

Szén nanocső ponthibák alagútmikroszkópos megfigyelése

Osváth Zoltán
MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutató Intézet
Nanoszerkezetek Osztály

e-mail: osvath@mfa.kfki.hu

Tel: (1) 392 2222 / 1157

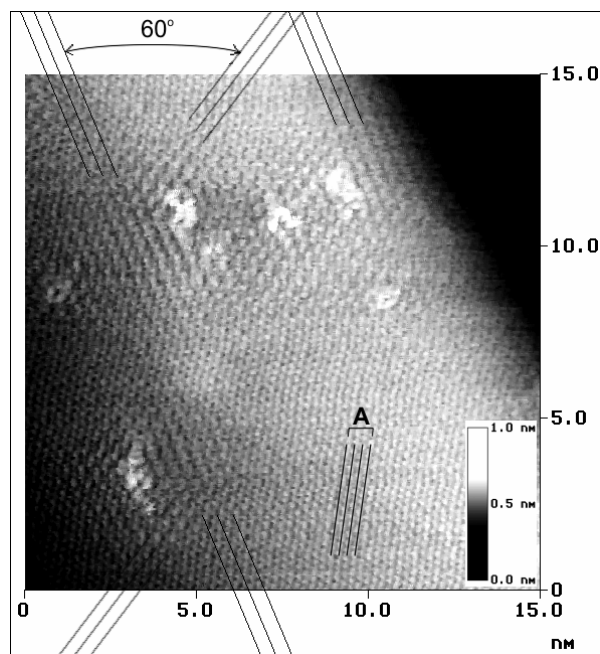
Postacím: H-1525 Budapest, pf. 49

Felfedezésük után a szén nanocsövek kutatása az egyik erőteljesen virágzó kutatási területté vált. Fizikusok, vegyészek és az anyagtudomány művelői egyaránt nagy figyelemmel fordultak az elmúlt évtizedben e parányi objektumok világa felé. Mindez azért történt, mert a szén nanocsövek egyedi és igen különleges vezetési és mechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek. Különleges tulajdonságaik miatt a szén nanocsövek rengeteg területen nyerhetnek alkalmazást, mint például a nanoelektronikában, kompozit anyagok készítésében (úgy elektromos, mint mechanikai tulajdonságok javítására), vagy sík képernyők, téremissziós lámpák gyártásában (e termékek ipari termelése a küszöbön áll).

Az egyfalú szén nanocső úgy modellezhető, mint egyetlen grafit síkból (grafén) feltekert henger alakú objektum, melynek tulajdonságai függenek a feltekerés módjától [1]. A többfalú szén nanocsövek egymásba koncentrikusan helyezett egyfalú csövekkel modellezhetőek, ahol a szomszédos hengerpalástok közötti távolság 0,34 nm körül van. E modellek tökéletes hengerszerkezetekként kezelik a szén nanocsöveket. A valóságban azonban már az előállítás során hibák épülnek be a nanocső szerkezetbe [2], amelyek befolyásolják mind a mechanikai, mind a vezetési tulajdonságokat. A szerkezeti hibák jelenléte nagyon fontos például a szén nanocső alapú térvezérlésű tranzistorok (CNT-FET) működésénél. A katalitikus CVD módszerrel előállított nanocsövek általában görbültek, ami a szerkezeti hibákkal van összefüggésben. Ezzel szemben az elektromos ívkisüléssel előállított szén nanocsövek általában egyenesek, jól grafitizáltak, azaz kevesebb szerkezeti hibát tartalmaznak.

Szerkezeti hibák utólagos beavatkozással is létrehozhatók a nanocsövekben, mint például kémiai kezeléssel vagy besugárzással. Ebben a munkában ívkisüléssel előállított többfalú szén nanocsöveket sugároztunk be 30 keV-os Ar^+ ionokkal, a Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet (MFA) egyik ionimplantációs berendezésével. Ezen az energián az ionok még főleg az atommagokkal való rugalmas ütközések során veszítik el energiájukat, így feltételeztük, hogy a besugárzás hatására sok ponthiba (vakancia, intersticiális atom) keletkezik a nanocsövek szerkezetében. A besugárzáshoz kis, $D = 5 \cdot 10^{11}$ ion/cm² dózist alkalmaztunk azért, hogy egyedi, egymástól jól elkülöníthető ponthibákat hozzunk létre, amelyeket vizsgálni tudunk egy arra alkalmas eszközzel, a pásztázó alagútmikroszkóppal (STM) [3]. A vizsgálatokat levegőn és szobahőmérsékleten működő STM-mel végeztük, állandó áramú üzemmódban [4].

Az 1. ábrán egy besugárzott többfalú szén nanocső STM felvételét láthatjuk atomi felbontásban. A nanocsövön néhány ponthiba figyelhető meg, egymástól pár nanométeres távolságra. A ponthibák dombszerű kiemelkedések (világos pontok) formájában jelennek meg a felvételen. Ez a világosabb kontraszt a hibahelyeken nem a felületből kiemelkedő objektumot jelent, hanem pusztán a helyi elektronszerkezet (állapotsűrűség) megváltozásából adódik (látszólagos kiemelkedések) [5]. A hibahelyeken levő többletállapotok miatt lokálisan megnő az alagútáram, így az STM tűnek fel kell emelkednie néhány angströmöt, hogy az áram állandó értéken maradjon (állandó áramú leképezés).



1. ábra. Ponthibákat tartalmazó (besugárzott) szén nanocső atomi felbontású STM felvétele. A hibák közvetlen környezetében interferenciavonalak, ún. „ $\sqrt{3} \times \sqrt{3} R$ ” szuperstruktúrák figyelhetők meg. A berajzolt segédvonalak az interferenciacsíkokra, illetve az atomi periodicitásra (A-val jelölt vonalcsoport) kívánják felhívni a figyelmet.

A hibahelyek közvetlen szomszédságában megfigyelhető még a lokális állapotsűrűségnek olyan oszcillációja, amelynek periódusa (kb. 0,39 nm) nagyobb az atomi szerkezet által meghatározott periódusnál (kb. 0,25 nm) [5]. Ezek az ún. „ $\sqrt{3} \times \sqrt{3} R$ ” szuperstruktúrák hasonlítanak a fémbeli ponthibák környezetében megfigyelt Friedel oszcillációkhoz, megjelenésük a hibahelyekre érkező, illetve az azokon szóródott elektronhullámok interferenciájával magyarázható [6]. Az interferencia eredményeképpen az állapotsűrűség átrendeződik a hiba közvetlen környezetében. Megfigyelhető, hogy az interferenciavonalak amplitúdója fokozatosan csökken, ahogy távolodunk a hibától, és 3 nm-en belül teljesen eltűnik. A mérésekből az is látszik, hogy adott kiralítású nanocső esetén, az egyes hibahelyeknél megfigyelt szuperstruktúra mintázatok ugyanolyan orientációjúak. Az interferenciavonalak által bezárt 60° -os szögek az elektronhullámok Fermi energiánál megengedett terjedési irányainak köszönhetőek.

A témával kapcsolatos további anyagok a Nanoszerkezetek Osztály honlapján található: <http://www.mfa.kfki.hu/int/nano>.

Irodalom

¹ KÜRTI J., *A varázslatos szénatom* - Fizikai Szemle 47/9 (1997) 276

² BIRÓ L. P., *Nanovilág: a szén nanocsőtől a kék lepkeszárnyig* - Fizikai Szemle 53/3 (2003) 385

³ BALÁZS E., *A pásztázó alagútmikroszkóp és társai* - Természet Világa 1993/1

⁴ MÁRK G., *Egy hullámcsomag kalandjai az alagútmikroszkópban*, Fizikai Szemle 56/6 (2006) 190

⁵ Z. OSVÁTH, G. VÉRTESY, L. TAPASZTÓ, F. WÉBER, Z. E. HORVÁTH, J. GYULAI, L. P. BIRÓ, *Atomically resolved STM images of carbon nanotube defects produced by Ar^+ irradiation*, Phys. Rev. B **72** (2005) 045429

⁶ L. TAPASZTÓ, P. NEMES-INCZE, Z. OSVÁTH, AL. DARABONT, PH. LAMBIN, L. P. BIRÓ, *Complex electron density oscillations on CVD-grown multi-wall carbon nanotube bent-junction*, Phys. Rev. B, *elfogadva*