

## [origo]

Új trónkövetelő a szén-nanoszerkezetek világában  
2008. április 18., péntek, 9:07

**A nanotechnológiai szaklapokban az utóbbi időben gombamód megszorodott egy új anyaggal, a grafénnel foglalkozó cikkek száma. A grafén iránti lelkesedés talán azt jelzi, hogy leáldozóban az elmúlt évtized sztárja, a szén-nanocső csillaga? Erről kérdeztük Biró László Pétert, az MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet Nanoszerkezetek Osztályának tudományos tanácsadóját, aki maga is az új anyag elkötelezett híve.**

**- Bár a szén-nanocsövek üstökösként robbantak be a tudomány világába, és az elmúlt tizenöt évben sokan fűztek hozzájuk nagyratörő reményeket, mégsem valósult meg tömeges elektronikai alkalmazásuk. Miért?**

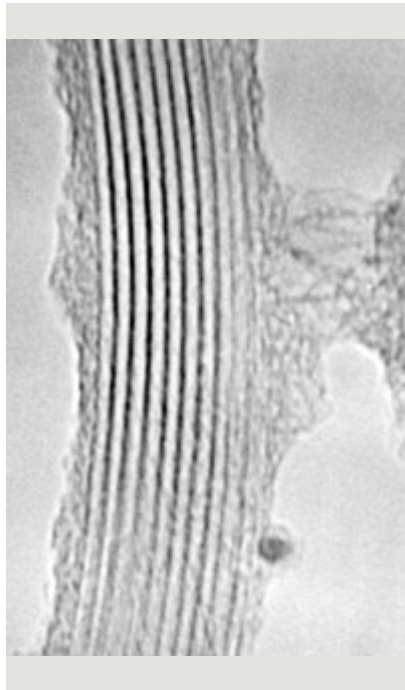
- Ennek több akadálya is van. Az egyik gond az, hogy mindmáig nem sikerült megoldani az előre meghatározott típusú szén-nanocsövek növesztését. A szén-nanocső nem más, mint egy tökéletes hengerré csavart, egyetlen atom vastagságú grafitréteg. Ám nagyon sokféle, eltérő tulajdonságú szén-nanocső létezik. A feltekerés módjától függően előállhatnak például fémes vagy félvezető viselkedésűek, sőt ezen típusokon belül is más és más elektronszerkezettel kell számolnunk a különböző átmérőjű darabok esetében. Ahhoz azonban, hogy valamilyen technikai eszközt gyártsunk, nagyon jól definiált technikai tulajdonságokkal kell rendelkeznie annak az anyagnak, amit fel kívánunk hozzá használni. Megoldást jelenthetne, ha a tömegesen előállított, sokféle nanocső közül az azonos típusúakat hatékonyan ki tudnánk válogatni. Valóban léteznek is ilyen irányú és az utóbbi időben egyre eredményesebbnek tűnő kutatások, ám még ha sikerülne is ezen a gondon túllépni, egyből ott tornyosulna a következő probléma. Tegyük fel, hogy könnyedén előállítottunk, majd kiválogattunk azonos tulajdonságú szén-nanocsöveket, és felhalmoztuk őket egy edényben. Ez szabad szemmel úgy nézne ki, mint valamilyen közönséges fekete por. Ahhoz azonban, hogy ezeket a nanométer átmérőjű elemeket fel tudjuk használni, valamilyen módon egyesével meg kellene azokat "fogni", kiemelni az edényből, és nanométeres pontossággal odahelyezni a kívánt helyre. Ez ma még rendkívül bonyolult feladat. Laboratóriumi körülmények között megoldható, de tömeges ipari felhasználásra nincs megfelelő módszer.

**- Hogyan jön a képbe ezek után a grafén?**

- Az egyetlen atom vastagságú grafitréteg, vagyis a *grafén* nem más, mint egy kitekert szén-nanocső. Tulajdonságaiban sokban hasonlít a szén-nanocsövekre, ám van egy nagy előnye: használatával egy csapásra megszabadulnánk az előbbieken vázolt "kiválogatom-odateszem" problémától. Egy nanoelektronikai eszköz megépítésénél nem kellene egyesével bíbelődni a nanocsövecskékkel, hanem a grafénlapból - akár csak egy vég selyemből - megfelelő eszközzel könnyen kiszabható lenne a felhasználni kívánt mintázat. Képletesen szólva, míg az első eset ahhoz hasonlítható, mint amikor valaki gyufaszálakból próbálja fáradságos munkával felépíteni a Parlament makettjét, addig a második ahhoz, amikor a

szabó néhány nyisszantással kivágja a készülő szoknya darabjait a ruhaanyagból. Nem beszélve arról, hogy ha ismerjük a grafénlap orientáltságát (kristálytani irányítottságát), akkor tulajdonságai is pontosan meghatározottakká válnak.

### - Mikor került a grafén a kutatók figyelmének középpontjába?



- 2003-2004 körül kezdtek el intenzíven foglalkozni a grafénnal. P. R. Wallace amerikai elméleti fizikus ugyan már az 1940-es évek végén kiszámolta az elektronszerkezetét, de igen hosszú ideig az volt a hiedelem, hogy ilyen anyag a valóságban nem létezhet. Sokan azt gondolták, hogy nem lehet stabil egy mindössze egyetlen atomréteg vastagságú lemez. Azután a kilencvenes évek elején katalízissel foglalkozó szakemberek figyeltek fel először arra, hogy ultranagy vákuumú berendezéseikben, sajátos körülmények között kiválik egy monoréteg grafit. Ez a jelenség őket igencsak bosszantotta, hiszen tönkretette a katalizátorait, ám más kutatók előtt hihetetlen lehetőségeket villantott fel.

### - Önök mikor kezdtek el a grafénnal foglalkozni?

Amint a DeHeer-csoport első tudományos cikkei napvilágot láttak a grafén kísérleti előállításáról, mi is azonnal felfigyeltünk a felfedezés jelentőségére, hiszen több mint tizenöt éve foglalkozunk szén-nanocsövekkel, és pontosan tudtuk, hogy melyek azok a problémák, amelyek a szén-nanocsövek elektronikai alkalmazását hátráltatják.

Alapvetően két területen kísérünk meg előrelépni: egyfelől a grafén gyártását próbáljuk egyszerűbbé és kevésbé

### 1. ábra Egyfalú szén-nanocső köteg

költségessé tenni, másfelől olyan mintázatokot szeretnénk kialakítani, amelyek alkalmasak lehetnek nanoelektronikai felhasználásra. Előre meghatározott orientáltságú és szélességű grafénzalagok kivágását tervezzük. Remélhetőleg idővel képesek leszünk olyan grafén-alapú elektronikai eszközöket előállítani, amelyeken legalábbis alapjelenségeket lehet majd vizsgálni.

### - Hogyan lehet ilyen lehetetlenül vékony grafitlemezt előállítani?

- Nem is olyan egyszerű; kétféle úton lehet megpróbálni. Az első módszer szerint, amelyet a DeHeer-kutatócsoport dolgozott ki az USA-ban, eleve rábírnak a szénatomokat arra, hogy egyetlen atom vastagságú réteggé álljanak össze. Szilícium-karbid egykristályt ultranagy vákuumban felmelegítenek 1100 °C fokra, és lassan kigőzölögtetik belőle a szilíciumot. A visszamaradt szénatomok előbb egy, majd több atom vastagságú grafénlapot képeznek, a többirétegűeket néhány rétegű grafitnak - few layer graphite, FLG - hívják. Ez az alulról építkező módszer, amely nagyon költséges a különleges körülményeket biztosító berendezések szükségessége miatt. Mi a másik irányból indultunk el, a Novoselov-csoport munkáját gondoltuk tovább: majdnem makroszkópikus objektumot próbálunk lebontani. Néhány tíz nanométer vastag grafitpikkelyeket viszünk fel alkalmas felületre és kontrolált módon oxidációt hajtunk végre. Addig hántjuk le sorról-sorra a grafitrétegeket, amíg el nem értünk az egyetlen atom vastag grafénig.

## **- Melyek azok az alkalmazási területek, ahol a grafén elsősorban szóba jöhet?**

- A legígéretesebb a nanoelektronika. Épp most olvastam egy tanulmányt arról, hogy optimista felmérések szerint a szilícium-alapú elektronika még maximum tíz évig tud előrehaladni. Addigra a tranzisztorok olyan kicsire zsugorodnak, hogy a fizikai hatások megváltoznak, és olyan jelenségek lépnek fel, amelyek a jelenlegi tranzisztoroknál még nem jelentkeznek. A hagyományos módszerrel bizonyos méretek alá a fizika alaptörvényei miatt nem lehet lemenni. A félvezetőipar már régóta kétségbeesetten keres valamilyen kiutat ebből a zsákutcából. Az egyik potenciális út a szén-nanocső volt, ám ez elbukott a beszélgetésünk elején említett problémák miatt. A grafén azonban új reményt adott a nanocsövekből kiábrándult kutatóknak. Még nem ismerjük kellően ezt az új anyagot, még sok mindent meg kell tanulnunk róla, de ha bebizonyosodna az alkalmassága, akkor akár új típusú tranzisztorként is működhetne. A hardvert át kellene alakítani, de ugyanazok a szoftverek futnának rajta, mint amit a szilícium-alapú elektronikára már kidolgoztak.



### **Biró László Péter**

Biró László Péter 1955-ben született Kolozsváron, 1979-ben szerzett fizikus oklevelet a kolozsvári Babes-Bolyai Tudományegyetem Fizika Karán. Egyetemi tanulmányai második évétől foglalkozik anyagtudománnyal: előbb egykristályok növesztésével, majd később félvezető vékony rétegek kutatásával. 1991-ben költözött Budapestre. 1998-ban szerzett PhD fokozatot a Budapesti Műszaki Egyetem mérnökfizikus szakán, majd 2005-ben elnyerte az MTA Doktora címet.

A nanoszerkezetek és nanotechnológia világában érdeklődése részben az ún. bioinspirált nanoarchitektúrák felé fordult, hangsúlyosan a lepkék kék és zöld színeit adó fotonikus kristályok felé, ám az elmúlt években a bioinspirált kutatások mellett ismét a szén-nanoarchitektúrák, az egyetlen atom réteg vastag grafit, a grafén áll munkája fókuszában. Jelenleg az MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézete Nanoszerkezetek Osztályának vezetője.

## **- Ha a grafén ilyen nyilvánvalóan jó anyag, és lényegében csak geometriájában különbözik a szén-nanocsőtől, hogyan lehetséges, hogy még csak most kezdtek el vele közelebbről foglalkozni?**

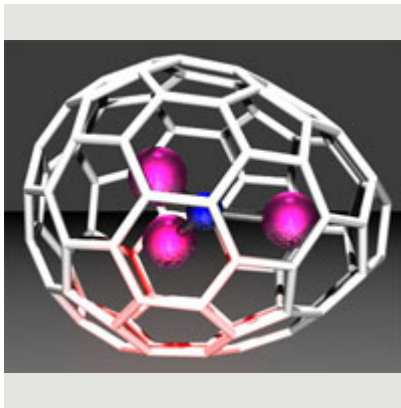
- A tudománynak van egy történeti fejlődése: ha valami túl korán kerül az asztalra, akkor arra azt mondják, hogy varázslat. Nem hiszik el. Ennek igen jó példája az, hogy a hetvenes években már publikáltak szén-nanocsöveket ábrázoló elektronmikroszkópos felvételeket, ám akkoriban még nem volt meg a megfelelő fogalmi háttér: körbeírták, azt mondták, hogy üreges szénszálak. A dolgok egymásra épülnek. Először fel kellett fedezni a fullerént, majd a szén-nanocsövet, hogy el lehessen hinni: létezik egyetlen atom vastag grafitréteg. A

tudomány olyan, mint egy téglafal. Nem lehet egyből a tetővel kezdeni. Ha megvan az alap, csak akkor lehet emelni a falakat.

\* \* \*

## A jövő szénvegyületei

A szénvegyületek a legsokoldalúbb anyagcsaládot alkotják, hogy egyebet ne említsünk: maga az élő anyag is szénvegyületeken alapul. Ennek ellenére a XX. század második felében a tisztán szénből felépülő, jól ismert szerkezetek (grafit és gyémánt) nem voltak a tudomány figyelmének középpontjában, mígnem 1985-ben Kroto, Smalley és Curl felfedezték a fullerént, a 60 szénatomból álló (C<sub>60</sub>), 1 nanométer (0,000000001 m) átmérőjű "focilabdát". Munkájukért szokatlanul gyorsan, már 1996-ban kémiai Nobel-díjat kaptak. Meglepő, de a felfedezők nem valamely "földi" kérdésre keresték a választ a fullerén felfedéséhez vezető kísérletek során. Egy úgynevezett *szénscillag* körüli térben zajló folyamatokat próbáltak modellezni. Az keltette fel a figyelmüket, hogy kísérleteikben makacsul olyan atomfürtök keletkeztek, amelyekben 60 szénatom volt.



### 2. ábra Szén-nanotojás

A forrásba jött kutatási terület a fullerén felfedezése után sem csendesedett el. 1991-ben Sumio Iijima japán kutató felfedezte a szén-nanocsöveket. Ezek lényegében egyik irányban nagyon hosszúra nyúlt fullerénmolekulák, tökéletes "hengerré" tekert, egyetlen atom vastagságú grafitrétegek, amelyek végeit egy-egy fél fulleréngömb zárja le (1. ábra). A valóságban természetesen senki sem képes "feltekerni" egy egyetlen atom vastagságú réteget, az atomokat kell "rákényszeríteni" arra, hogy a szokásostól eltérő módon kapcsolódjanak össze.

Rövid időn belül újabb szén-nanoszerkezeteket fedeztek fel: hengerspirálszerűen feltekert szén-nanocsöveket (B. Nagy János kutatócsoportja 1993-ban), valamint az Y-szerűen elágazó, egyfalú nanocsöveket (Biró László Péter kutatócsoportja 2000-ben). Világszerte több ezer kutató kezdett el a szén-nanoszerkezetekkel foglalkozni, mert különleges mechanikai és elektromos tulajdonságaiknak köszönhetően potenciális alkalmazási területük a golyóálló mellényektől a különleges sportfelszerelésen át a szén-nanocső alapú számítógépekig terjed. Az egyenestől eltérő alakú szén-nanoszerkezetek a beépülő nem-hatszöges gyűrűknek köszönhetik létüket, nemrégiben például megalkották a "szén-nanotojást" is (2. ábra).

**A cikket az alábbi címen találja az [origo]-ban:**

<http://origo.hu/tudomany/20080416-nanocso-fulleren-grafen-uj-tronkovetelo-a-szen-nanoszerkezetek-vilagaban.html>