

A grafén rövid története. 1985-ben *Kroto*, *Smalley* és *Curl* felfedezték a fullerént, a 60 szénatomból álló (C₆₀), 1 nanométer (0,000000001 m) átmérőjű „focilabdát”. Munkájukért már 1996-ban kémiai Nobel-díjat kaptak. A felfedezők nem valamely „földi” kérdésre keresték a választ a fulleren felfedéséhez vezető kísérletek során. Egy úgynevezett *széncsillag* körüli térben zajló folyamatokat próbáltak modellezni. Az keltette fel a figyelmüket, hogy kísérleteikben makacsul olyan atomfürtök keletkeztek, amelyekben 60 szénatom volt.

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. A valóságban senki sem képes „feltekerni” 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 sportfelszerelésen át a szén-nanocső alapú számítógépekig terjed.

A nanocsövek elmaradt elterjedésének egyik oka az, hogy mindmáig nem sikerült megoldani az előre meghatározott típusú szén-nanocsövek növesztését. Nagyon sokféle, eltérő tulajdonságú szén-nanocső létezik. A „feltekérés” módjától függően lehet például fémes vagy félvezető viselkedésű. A különböző átmérőjű csövek esetében az egyes típusokon belül más és más elektronszerkezettel kell számolnunk. Ahhoz, hogy valamilyen technikai eszközt gyártsunk, nagyon jól definiált technikai tulajdonságokkal kell rendelkeznie annak az anyagnak, amit fel kívánunk használni. Megoldást jelenthetne, ha a tömegesen előállított, sokféle nanocső közül az azonos típusúakat ki tudnánk válogatni. Tegyük fel, hogy könnyedén előállítottunk, majd kiválogattunk azonos tulajdonságú szén-nanocsöveket, és felhalmoztuk őket egy edényben. Ez szabad szemmel úgy nézne ki, mint valamely közönséges fekete por. Ahhoz, hogy ezeket a nanométer átmérőjű elemeket fel tudjuk használni, valamilyen módon egyesével meg kellene azokat „fogni”, kiemelni az edényből, és nanométeres pontossággal a kívánt helyre kellene helyezni. Laboratóriumi körülmények között ez megoldható, de tömeges ipari felhasználásra nincs megfelelő módszer.

Az egyetlen atom vastagságú grafitréteg, vagyis a *grafén*, felfogható úgy, mint egy kiterített szén-nanocső. Tulajdonságai sokban hasonlítanak a szén-nanocsövekre, ám van egy nagy előnye. Használatával egy csapásra megszabadulnánk az előbbieken vázolt „kiváloga-

tom-odateszem” problémától. Egy nanoelektronikai eszköz megépítésénél nem kellene egyesével foglalkozni a nanocsövecskékkel, hanem a grafénlapból megfelelő eszközzel könnyen kiszabható lenne a felhasználni kívánt mintázat. Ha ismerjük a grafénlap orientáltságát (kristálytani irányítottságát), akkor tulajdonságai is pontosan meghatározottakká válnak.

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 a 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. 2003-2004 körül kezdtek el intenzíven foglalkozni a grafénnal.

Hogyan lehet ilyen lehetetlenül vékony grafitlemezt előállítani? Két úton lehet elindulni. Az első módszer szerint, amelyet a *DeHeer*-kutatócsoport dolgozott ki az USA-ban, eleve rábírák a szénatomokat arra, hogy egyetlen atom vastagságú réteggé álljanak össze. Szilícium-karbid egykristályt ultranagy vákuumban felmelegítenek 1100 °C-ra, és lassan kigőzölögteszik belőle a szilíciumot. A visszamaradt szénatomok előbb egy, majd több atom vastagságú grafénlapot képeznek, a többrétegeket néhány rétegű grafitnak – *few layer graphite*, FLG – hívják. Ez az alulról építkező módszer, amely nagyon költséges. Másik irányból is el lehet indulni. Néhány tíz nanométer vastag grafitpikkelyeket kell egy alkalmas felületre felhordani, majd kontrollált módon oxidálni kell. Addig hántják le sorról-sorra a grafitrétegeket, amíg el nem jutnak az egyetlen atom vastag grafénig.

A grafénnek több alkalmazási területét feltételezik. A legígéretesebb a nanoelektronika. 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 az ismert problémák miatt. A grafén azonban új reményt adott a nanocsövekből kiábrándult kutatóknak. Még nem ismerjük kellően ezt az új anyagot, de ha bebizonyosodna az alkalmassága, akkor akár új típusú tranzisztorként is működhetne. A hardvert át kellene alakítani, de ugyanazok a szoftverek futnának rajta, amelyeket a szilícium-alapú elektronikára már kidolgoztak.

<http://www.nanotechnology.hu>