

NANO



MIKRO- ÉS NANOTECHNIKA II

Dr. Pődör Bálint

Óbudai Egyetem KVK Mikroelektronikai és Technológia Intézet

6a. ELŐADÁS: SZÉN NANOCSSÖVEK MECHANIKAI TULAJDONSÁGAI



2012/2013 tanév 1. félév

Nem-szerkesztett (ideiglenes) változat!

1

SZAKÍTÓSZILÁRDSÁG

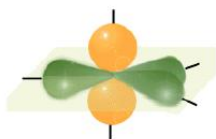
Az sp^2 C-C kötés a grafit bázislapja síkjában a legerősebb létező kémiai kötés, de a síkok közötti kötés gyengesége miatt a grafit nem alkalmas szerkezeti anyagnak.

Az sp^2 kötések nagy kötése erőssége gyakorlati kihasználásának egy lehetséges módja olyan (szén)szálak alkalmazása, melyekben az összes bázissík közelítőleg párhuzamos a szál tengelyével.

Szénszálakat már sok éve állítanak elő ily módon, és használják azokat különféle kompozit szerkezetekben. Az ilyen szálak az átmérőjükhöz viszonyítva igen nagy merevséggel valamint igen nagy szakítószilárdsággal (szálakra 2-5 GPa, "whisker"-re elérheti a 20 GPa-t is) rendelkeznek, ami jóval nagyobb a nagyszilárdságú acélokénál (1-2 GPa) de a szerkezeti hibák miatt még igen messze van az elmélet határértéktől.

C-C KÖTÉS: sp^2 ÉS sp^3

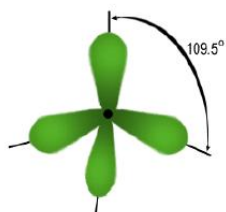
sp^2



Graphite



sp^3



Diamond



SZAKÍTÓSZILÁRDSÁG

Egy anyag szakítószilárdsága σ_C elméleti határának legegyszerűbb becslése

$$\sigma_C = E\lambda/2\pi a_0$$

E - rugalmassági (Young) modulus (1026 GPa a grafít bázissíkjára, azaz a grafénre),

λ - a feltételezett, szinuszosan változó atomközi erőfüggvény periódusa,

a_0 - az atomok egyensúlyi távolsága.

Ha a_0 a periodus fele akkor

$$\sigma_C \approx E/\pi$$

(0.326 TPa grafénre.)

SZAKÍTÓSZILÁRDSÁG

Az Orován-Polányi model a σ_T elméleti szakítószilárdságot azon az alapon határozza meg, hogy a töréshez szükséges munka (energia) egyenlő két felület létrehozásánál fellépő energianyereséggel

$$\sigma_T = (E\gamma/a)^{0,5}$$

itt γ a grafén prizmatikus kötéseinek felületi energiája ($4,2 \text{ J m}^{-2}$) és a pedig a törési felületen a rácssíkok közötti távolság.

A felület típusától (kristályrács) függően σ_T értéke $E/7$ és $E/5$ ($0,14$ – $0,177 \text{ TPa}$) között van, amely érték egy nagyságrenddel nagyobb mint a karbon (szén) whisker-ek megfelelő tapasztalati értéke.

CNT SZAKÍTÓSZILÁRDSÁGA

The discovery of fullerene-related carbon nanotube structures in 1991 has renewed hopes of approaching the theoretical limit of tensile strength.

Since such structures are much smaller (by a factor of 1000 or more) and grow as concentric cylinders, rather than in scroll-like structures, as do conventional carbon fibers, they are nearly defect-free. Indirect measurements of the mechanical properties of these nanotubes have yielded very high moduli indeed.

Direct tensile testing of individual tubes, however, has proved challenging, however, due to their extremely small size (10 nm or less in diameter).

CNT SZAKÍTÓSZILÁRDSÁGA

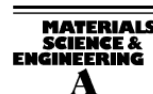
An accurate assessment of the mechanical properties of individual nanotubes is an important first step in guiding the potential development of structural composite materials incorporating these nanotubes so that their inordinately high tensile strength and stiffness can be realized in everyday materials.

MWCNT SZAKÍTÓSZILÁRDSÁGÁNAK ÉS RUGALMASSÁGI MODULUSÁNAK MEGHATÁROZÁSA



ELSEVIER

Materials Science and Engineering A334 (2002) 173–178



www.elsevier.com/locate/msea

Direct mechanical measurement of the tensile strength and elastic modulus of multiwalled carbon nanotubes

B.G. Demczyk^{a,*}, Y.M. Wang^a, J. Cumings^a, M. Hetman^a, W. Han^a, A. Zettl^a, R.O. Ritchie^b

^a Department of Physics, University of California at Berkeley and Materials Science Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA 94720, USA

^b Department of Materials Science and Engineering, University of California at Berkeley and Materials Sciences Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA 94720, USA

Received 22 March 2001; received in revised form 21 August 2001

Teljes szöveg elérhető egyetemi számítógépről!

MWCNT SZAKÍTÓSZILÁRDSÁGÁNAK ÉS RUGALMASSÁGI MODULUSÁNAK MEGHATÁROZÁSA

Szakító- és hajlító vizsgálatok történtek egyedi szén nanocsöveken (CNT) *in-situ* módszer egy transzmissziós elektronmikroszkópban (TEM).

A CNT szakadásához szükséges erő méréseiből a szakítószilárdság értéke 0,15 TPa-nak adódott. A hajlítási vizsgálatokból megbecsülhető a Young-modulus melyre 0,9 TPa adódott.

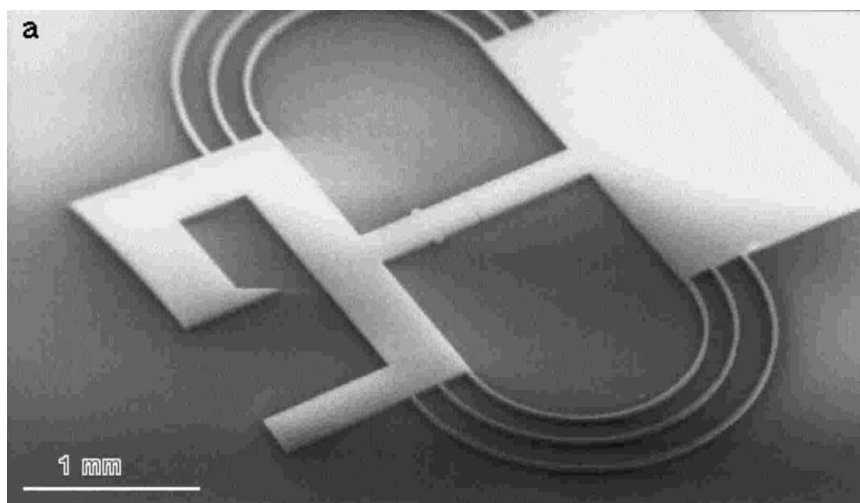
Az eredmények szerint a szakítószilárdság a rugalmas állandó nagy hányada (kb. 1/6), bár a rugalmas merevségre vonatkozó korábbi mérések nagyobb (kétszerest is elérő) értéket adtak a modulusra.

Az eredmények azt mutatják hogy az egyedi CNT-k lényegében mint hibahely-mentes anyagok hibásodnak meg. A szakadás előtt keresztmetszet-csökkenés nem volt megfigyelhető.

A fentieken túlmenően a hajlítási vizsgálatok szerint a CNT-k rendkívül flexibilisek.

Ezen unikális tulajdonságok alapján a CNT-k igen perspektivikusak mint erősítő szálak szerkezeti anyagokban.

”SZAKÍTÓGÉP”



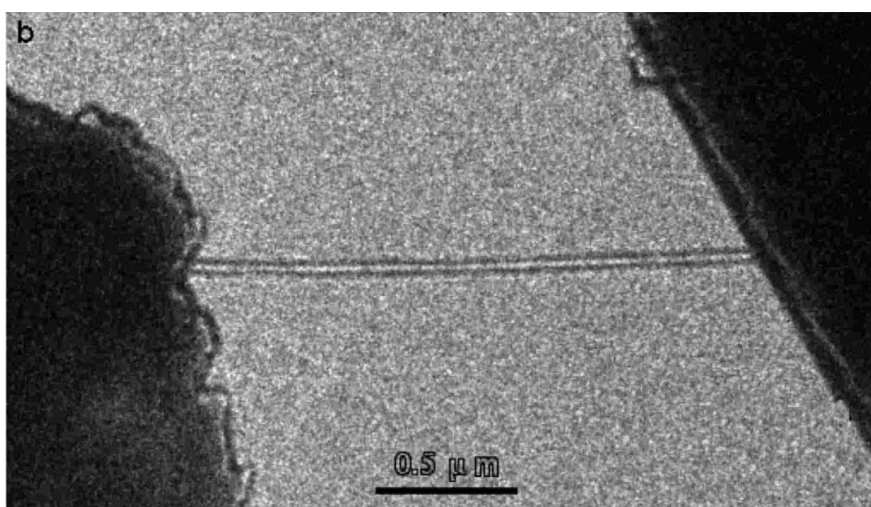
Microfabricated nanotube tensile testing device

CNT-K ELŐKÉSZÍTÉSE

Nanotubes were deposited onto the device by dropping via a pipette from an ultrasonically dispersed (in isopropanol) solution of nanotubes. Generally, this process alone was sufficient to secure nanotubes at both ends. In a few cases, a carbon contamination spot was actually formed on one end by converging the electron beam, and this spot utilized as the support.

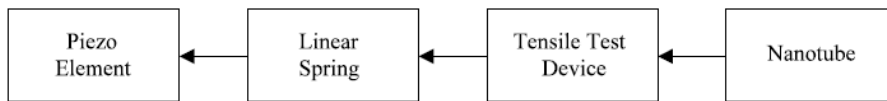
Various pulling and bending sequences could then be observed and recorded on videotape for subsequent analysis.

MWCNT A SZAKÍTÓGÉP BEN



multiwall carbon nanotube spanning device gap

SZAKÍTÓESZKÖZ MODELLJE



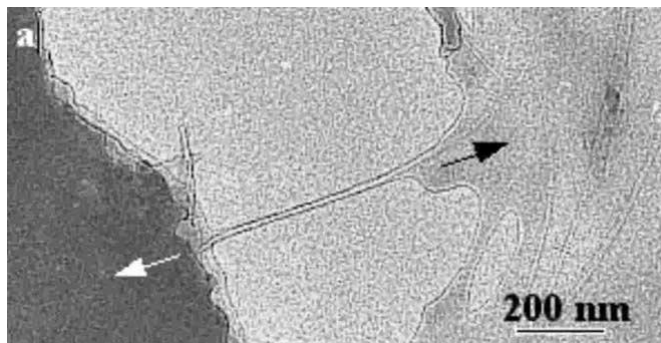
(c)

$$k_S x$$

$$-k_D x$$

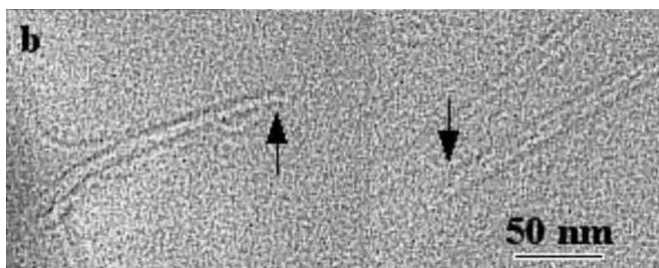
block diagram of experimental setup

CNT A SZÁÍTÓESZKÖZBEN



Multiwall carbon nanotube just prior to tensile testing.
Arrows indicate direction of loading (white is actual pulling direction).

CNT A SZAKÍTÓVIZSGÁLAT UTÁN



Fracture surfaces of both ends of the tube after breakage.
Note that rightmost end of nanotube has moved vertically downward past another, unrelated tube.

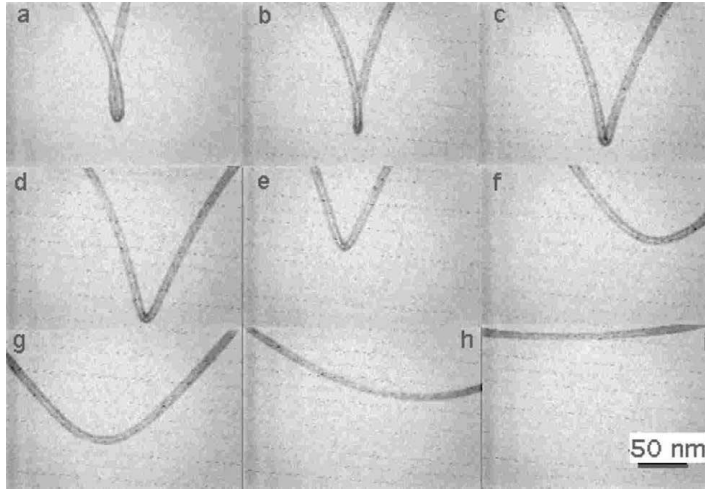
EREDMÉNYEK

Based on our observed tensile force at failure ($18 \mu\text{N}$) and the measured cross sectional area of the nanotube (123 nm^2 , based on a tube diameter of 12.5 nm), our computed tensile stress to breakage is 0.15 TPa .

Uncertainties in this measured value can be attributed to the force constant of the AFM cantilever utilized for calibration (20%) and the magnification of the TEM images, from which nanotube dimensions were obtained (5–10%).

This value is in general agreement with that predicted by the Orowan–Polanyi relation, utilizing $E=1.026 \text{ TPa}$ for the graphene sheet.

BENDING TEST



In-situ bending sequence on a single multiwalled carbon nanotube. Note strain contrast at sharp bends (b–e) and the lack of the same in the straightened tube (i).

BENDING TEST

In this sequence, the leftmost end of the nanotube was held fixed, so forming a cantilever beam arrangement. The sequence can be repeated over and over without any apparent damage to the nanotube structure. This is consistent with observations of other workers suggesting elastic deformation in bending in even highly distorted configurations in these materials.

We can use simple cantilever beam theory to extract a value of Young's modulus for the last case (i), which most closely approximates a cantilever beam in simple bending.

We obtain, $E=0.91$ TPa, which is consistent with both theory and previous experimental results (about 0.3-1.3 TPa).

ÉRTÉKELÉS

The large elastic modulus and breaking strength determined for these multiwalled carbon nanotubes makes them obvious candidates for reinforcement elements in ceramic, metal and polymer matrix composites. In particular, the elastic buckling exhibited by carbon nanotube makes them exceedingly resilient materials.

Hence, the ability of carbon nanotubes to elastically sustain loads at large deflection angles enables them to store or absorb considerable amounts of energy. This should render carbon nanotube reinforced composites applicable where energy-absorbing properties are desired.

VÉGE