

Νανοεπιστήμη και Νανοτεχνολογία: η νέα Επιστήμη των Υλικών

Γιάννης Ρεμεδιάκης

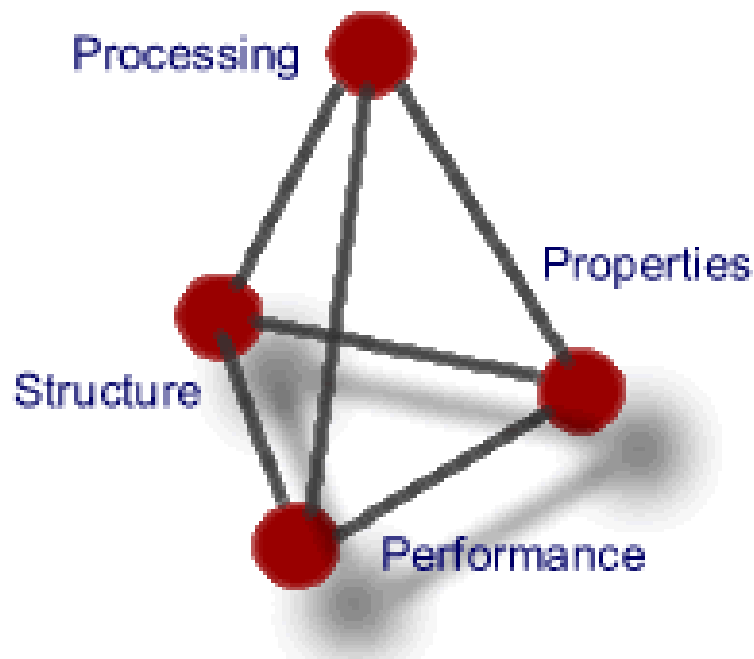
*Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Υλικών
Πανεπιστήμιο Κρήτης*

Περιπλανήσεις στον Κόσμο της Φυσικής

ΣΥΛΛΟΓΟΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΡΗΤΗΣ, Θεατρικός Σταθμός Ηρακλείου, 31/10/2015

Τι είναι η Επιστήμη Υλικών;

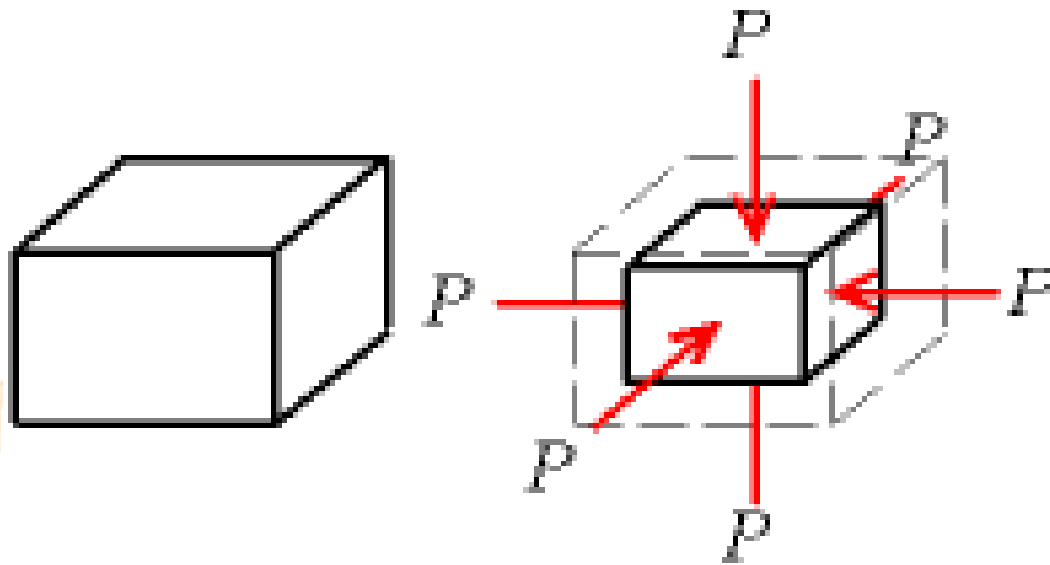
- Η επιστήμη που μελετά τη σχέση μεταξύ δομής και ιδιοτήτων στερεών υλικών.
- Υλικά είναι ο πηλός, το σίδηρο, το γυαλί, το ξύλο, το πλαστικό, το δέρμα, τα δόντια...



Περιλαμβάνει την ...

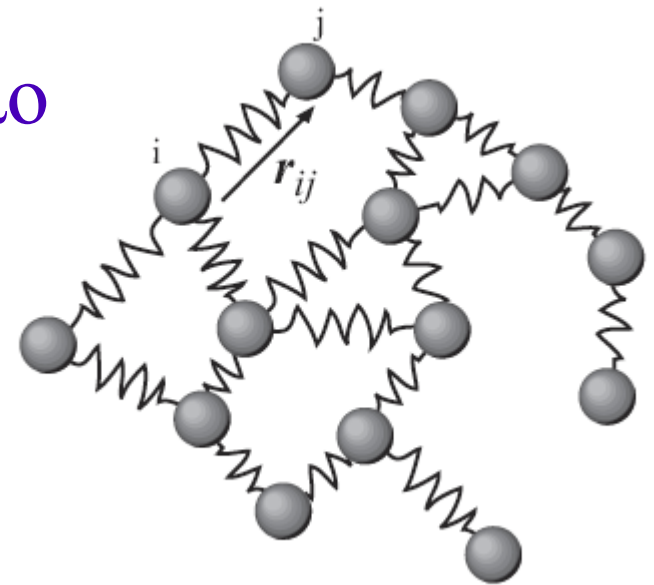
- Φυσική (όχι άστρα-πυρήνες),
- Χημεία (όχι τρόφιμα-αέρια),
- Βιολογία (όχι οργανισμοί-εξέλιξη).

Συμπιεστότητα



$$\frac{\Delta V}{V} = -\kappa P$$

- Στον πιο βαθύ ωκεανό, ένα μέταλλο συμπιέζεται κατά μόλις 1%.
- Το υλικό συμπεριφέρεται σαν σύμπλεγμα ελατηρίων.
- N. Hooke: $F = -k x$



Από τον μικρόκοσμο στον μακρόκοσμο

- Πώς σχετίζονται οι δυνάμεις μεταξύ των μορίων με την συμπίεστικότητα των υλικών;

Ich fand:

$$c_H = -1,6, \quad c_C = 55,0, \quad c_O = 46,8.$$

Formel	$\sum c_\alpha$	$\sum c_{\alpha_{\text{ber.}}}$	Name der Verbindung
$C_{10}H_{16}$	510	524	Citronenterpen
CO_2H_2	140	145	Ameisensäure
$C_2H_4O_2$	193	197	Essigsäure

Xylol	$1,71 \cdot 10^4$	Aethylalkohol	$1,70 \cdot 10^4$
Cymol	$1,71 \cdot 10^4$	Methylalkohol	$1,74 \cdot 10^4$

*5. Folgerungen aus den Capillaritätserscheinungen;
von Albert Einstein.*

Zürich, den 13. December 1900.

Σκληρά και μαλακά υλικά

- Γιατί κάποια υλικά συμπιέζονται εύκολα (πλαστικά) ενώ άλλα δύσκολα (γυαλί);
- Γιατί η σκληρότητα αλλάζει θεαματικά με κατεργασία; (σφυροκόπημα ατσαλιού);
- Πώς συνδέονται
 - Συμπιεστικότητα,
 - Αντοχή σε κάμψη,
 - Δυσκολία χαραγής;
- Ας ξεκινήσουμε με τα γνωστά μας ελατήρια...

Ποιο είναι πιο σκληρό;



Το κοντό ελατήριο ή το μακρύ;

Τι σημαίνει πιο σκληρό;

- Αν ασκήσουμε ίδια δύναμη, ποιο θα κοντύνει (ή θα μακρύνει) περισσότερο;
- $F = k x$ $x = F / k$ $k = F / x$
- Για ίδια δύναμη F , έχω μεγαλύτερο x στο πιο μαλακό ελατήριο, δηλαδή αυτό με την πιο μικρή τιμή k .
- Ποιο ελατήριο νομίζετε ότι έχει μεγαλύτερο k ;

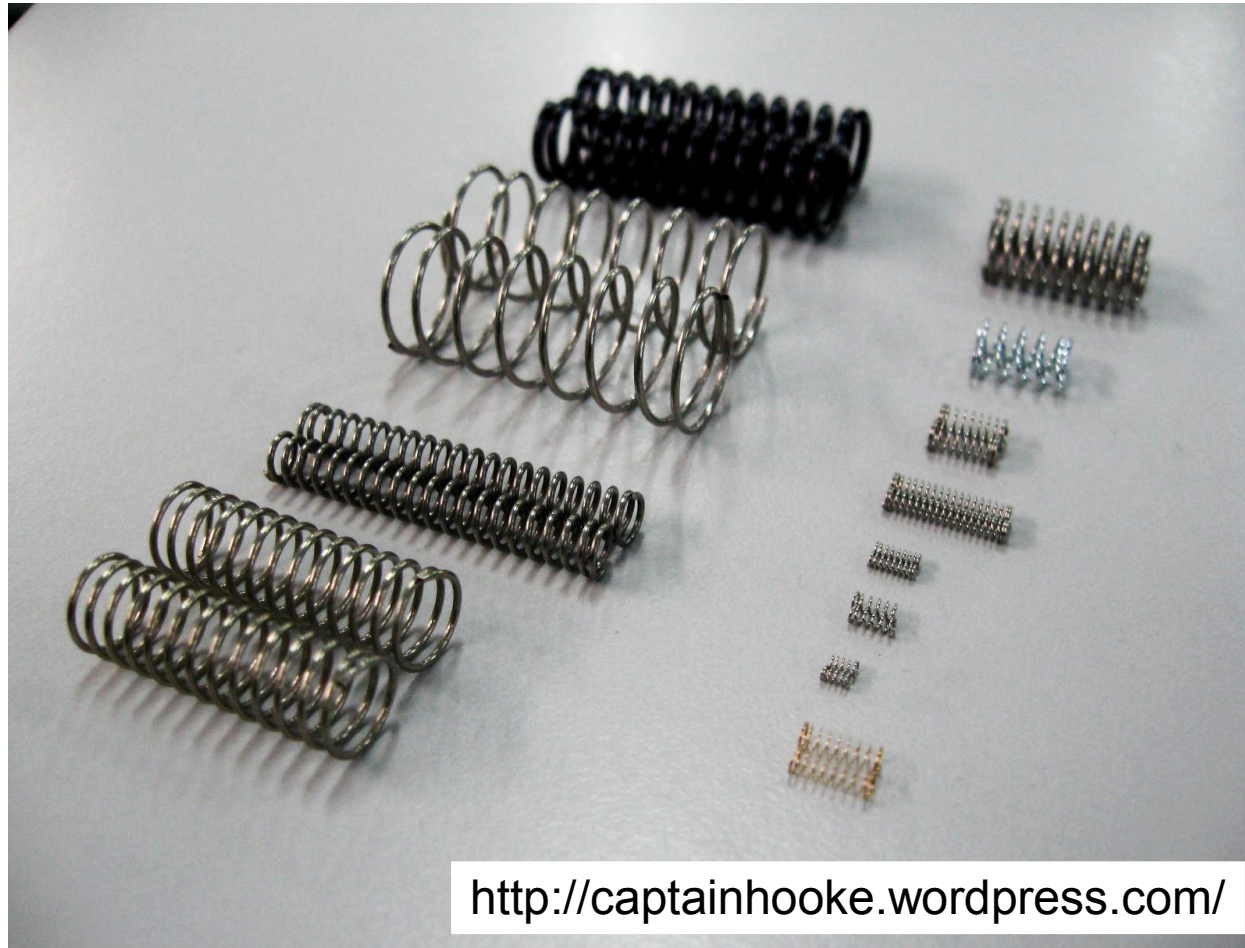
Το κοντό ελατήριο ή το μακρύ;

Ποιο είναι πιο σκληρό;



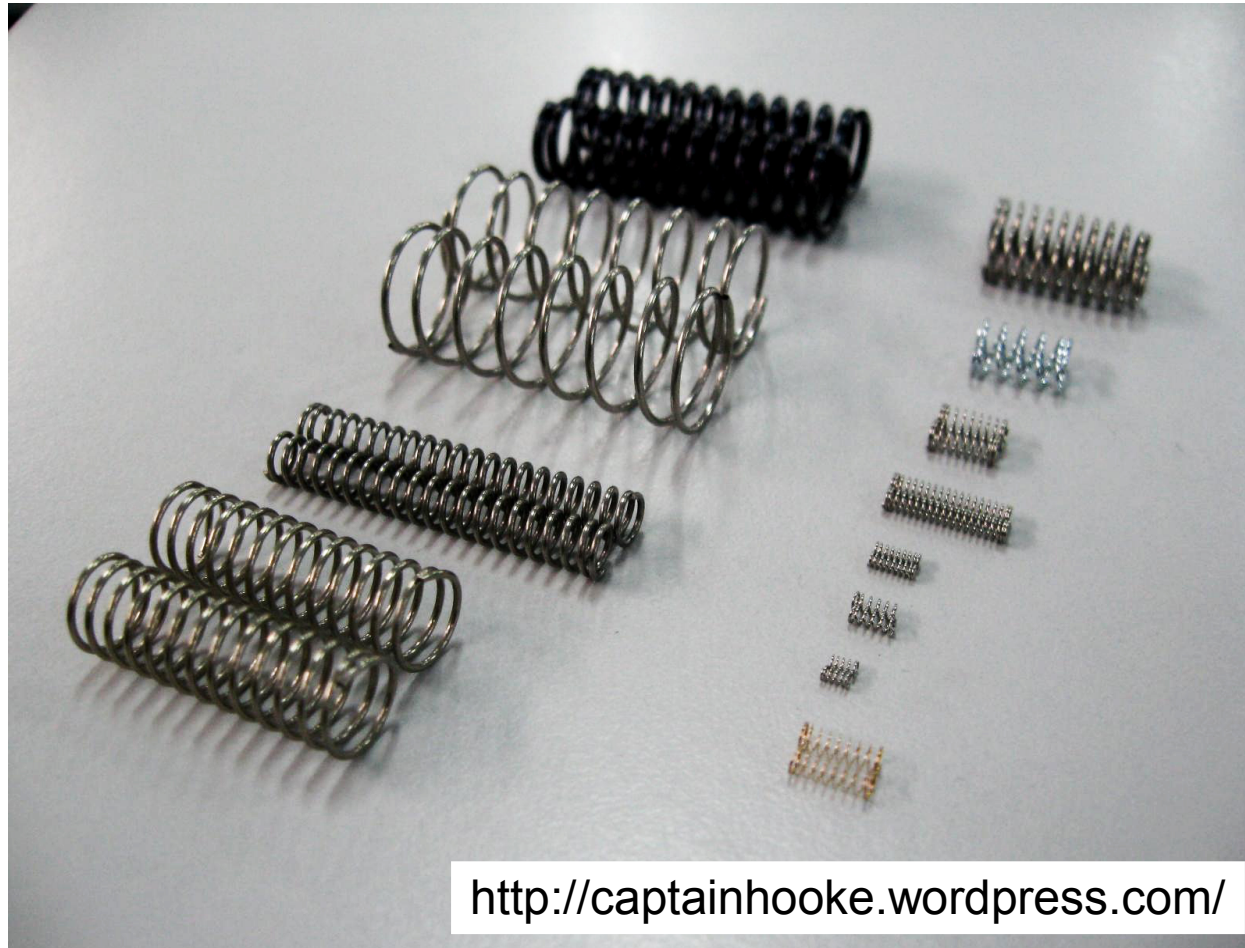
Όσο πιο κοντό, τόσο πιο σκληρό!
Μισό μήκος $\rightarrow$ διπλάσιο k .

Ποιο είναι πιο σκληρό;



Αυτό με την μικρότερη ή αυτό με την
μεγαλύτερη διάμετρο;

Ποιο είναι πιο σκληρό;



Όσο πιο στενό, τόσο πιο σκληρό!
Μισή διάμετρος $\rightarrow$ οκταπλάσιο k !

Ποιο είναι πιο σκληρό;



Το ατσάλινο ή το τσίγκινο;

Ποιο είναι πιο σκληρό;



Το ατσάλινο!

$$k_{\text{ατσάλινο}} = 5 k_{\text{τσίκινο}}$$

Η σταθερά ελατηρίου, k

$G \sim 1 / (\text{συμπιεστικότητα})$
(Επιστήμη Υλικών)

Διάμετρος καλωδίου
(Τεχνολογία υλικών)

$$k = G \frac{d^4}{8 n D^3}$$

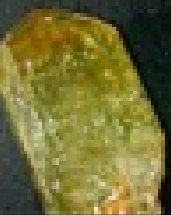
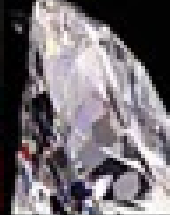
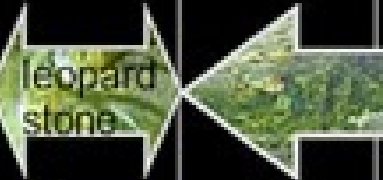
Αριθμός και
διάμετρος σπειρών
(Μηχανική Υλικών)

Θέλω να φτιάξω το πιο σκληρό ελατήριο

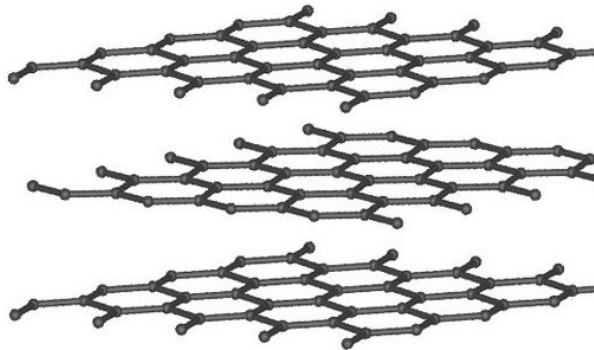
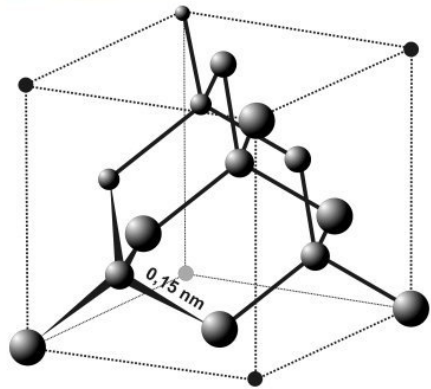
- Τα υλικά αποτελούνται από μόρια.
 - Δεν μπορούμε να φτιάξουμε υλικά με διαστάσεις μικρότερες από αυτές των μορίων.
 - Τα μικρότερα μόρια έχουν μήκος γύρω στο
1 nm
 - = 0.000000001 m
 - = 0.0000001 cm
 - = 1/10000 mm.
- Ψάχνουμε ένα τεχνητό νανοϋλικό.

Ποιο είναι το πιο σκληρό υλικό;

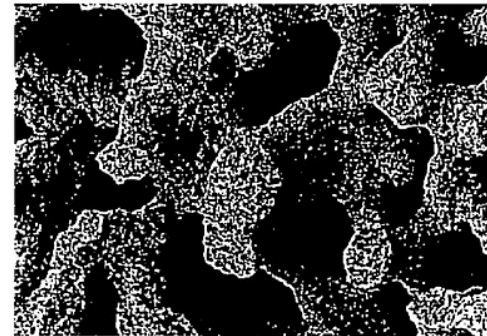
Moh's Hardness Scale

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
									
TALC very soft, like chalk	GYPSUM easily scratched with a nail	CALCITE difficult to scratch with a nail	FLUORITE cannot be scratch with a nail	APATITE about the hardness of teeth	MICRO- CLINE suitable for gems	QUARTZ scratches glass	TOPAZ harder than quartz	RUBY harder than to- paz	DIAMOND hardest material known to man
									
									
									

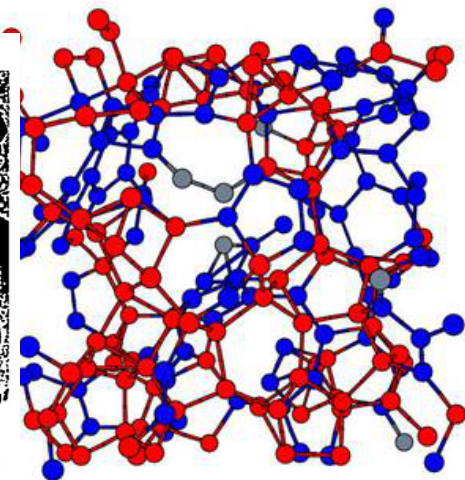
Διαμάντι, γραφίτης, κάρβουνο, άμορφος άνθρακας



Max-Planck-Gesellschaft

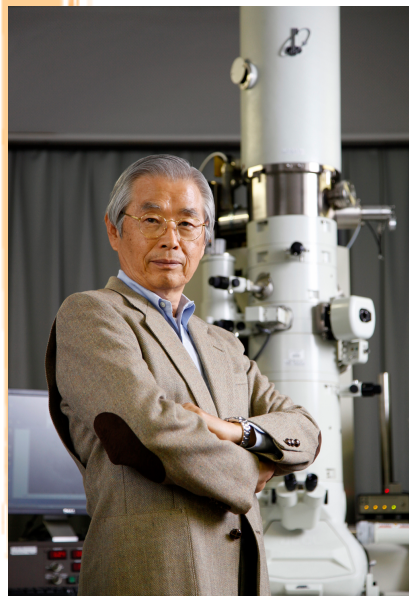


1 μm FIG. 3B SEM micrographs of porous carbon material as used for an electrode



Υπάρχει δομή του άνθρακα με διάμετρο κοντά στο 1 nm ;

- Το 1991, ο Ιάπωνας φυσικός S. Iijima κατασκεύασε νανοσωλήνες άνθρακα.
- Η ανακάλυψη αυτή αποτελεί για πολλούς την απαρχή ενός νέου κλάδου, της **Νανοτεχνολογίας**.



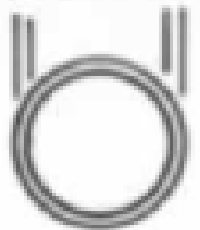
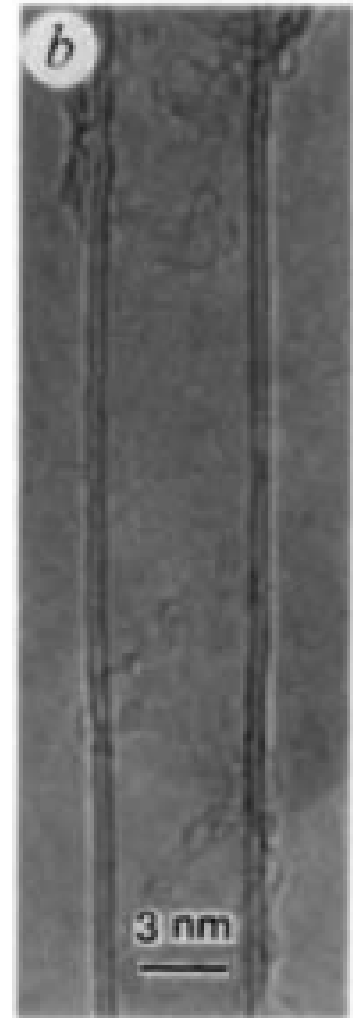
LETTERS TO NATURE

Helical microtubules of graphitic carbon

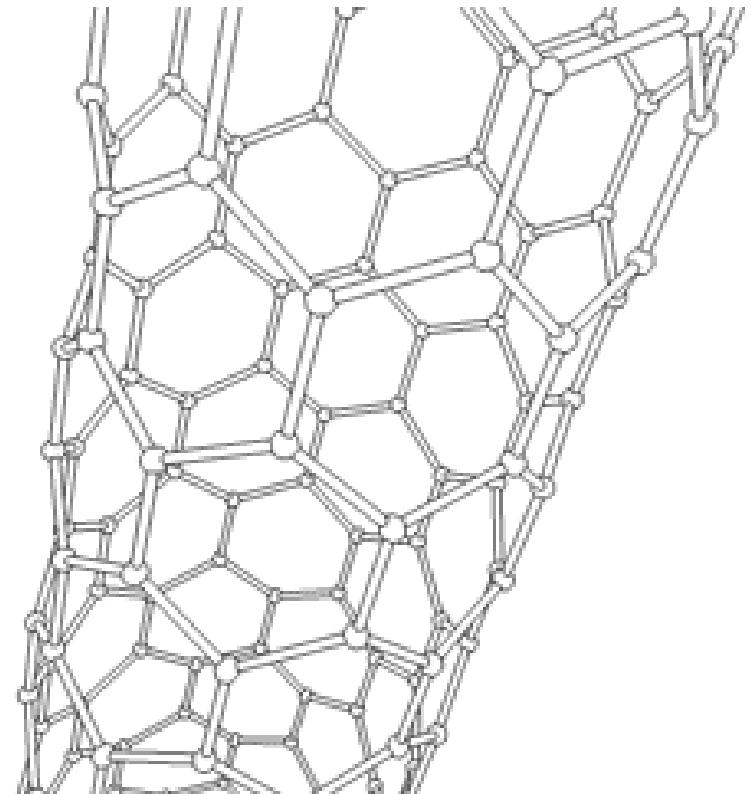
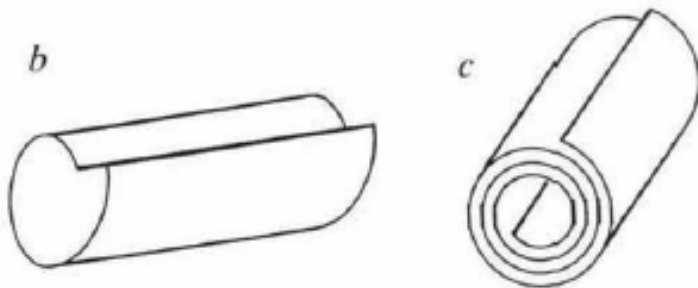
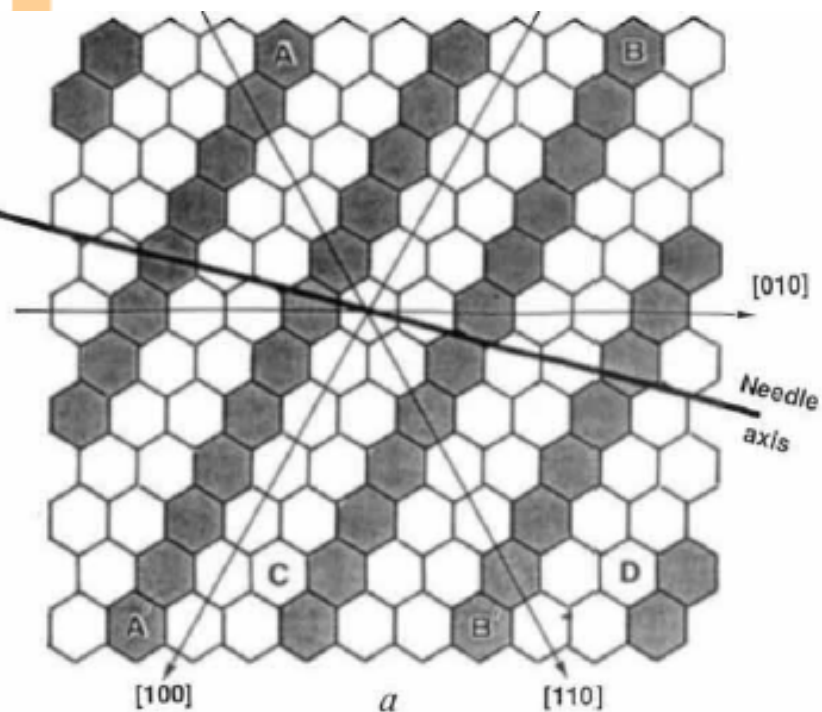
Sumio Iijima

NEC Corporation, Fundamental Research Laboratories,
34 Miyukigaoka, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

THE synthesis of molecular carbon structures in the form of



Ατομική δομή του νανοσωλήνα



LETTERS TO NATURE

Helical microtubules of graphitic carbon

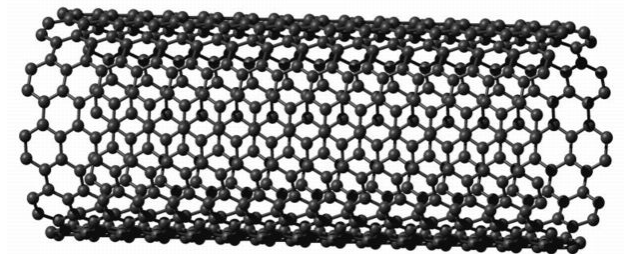
Sumio Iijima

NEC Corporation, Fundamental Research Laboratories,
34 Miyukigaoka, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

THE synthesis of molecular carbon structures in the form of

Οι νανοσωλήνες ως ελατήρια

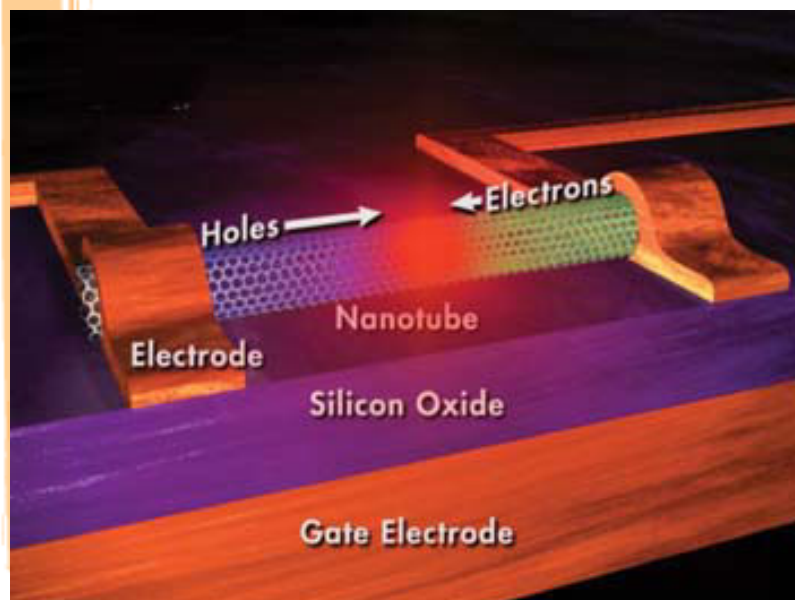
- Πόση μάζα πρέπει να κρεμάσουμε ώστε να μακρύνει κατά 1% ;
- Λάστιχο: 10 g.
- Ξύλο: 10 kg.
- Αλουμίνιο: 70 kg.
- Τιτάνιο: 110 kg.
- Ατσάλι: 200 kg.
- Νανοσωλήνας άνθρακα: 1100 kg.



Νανοσωλήνες: καλώδια που φωτίζουν

- Τα περισσότερα νανοϋλικά εκπέμπουν φως όταν περνάει ηλεκτρισμός από μέσα τους (όπως οι λάμπες) και επίσης δίνουν ρεύμα όταν φωτίζονται (όπως τα φωτοβολταϊκά).

$$\Delta E \propto \frac{\hbar^2}{m d^2} \approx \frac{0.3 \text{ eV}}{d^2} \Rightarrow \lambda \approx 500 / d^2 \text{ nm}.$$



Electrically Induced Optical Emission from a Carbon Nanotube FET

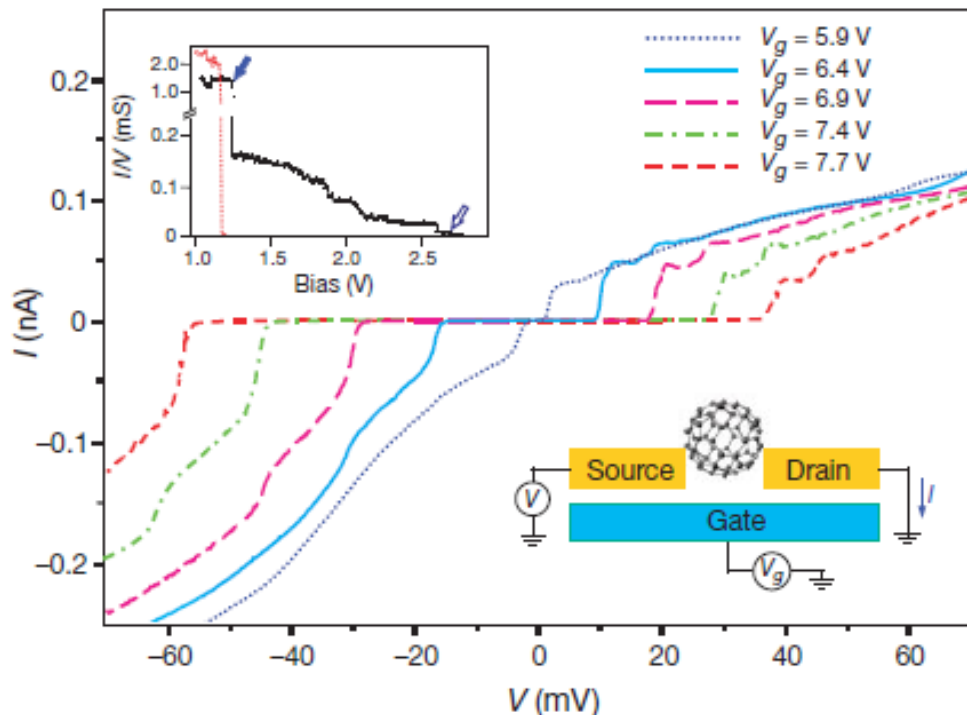
J. A. Misewich,* R. Martel, Ph. Avouris, J. C. Tsang, S. Heinze, J. Tersoff

Polarized infrared optical emission was observed from a carbon nanotube

Κυκλώματα ενός ηλεκτρονίου

- Τα περισσότερα νανοϋλικά χρειάζονται αρκετή ενέργεια για να φορτιστούν ακόμα και με ένα ηλεκτρόνιο:

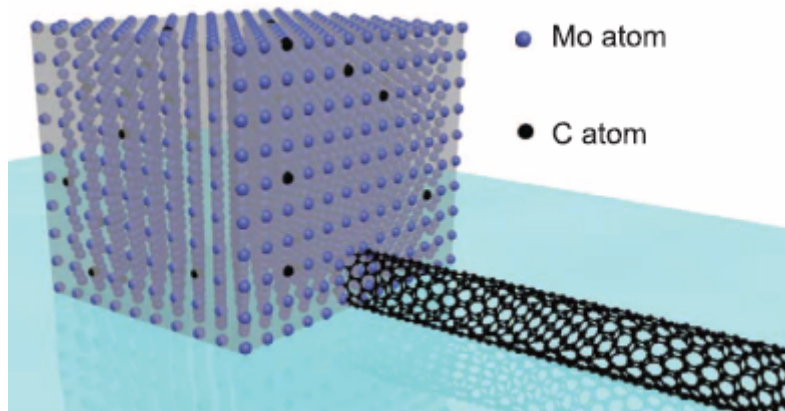
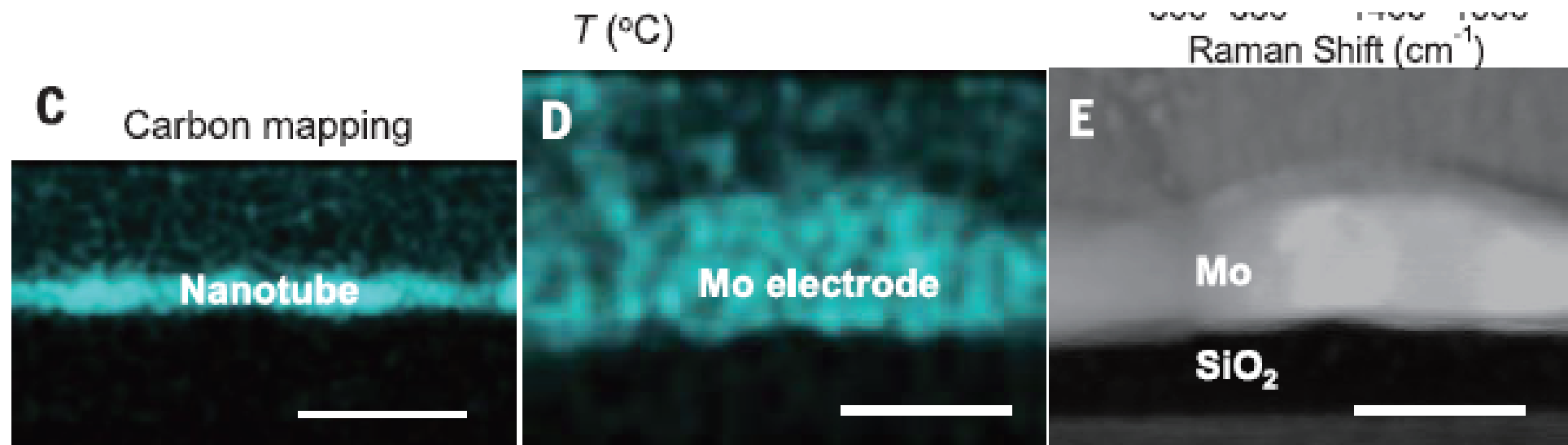
$$V \propto \frac{e}{4\pi\epsilon_0 d} \approx \frac{3V}{d}$$



Nanomechanical oscillations in a single-C₆₀ transistor

Hongkun Park^{*‡§}, Jiwoong Park[†], Andrew K. L. Lim^{*}, Erik H. Anderson[‡],
A. Paul Alivisatos^{*‡} & Paul L. McEuen^{†‡}

Ηλεκτρονικά στα 10nm



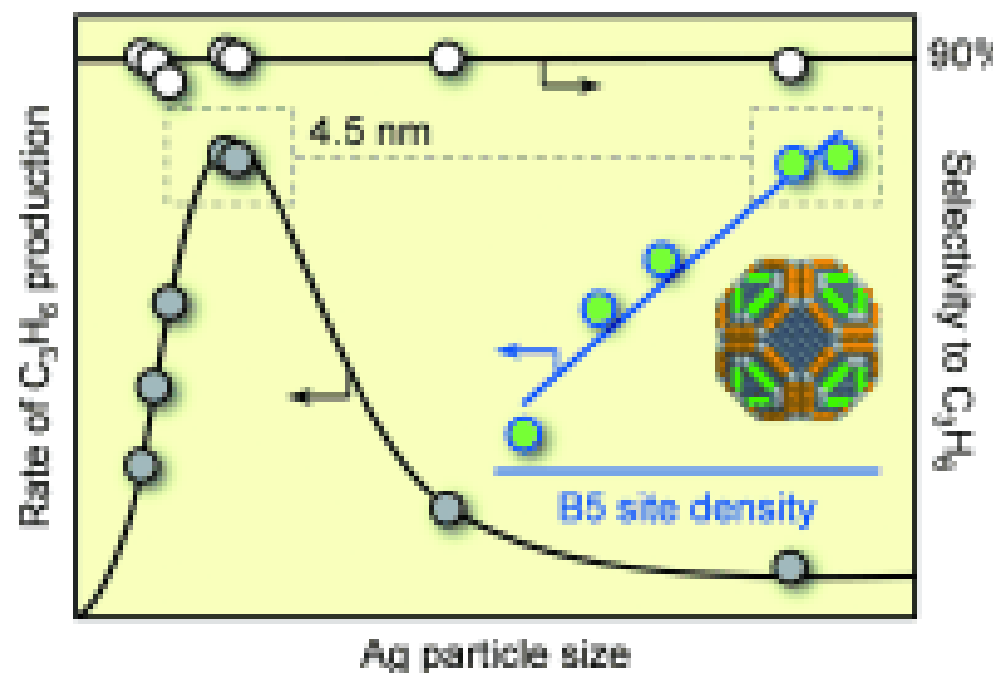
NANOELECTRONICS

End-bonded contacts for carbon nanotube transistors with low, size-independent resistance

Qing Cao,* Shu-Jen Han, Jerry Tersoff, Aaron D. Franklin,† Yu Zhu, Zhen Zhang,‡ George S. Tulevski, Jianshi Tang, Wilfried Haensch

Γιατί να παίζουν ρόλο οι διαστάσεις;

- Διαφέρει το νανο-ασήμι από το ασήμι;
- Οι καταλύτες Ag δουλεύουν καλά μόνο αν αποτελούνται από σωματίδια 4.5 nm.



Silver Nanoparticles for Olefin Production: New Insights into the Mechanistic Description of Propyne Hydrogenation

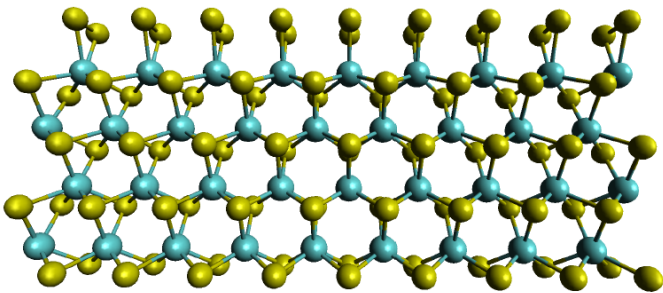
Gianvito Vilé,^[a] David Baudouin,^[b] Ioannis N. Remediakis,^[c] Christophe Copéret,^{*,[b]} Núria López,^{*,[d]} and Javier Pérez-Ramírez^{*,[a]}

Μέγεθος και σχήμα των υλικών.

- “Παλιά” υλικά: σταθερά υλικού και γεωμετρία.

$$k = G \frac{d^4}{8 n D^3}, \quad R = \rho \frac{L}{S}, \quad C = \varepsilon \frac{S}{L}.$$

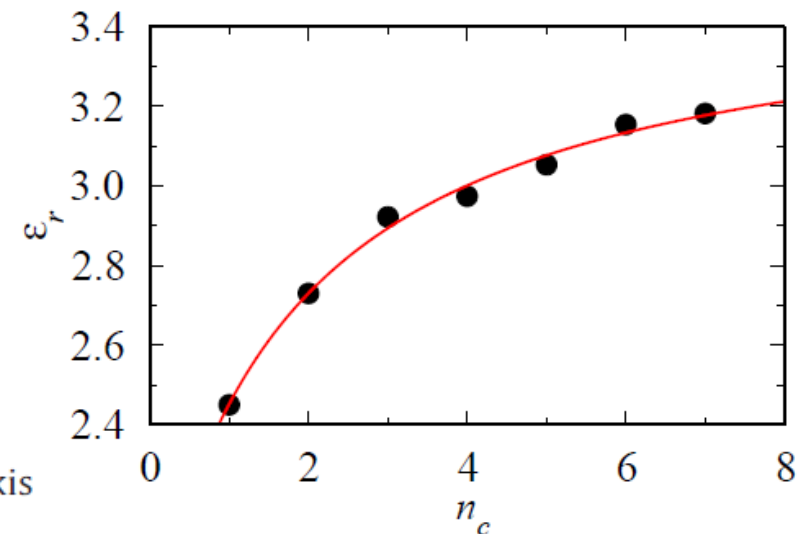
- Νανοϋλικά: “σταθερά” υλικού είναι... μεταβλητή!
- Εξήγηση: οι επιφάνειες παίζουν ρόλο.



MoS₂ nanostructures: Semiconductors with metallic edges

Daphne Davelou, Georgios Kopidakis*, George Kioseoglou, Ioannis N. Remediakis

Department of Materials Science and Technology, University of Crete, P.O. Box 2208, GR-71003 Heraklion, Crete, Greece



Εισαγωγή στη νανοχημεία I

- Όταν μαγειρεύουμε, κόβουμε τις πατάτες για να ψηθούν γρηγορότερα και νοστιμότερα.
- Έστω E το αρχικό εμβαδόν της πατάτας, και ε το εμβαδόν της τομής.
- Μετά την τομή, το κάθε κομμάτι έχει εμβαδόν $E / 2 + \varepsilon$, άρα το συνολικό εμβαδόν είναι

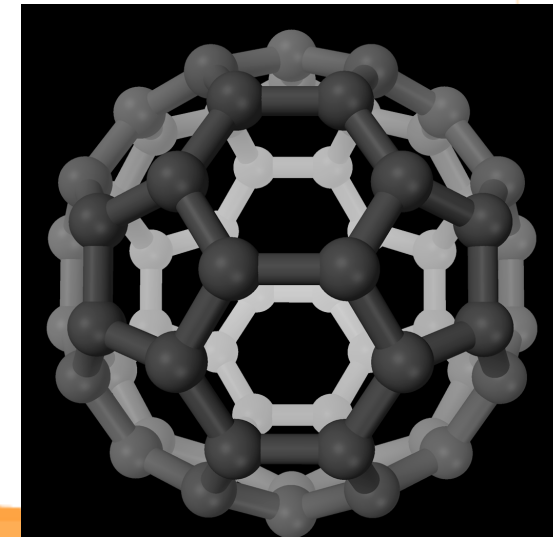
$$2 (E / 2 + \varepsilon) = E + 2\varepsilon$$

- Το εμβαδόν αυξήθηκε!



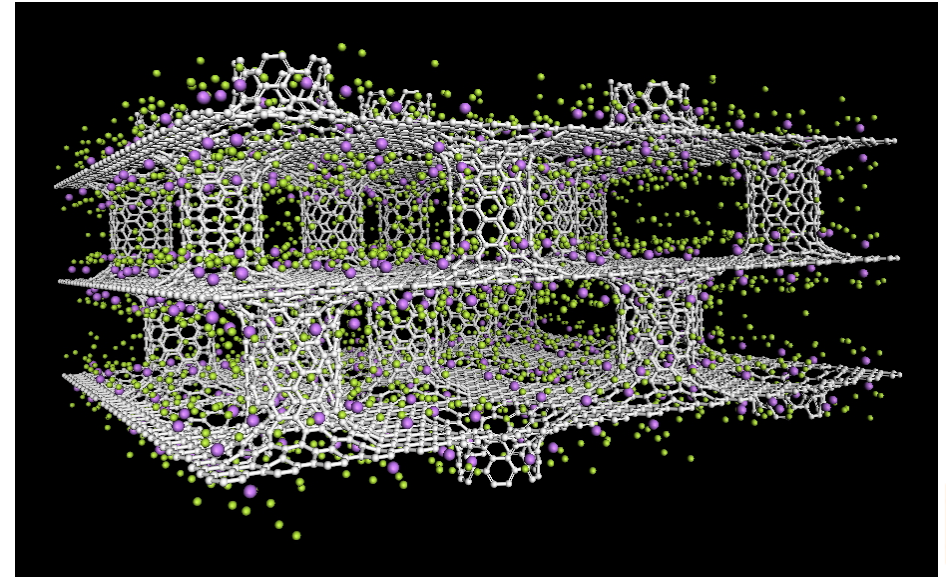
Εισαγωγή στη νανοχημεία II

- Κόβουμε ξανά και ξανά, έως ότου φτάσουμε σε νανοπατάτες σχήματος κύβου ακμής 10 nm.
 - Μια πατάτα 100g θα έχει όγκο 100 cm^3 περίπου, άρα θα δώσει $100 \text{ cm}^3 / 1000 \text{ nm}^3 = 10^{20}$ νανοπατάτες.
 - Κάθε νανοπατάτα έχει εμβαδόν $6 \cdot 100 \text{ nm}^2 = 600 \text{ nm}^2$.
 - Συνολικό εμβαδόν = $600 \cdot 10^{20} \text{ nm}^2 = 60000 \text{ m}^2$.
- - Πατάτα = $0.1 \text{ m}^2 / \text{kg}$.
 - Νανο-πατάτα = 60 στρ./kg.
 - C_{60} = 1200 στρ./kg.



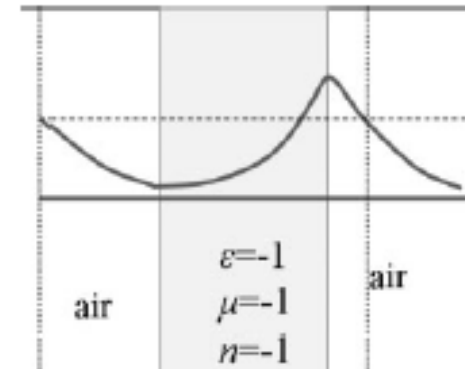
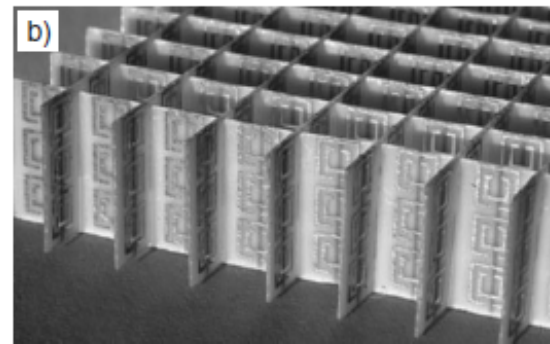
Και τι το θέλουμε τόσο εμβαδόν;

- Αποθήκη αερίων.
- Καταλύτες.
- Αισθητήρες.
- Υποστήριξη.
- Φακοί/καθρέπτες.
- ...



Dimitrakakis, Tylianakis, Froudakis, Nano Let. (2008).

Soukoulis, Kafesaki, Economou, Adv. Mater. (2006).



Σύνοψη

- Χαρακτηριστικά νανοϋλικών (και μια εφαρμογή):
 - Διέγερση ηλεκτρονίων με ορατό φως (οπτοηλεκτρονική).
 - Τάση της τάξης του 1 V για να περάσει 1 e (νανοηλεκτρονική).
 - Τεράστια επιφάνεια ανά μονάδα μάζας (νανοχημεία).
- Ρυθμιζόμενες ιδιότητες.