

Ilyen anyag nem is létezhetne

Laza Bálint

2012. szeptember 5., szerda 08:01

Az MTA Természettudományi Kutatóközpont Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézetének kutatói, Tapasztó Levente és munkatársai a világon először készítettek nanométeres skálán hullámos membránokat. A terület annyira új, hogy a kutatócsoportnak saját elméletet kellett kidolgoznia a tapasztalataik magyarázatára. A felfedezés forradalmasíthatja a digitális elektronikát, és valószínűleg hazánkban ki tudják fejleszteni a nanomembránra épülő eszközök gyártásra kész változatát.

A grafént 2004-ben fedezte fel [Andre Geim és Kostya Novoselov \[1\]](#), akik munkájukért rekordidő alatt, [2010-ben fizikai Nobel-díjat kaptak \[2\]](#), idén januárban [pedig lovaggá ütötték \[3\]](#) őket. A grafén talán a legesélyesebb anyag arra, hogy felváltsa a szilíciumot például a telefonokban, számítógépekben és minden más elektronikai eszközben, ehhez azonban először szabályozni kell az elektromos vezető képességét – ez az a terület, ahol a magyar kutatók áttörést értek el.

Mi az a nanotechnológia?

A hétköznapokban általában a milliméter, a méter ezredrésze a legkisebb mértékegység, amire szükségünk lehet. Ennek ezredrésze ($1 \cdot 10^{-6}$ m), tehát a méter milliomod része a mikrométer (μm). Ennél is jóval kisebb mérték a nanométer (nm): egy méter egymilliárd nanométer. Összehasonlításképpen, egy emberi hajszál átlagosan százezer nanométer vastag. Az [atom \[4\]](#)ok mérete 0,1-0,5 nanométer, a vörösvértestek körülbelül hétezer, egy átlagos vírus száz, egy hidrogénatom 0,1 nanométer átmérőjű.

Nanotechnológia pedig nano- és mikroméretű tárgyak építése atomról atomra, molekuláról molekulára, [erről bővebben itt olvashat. \[5\]](#)

Nanoorigami

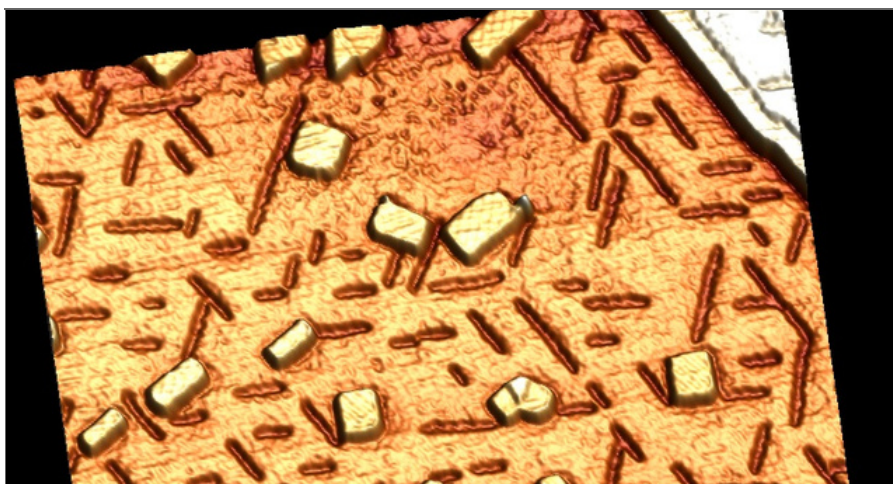
A grafén ideális esetben tökéletesen sík: olyan mint egy papírlap, csak annál tízezerszer vékonyabb. Tulajdonképpen ez a legvékonyabb létező anyag, vastagsága mindössze akkora, mint egy szénatom átmérője. Ez az anyag azonban hő hatására, már szobahőmérsékleten is deformálódik, nem marad tökéletesen sík. Ezért a természetes, úgynevezett egyensúlyi állapotban úgy néz ki, mint egy összegyűrt majd nagyjából kisimított papírlap. Ez azért fontos, mert a grafén tulajdonságait, például az elektromos vezetést is befolyásolják a gyűrődések.

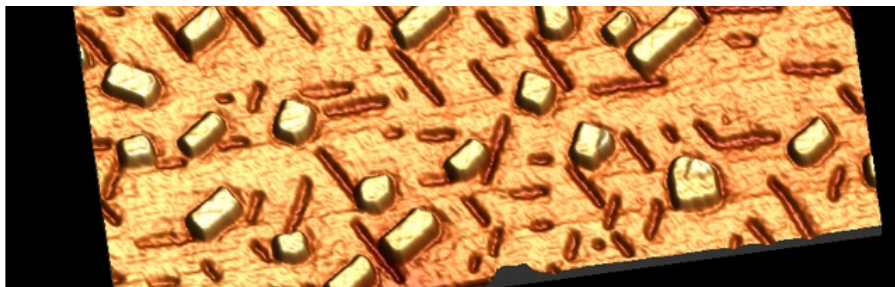
Mivel a természetesen megjelenő gyűröttség teljesen rendezetlen, így gyakorlati szempontból inkább csak hátrányt jelent. Más lenne azonban a helyzet, ha a grafént nem véletlenszerűen gyűrnénk össze, mint egy papírlapot, hanem hajtogatni tudnánk, mint egy origami-művész.

“Papírlapból bárki gond nélkül hajtogatni tud egy szinusz hullámot. Nekünk ugyanezt kellett megvalósítanunk a grafénnal, csak százmilliószor kisebb méretben. Ehhez egy trükkös megoldást találtunk: kihasználtuk, hogy a legtöbb anyaggal ellentétben a grafén melegítés hatására összehúzódik, lehűtve pedig kitágul” – mondta Tapasztó Levente, a kutatás egyik vezetője.

Szabályozni tudták

A kutatók az áttörést a megfelelően kiválasztott hordozóval érték el. A réz kristály egy speciális felületén, az úgynevezett Cu (111)-felületen speciális nanoméretű domborzatot alakítottak ki, amely egyetlen atom magas párnákból és mindössze öt nanométer széles, szintén csak egy rézatomnyi mély árkokból állt.



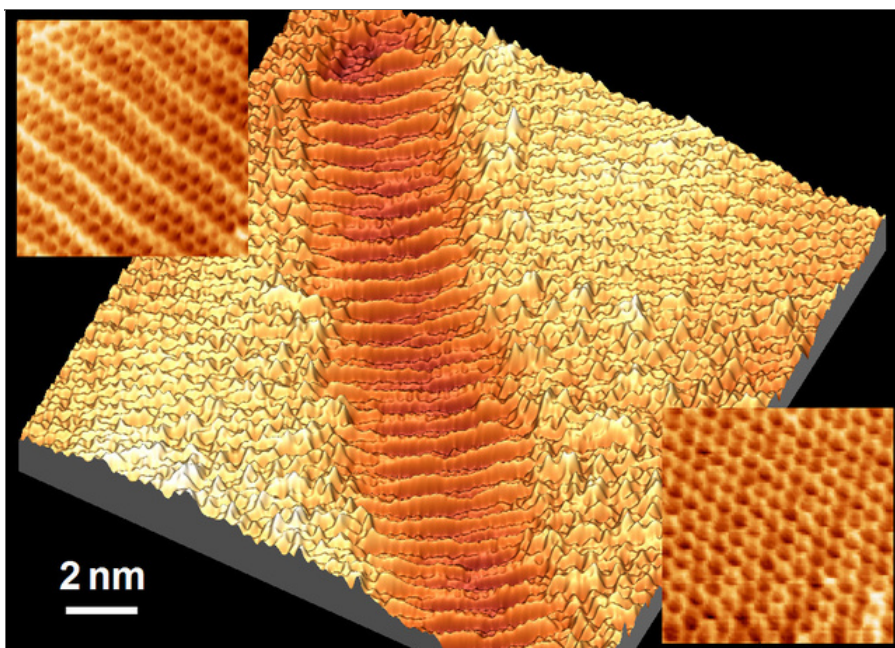


Egy réz egykristály felülete, amely nanoskálájú domborzatú, párnák és árkok vannak rajta: erre a felületre növesztik rá a grafént

Fotó: MTA

A réz talán a legalkalmasabb anyag arra, hogy a felületére folytonos grafén réteget növeszsenek. A réz hordozó nanoméretű árcai felett a grafén fel van függesztve, azaz nem érintkezik az árkok aljával. Ez a feltétel is szükséges a hullámok kialakításához, ugyanis a réz hordozóval való közvetlen érintkezés megakadályozza a hullámok létrejöttét.

Amennyiben szélesebb mikronos, vagy makroszkopikus szélességű árkok fölé függesztenék ki a grafént, akkor még megközelítőleg sem tudnának ilyen kis hullámhosszokat létrehozni. Így viszont a magas hőmérsékleten, ezer Celsius-fokon növesztett grafént hirtelen lehűtve ki tudták alakítani és szabályozni a grafén hullámosságát, egészen a nanométeres szintig.



A réz felületét folytonosan borító grafénréteg nanoméretű hullámai, amelyek az 5 nanométer széles réz árkok felett

Fotó: MTA

Tiltott sáv

A felfedezés segítségével a grafén sáv szerkezetében hibákat jelentő grafén élek létrehozása nélkül nyitható meg az úgynevezett tiltott sáv, ami meghatározza a félvezető tulajdonságokat. A tiltott sávval tudják szabályozni, hogy a grafén mikor vezet, és mikor nem. Ez a digitális elektronikában való alkalmazás szempontjából lényeges. Az energiafogyasztás miatt senki sem szeretne olyan tranzisztort, amit nem lehet teljesen kikapcsolni. Márpedig alapesetben a grafénből készült tranzisztorok így viselkednek.

„Igen nagy jelentőséget kaptak az arra irányuló kutatások, hogy a teljesen kikapcsolt állapotot a grafénban is megvalósítsuk. Az egyik fő kutatási irány ennek a megvalósítására, hogy a kétdimenziós grafén síkból (lapból) keskeny szalagokat vágunk ki, amelyek már rendelkezni fognak tiltott sávval, azaz kikapcsolt állapottal” – mondta Tapasztó.

Egyelőre van hátránya is

Ennek az eljárásnak a hátránya, hogy a fizikailag elvágott grafén szélei nem tökéletesek, ezért hibaként viselkednek. Így annak ellenére, hogy a kutatók sikeresen létrehozzák a kikapcsolt állapotot, a vezető állapot kevésbé jól vezet. Ha azonban a grafén szerkezetének hullámosításával sikerül kikapcsolt állapotot létrehozni, akkor nem lesz szükség a grafén felvágdosására.

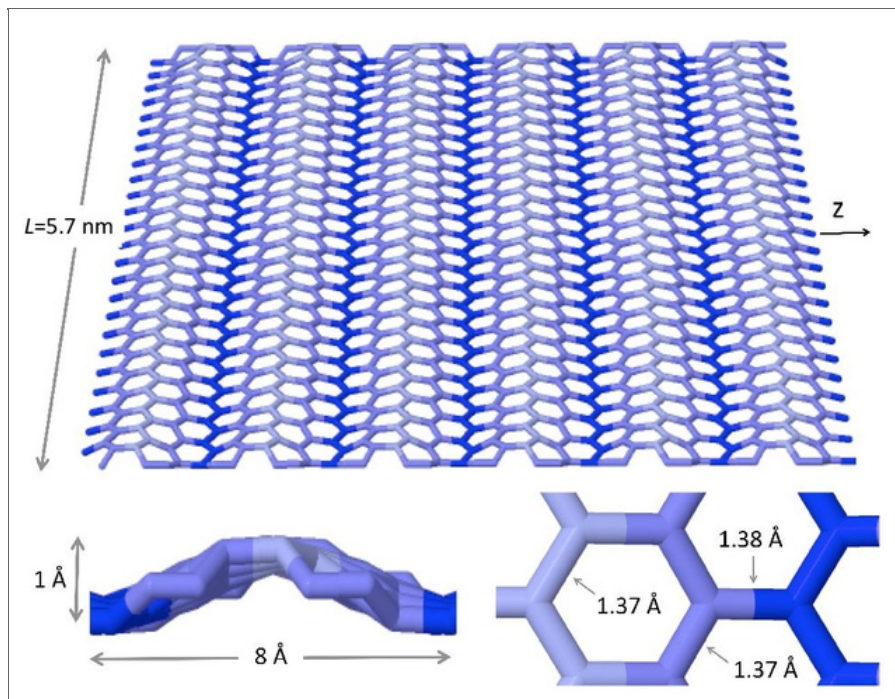
A sík grafénban az elektronok eloszlása a grafén hatszögös rácsát követi, míg a nanoskálán hullámos grafénban már a szerkezeti hullámok periódusát. Az elektronok a hullámhegyekben és a hullámvölgyekben szeretnek leginkább tartózkodni. Az elektromos töltésnek ez az átrendeződése vezet oda, hogy a hullámos grafénban végül is létre tud jönni egy teljesen kikapcsolt állapot.

Új elmélet kellett

„Amikor létrehoztuk ezeket a nanométeres rendezett hullámokat a grafén szerkezetében, mi is meglepődtünk, hogy ennyire kicsi, mindössze 0,7 nanométeres hullámhosszakat is sikerült elérni. A makroszkopikus világban kidolgozott és évszázadok óta sikerrel alkalmazott klasszikus mechanika értelmében olyan anyag, amely ilyen kis hullámhosszú szerkezeti hullámokat képes elviselni, nem is létezhetne. A vastagságának egy atomnál is sokkal kisebbnek kellene lennie, ami gyakorlatilag nem megvalósítható”.

Nagy valószínűséggel a ma ismert anyagok közül a grafén az egyetlen, amely képes erre a mutatványra. Különös paradoxon ez, ugyanis a grafén hírhedt arról, hogy a síkban történő deformációkkal (nyújtással) szemben a legmerevebben ellenáll. Ugyanakkor a magyar kutatók által vizsgált hullámosodás esetében ez a leglágyabb ismert anyag. Annyira lágy, hogy azt már a klasszikus mechanika keretein belül nem is lehet értelmezni. A klasszikus mechanika szerint olyan ismert anyagból álló membrán, amely ilyen kis hullámhosszú szerkezeti hullámosságot képes elviselni, nem létezik.

A magyar kutatók felfedezése annyira új területre nyitott kaput, hogy a Minnesotai Egyetem egyik elméleti mechanika professzorával közösen új elméletet kellett kidolgozniuk a nanoméretű membránok viselkedésének magyarázatához. „Azt, hogy miként viselkedik egy rugalmas membrán (esetünkben a grafén) ilyen parányi hullámokra, eddig senki sem tudta tanulmányozni, így jobb híján azt gondoltuk, hogy a klasszikus membránmechanika törvényei itt is működnek. Nekünk sikerült először kísérletileg megvizsgálni ezt a szituációt, és azt találtuk, hogy a klasszikus mechanika nem tudja leírni a nanoméretű hullámokat” – mondta Tapasztó.



Grafén hullámok számítógépes modellezése.

Fotó: MTA

Házon belül a gyakorlati alkalmazásig

Hogy ez az új viselkedésmód mire lesz jó, még nyitott kérdés. Az egyik legígéretesebb jelenség, hogy a hullámok mérhető változásokat idéznek elő a grafén elektromos viselkedésében, és a hullámosság a grafénra ható mechanikai feszültséggel is változik. Gyakorlatilag egy szenzort hoztak létre, hiszen nagyon érzékeny kapcsolat van a mechanikai feszültség és az elektromos tulajdonságok között.

Hasonló elven működő érzékelők léteznek már a mikrométeres tartományban, ezeket hívják mikro-elektromechanikai rendszereknek. A kutatócsoport által most létrehozott grafén membránok azonban nanoméretű érzékelőként működhetnek.

Tapasztó szerint hangsúlyozni kell, hogy egyelőre csak a működési elvet találták meg. Hogy ez a membrán valóban eszközként működhessen, meg kell oldani az információk elektromos kiolvasását, és más technikai kihívásokat. Azonban a TTK Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Intézetében nagy hagyományai vannak az érzékelők fejlesztésének, ezért valószínűleg házon belül el tudják vinni a működő eszközig a mostani tudományos eredményeket.

Magyarország az élen

[Magyarország a világ élvonalához tartozik \[6\]](#) a grafén kutatásában, illetve abban, hogy az anyagot felhasználhatóvá tegyék. Az MFA nanoszerkezetek laboratóriumában ez immár a második olyan nanotechnológiai eljárás, amely új etalont állít fel a grafénkutatás területén. A korábban, szintén általuk kifejlesztett STM (páztázó alagútmikroszkópiás) litográfias nanomegmunkálási eljárás pontosságát (2,5 nm széles grafén szalag) a mai napig nem sikerült másnak elérnie.

A kísérleti munka [a Koreai-Magyar Közös Nanolaboratóriumban \[7\]](#) zajlott, amelynek hazai koordinátora Biró László Péter. A grafén mintákat Chanyong Hwang csoportjával (Korea Research Institute of Standards and Science) együttműködve állították elő, az elméleti szimulációk pedig Traian Dumitrica csoportjával (University of Minnesota) együttműködésben születtek.

