrözt ülepitésével állítottuk el.

51

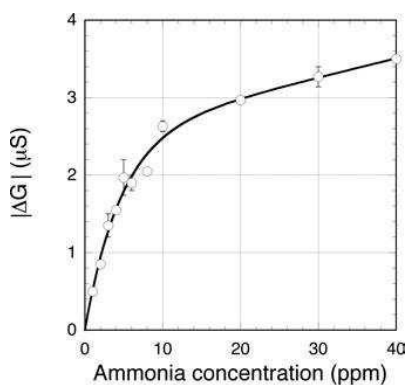
CNT SZENZORIKA



Az aktív terület az etanolos kezelés előtt, illetve után.

52

CNT GÁZÉRZÉKLŐK: KARAKTERISZTIKA



Eredmények:

Jól reprodukálható karakterisztika

Alacsony koncentráció-
Tartományban is

Detektálás alsó határa: \approx ppm

Válaszidő \approx 1perc

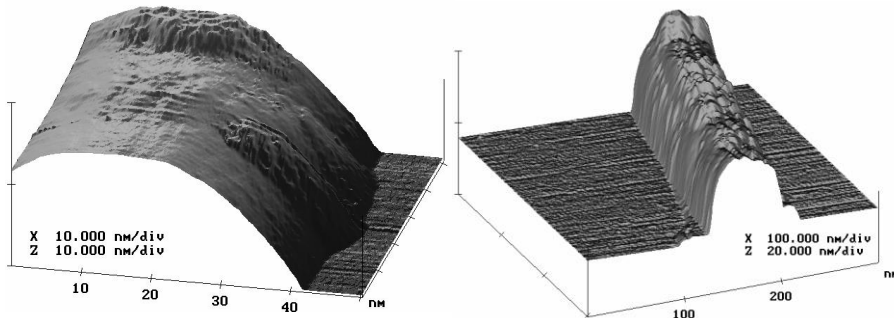
53

CNT SZENZORIKA

Makroszkópos szinten a szén nanocsövek fekete, vattaszor anyagként viselkednek, kivételt képeznek azok az esetek, amikor a fizikai - kémiai hatások (tisztítás, funkcionizálás, stb.) hatására a nanocsövek „göröngyökké” állnak össze. A nanocsövek elhelyezése a kívánt helyre fontos és gyakran nehéz feladat. A leggyakrabban alkalmazott és egyben legegyszerűbb módszer az, ha valamilyen illékony szerves oldószerben (alkohol, toluol, aceton, stb.) ultrahangos rázással megfelelő koncentrációjú szuszpenziót hoznak létre a szén nanocsövekből. A gázérzékelőket etanolos nanocső szuszpenzió ellenőrzött ülepitésével állították elő.

54

SZÉN NANOCSŐ GÁZÉRZÉKELŐK



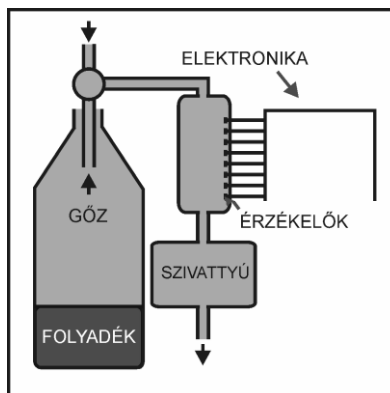
Funkcionalizált szén nanocsövek (STM felvételek).

a) golyósmalomban funkcionalizált szén nanocső, jól megfigyelhető a funkciós csoportok „szigetszerű” elhelyezkedése;

b) folytonosan funkcionalizált szén nanocső.

55

SZÉN NANOCSŐ GÁZÉRZÉKELŐK



CNT gázérzékelők vizsgálatára szolgáló mérési összeállítás vázlatja

56

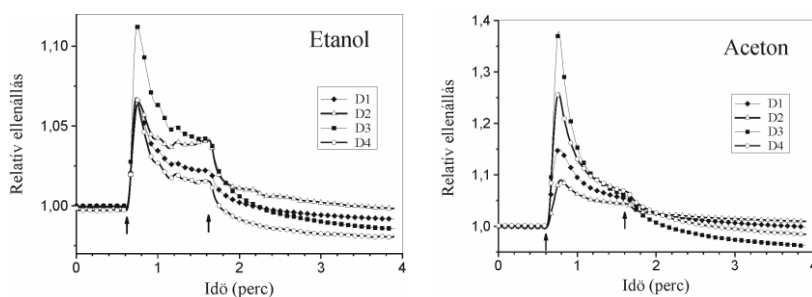
SZÉN NANOCSSŐ GÁZÉRZÉKELŐK

A vizsgálatok szerint szinte minden nanocső minta reagált szinte minden gőzre, de nagyon eltérő mértékben. Nagyszámú minta esetén, melyek egymástól eltérő módon reagáltak a kiválasztott gőzökre, részletesen vizsgálták a minták stabilitását majd az ellenállásváltozást etanol, aceton, és más gőzök jelenlétében.

A mérés folyamán állandó sebességgel áramoltatták levegőt vagy levegő-gőz keveréket az érzékelő fölött. A mérés kezdetekor szobalevegőt áramoltattak és elektronikusan normálták az ellenállások értékét. A normálás segítségével kiküszöbölhető volt a levegő hőmérséklet- és páratartalom-változása miatt megjelenő lassú ellenállás-változás. Egy perc után kicserélték a levegőt a mérendő gőz és levegő keverékére, majd újabb egy perc elteltével ismét visszakapcsolták a szoba levegőjét.

57

SZÉN NANOCSSŐ GÁZÉRZÉKELŐK



Különböző CNT érzékelők válasza etanolra illetve acetonra. D1 és D4 SHCH₃ illetve Cl₂ légkörben tört, katalitikus bontással előállított többfalú szén nanocső; D2 elektromos ívkisüléssel előállított egyfalú nanocső; D3 pedig elektromos ívkisüléssel víz alatt előállított többfalú nanocső.

58

SZÉN NANOCSSŐ GÁZÉRZÉKELŐK

A görbék alakját a vizsgált gáz abszorpciója és deszorpciója határozza meg, de a korábban vizsgált gáz deszorpciója miatt megjelenő lassú ellenállás-csökkenés is látható.

A mérések előtt szobahőmérsékleten, 1 liter térfogatú edényben állították elő a vizsgált folyadék telített gőzét, majd ezt a gázt szívták a detektorra. A szívás eredményeként levegő áramlik a gáz helyére, ezért a mérés alatt csökken a vizsgált gáz koncentrációja, ami a detektor ellenállásának csökkenéséhez vezet.

59

SZÉN NANOCSSŐ GÁZÉRZÉKELŐK

Jól megválasztott, párhuzamosan működő detektorsorozat esetén a különböző gázokra különböző relatív ellenállás-változás kombinációt kapható. Ha a mérésvezérlő elektronikát ismert gőzök felhasználásával „betanítják” (kalibrálják, azaz „ujjlenyomatot” vesznek), akkor az elektronika képes lesz arra, hogy a detektorsorozat ellenállásainak változásából azonosítsa az ismeretlen gázt. A tipikus felismerési idő a 20 – 30 másodperc tartományban van, ami igen jelentős előnye a szén nanocső alapú detektoroknak a klasszikus detektorok jóval hosszabb válaszidejével szemben.

60

SZÉN NANOCső GÁZÉRZÉKELŐK: ÖSSZEFOGLALÓ ÉRTÉKELÉS

Megvizsgálták több, eltérő tulajdonságú szén nanocső hálózat elektromos ellenállását különböző gáz/levegő keverék jelenléte esetén és kiválasztották azokat a nanocsöveket melyek egymástól eltér módon reagáltak a vizsgált gőzökre. Több nanocső detektor egyidejű vizsgálatával azonosítható a készülékbe vezetett gáz, azaz sikerült szén nanocső érzékelővel működő "mesterséges orr" prototípusát létrehozni.

A tárgyalt témákkal kapcsolatos további anyagok található az MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet Nanoszerkezetek Osztály honlapján: www.nanotechnology.hu

Forrás: Koós Antal Adolf, Fizikai Szemle 2006 (7) p. 226-229

61

VÉGE

62