



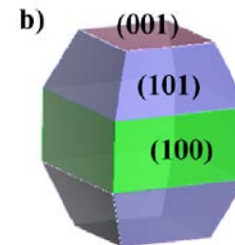
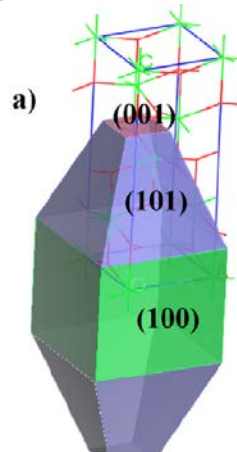
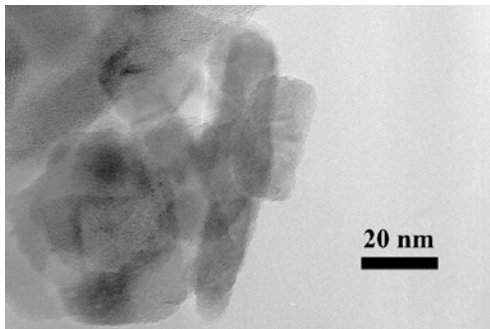
ΚΑΤΑΛΥΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Η Δομή των Στερεών Καταλυτών



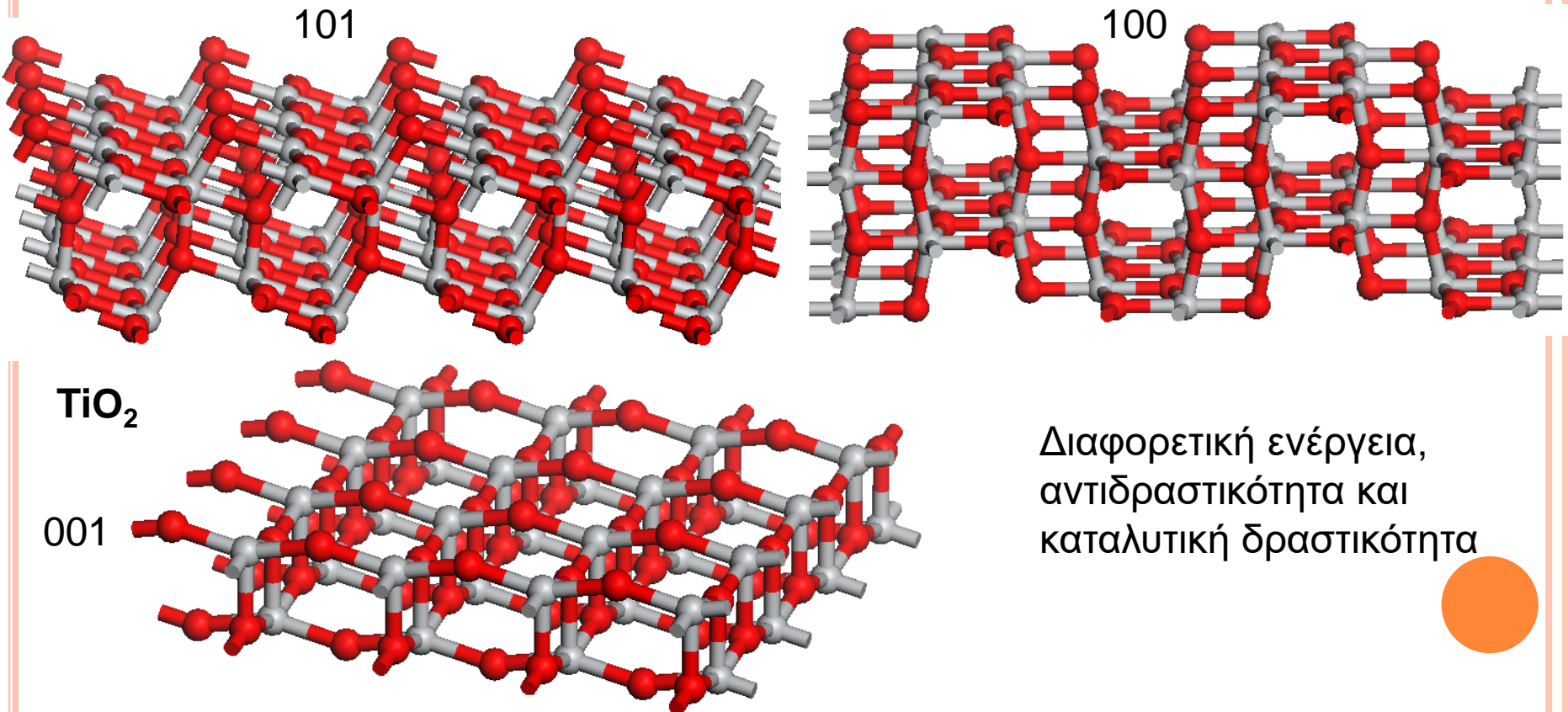
Οργάνωση της στερεάς ύλης

- Άτομα-Ιόντα – Μόρια (Διαστάσεις στην περιοχή των Å)
- Συγκροτήματα ατόμων-ιόντων-μορίων / κρυσταλλικά ή όχι (Διαστάσεις στην περιοχή των nm): Νανο-σωματίδια

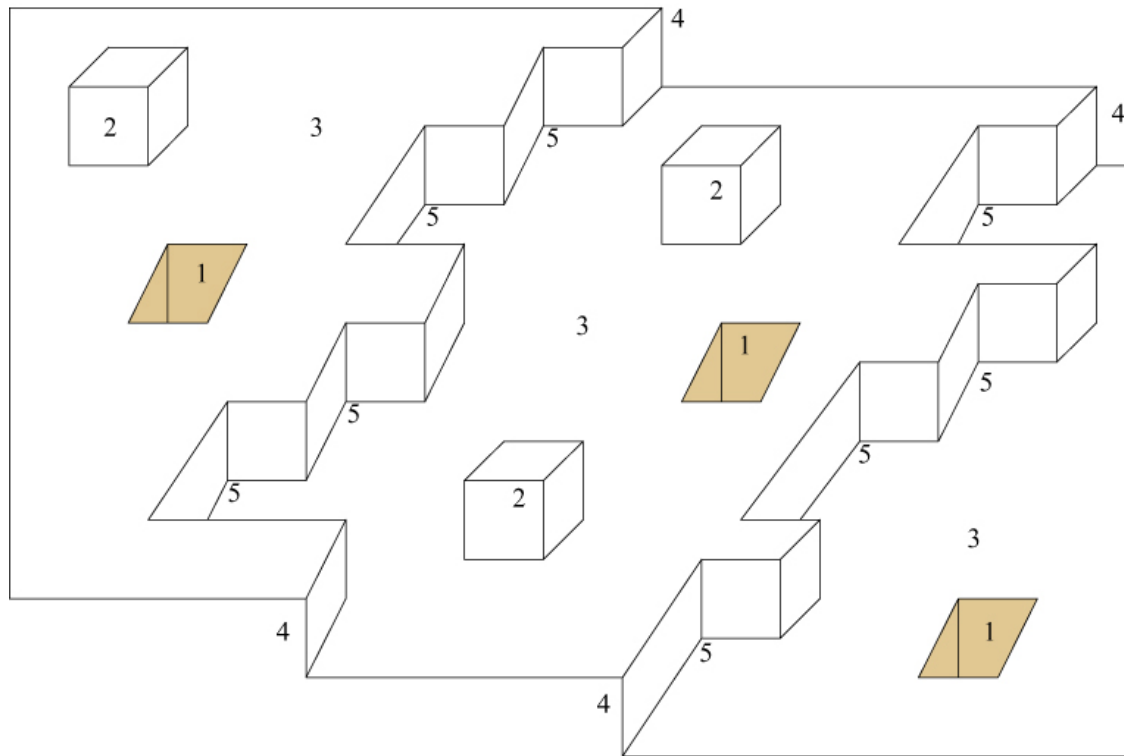


Οργάνωση της στερεάς ύλης

- Η διεύθυνση των ατόμων δεν είναι ίδια για όλες τις επιφάνειες ενός νανο-κρυστάλλου



Οργάνωση της στερεάς ύλης

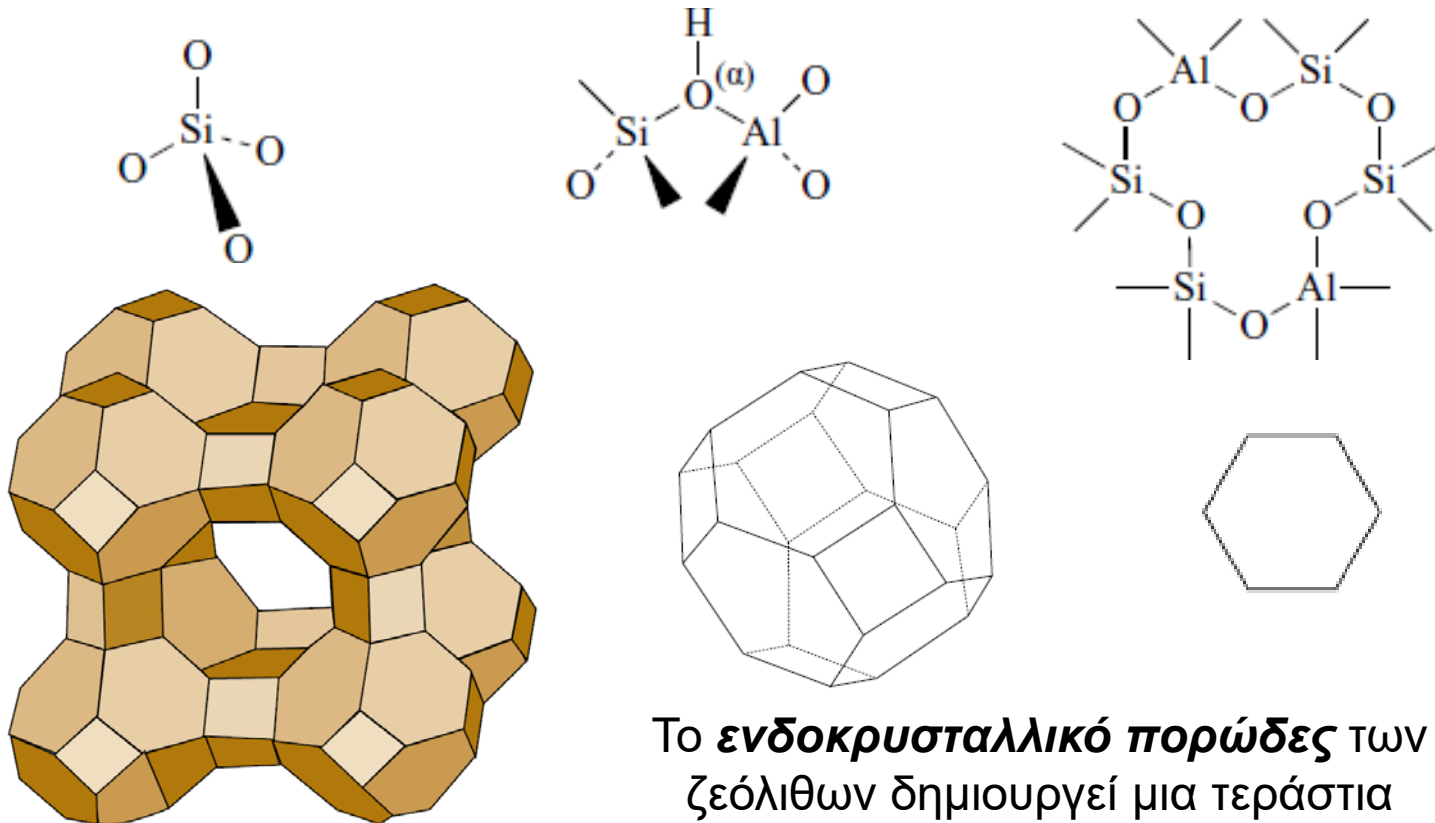


(1) κενές θέσεις, (2) προσροφημένα άτομα,
(3) τaráτσες, (4) βήματα και (5) εσοχές



Σχηματισμός πορωδών νανοκρυστάλλων-Ζεόλιθοι

- Οι δομικοί λίθοι οργανώνονται στο χώρο κατά τρόπο ανοιχτό που αφήνει ομοιόμορφους και ισομεγέθεις πόρους στην περιοχή 0,5-1,5 nm.



Το **ενδοκρυσταλλικό πορώδες** των ζεόλιθων δημιουργεί μια τεράστια εσωτερική επιφάνεια που φθάνει ή ξεπερνάει τα 1000 m²/g.

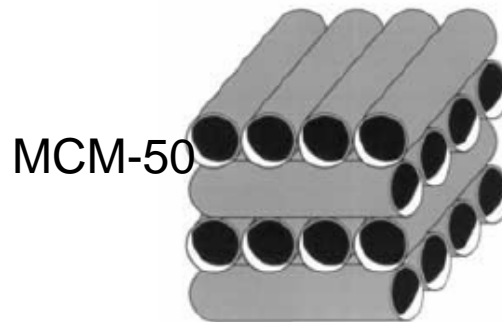
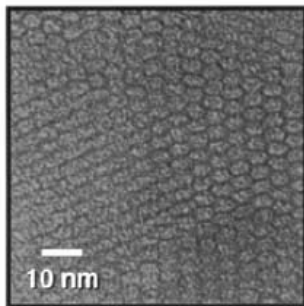


Σχηματισμός μέσο-πορωδών άμορφων σωματιδίων

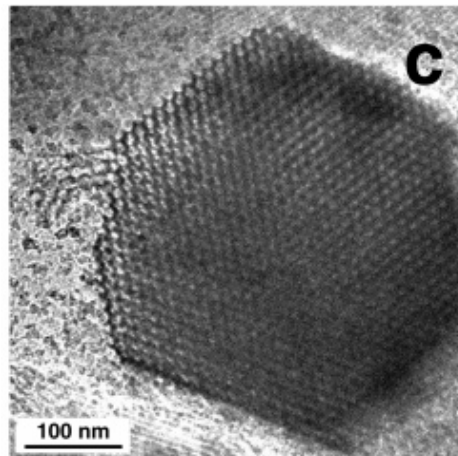
- Στις αρχές της δεκαετίας του 90 άρχισε η ανάπτυξη μιας νέας κατηγορίας άμορφων υλικών με ομοιόμορφους και ισομεγέθεις πόρους στην περιοχή των 2-10nm που αργότερα έφθασε έως τα 50nm.



MCM-41

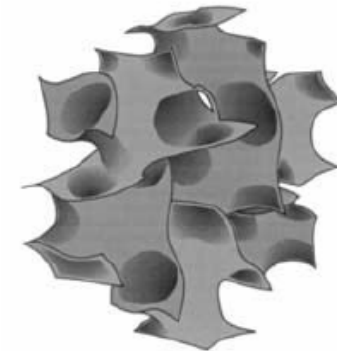


MCM-50



SBA-15

MCM-48

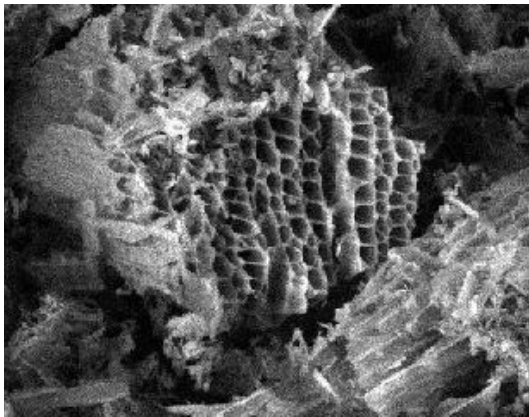


Ταυτοποίηση
πορώδους δομής
με XRD χαμηλών
γωνιών



Νανοδομημένος άνθρακας

- Οι **νανοϊνες γραφίτη** συγκροτούν μια αρκετά ενδιαφέρουσα κατηγορία.
- Έχουν διαμέτρους από 0.5 έως 500nm και αρκετά μεγαλύτερα μήκη, από λίγα μm έως λίγα mm.
- Έχουν μεγάλες ειδικές επιφάνειες ($300-700 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$).
- Ένα πολύ σημαντικό υλικό είναι ο **ενεργός άνθρακας**.
- Σε ένα πρώτο επίπεδο οργάνωσης του **ενεργού άνθρακα** αναπτύσσονται πολύ λεπτοί πόροι με διάμετρο $<1 \text{ nm}$.

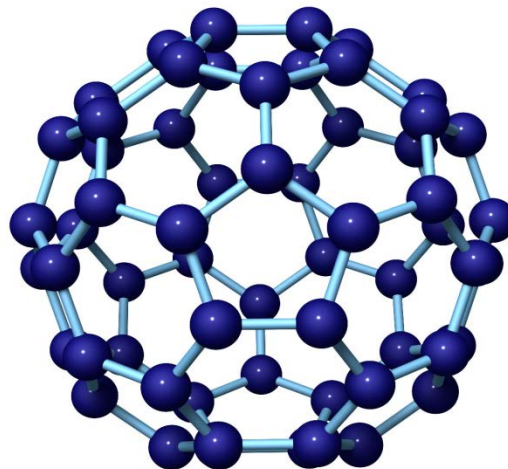


Σε αυτούς τους πόρους οφείλεται και η μεγάλη ειδική του επιφάνεια που φτάνει τα $3000 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$



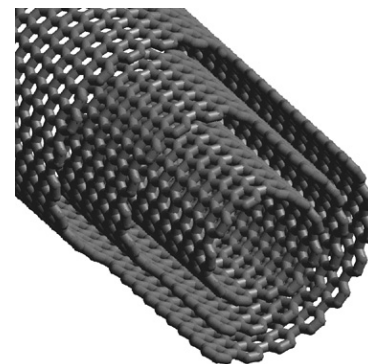
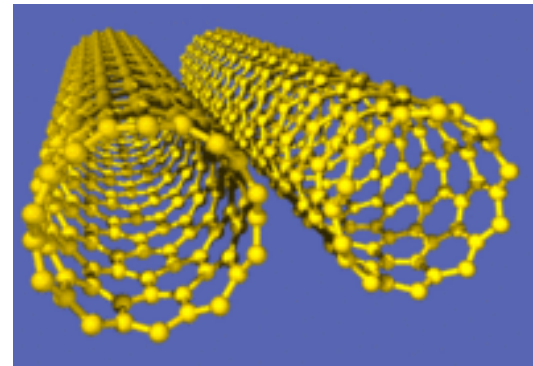
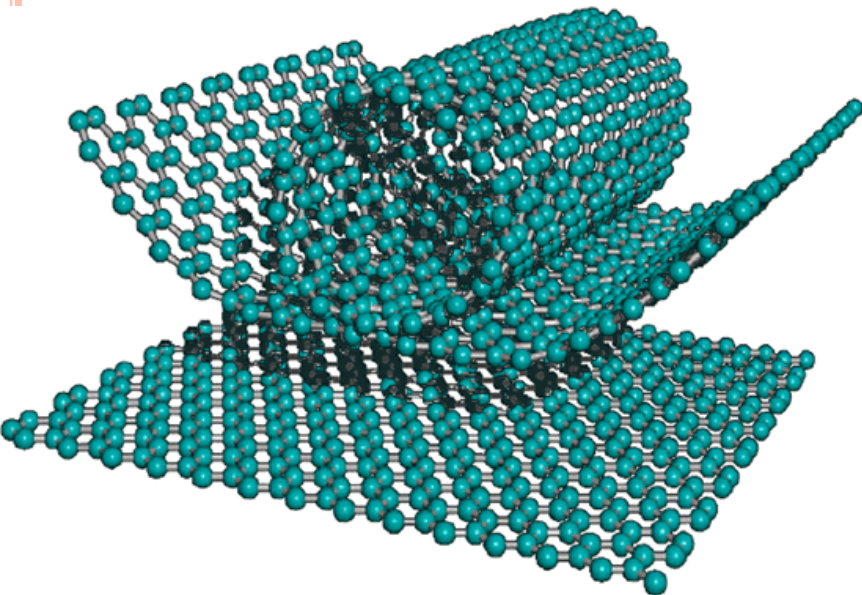
Νανοδομημένος άνθρακας

- Τα **φουλερένια** είναι ανθρακικές δομές με σφαιρικό σχήμα.
- Το πιο γνωστό φουλερένιο αποτελείται από 60 άτομα άνθρακα (C_{60}).
- Η διάμετρος του C_{60} είναι 1,38nm.
- Υπάρχουν φουλερένια με 70, 76 και 84 άτομα άνθρακα.
- Είναι σταθερά μόρια. Απαιτούνται θερμοκρασίες πάνω από 1000 °C για να διασπαστούν οι δεσμοί ανάμεσα στα άτομα άνθρακα.

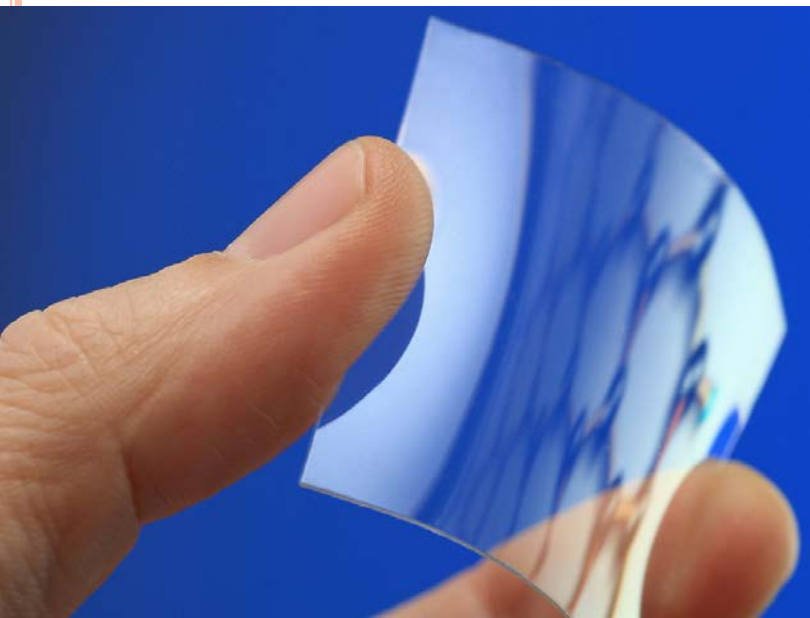
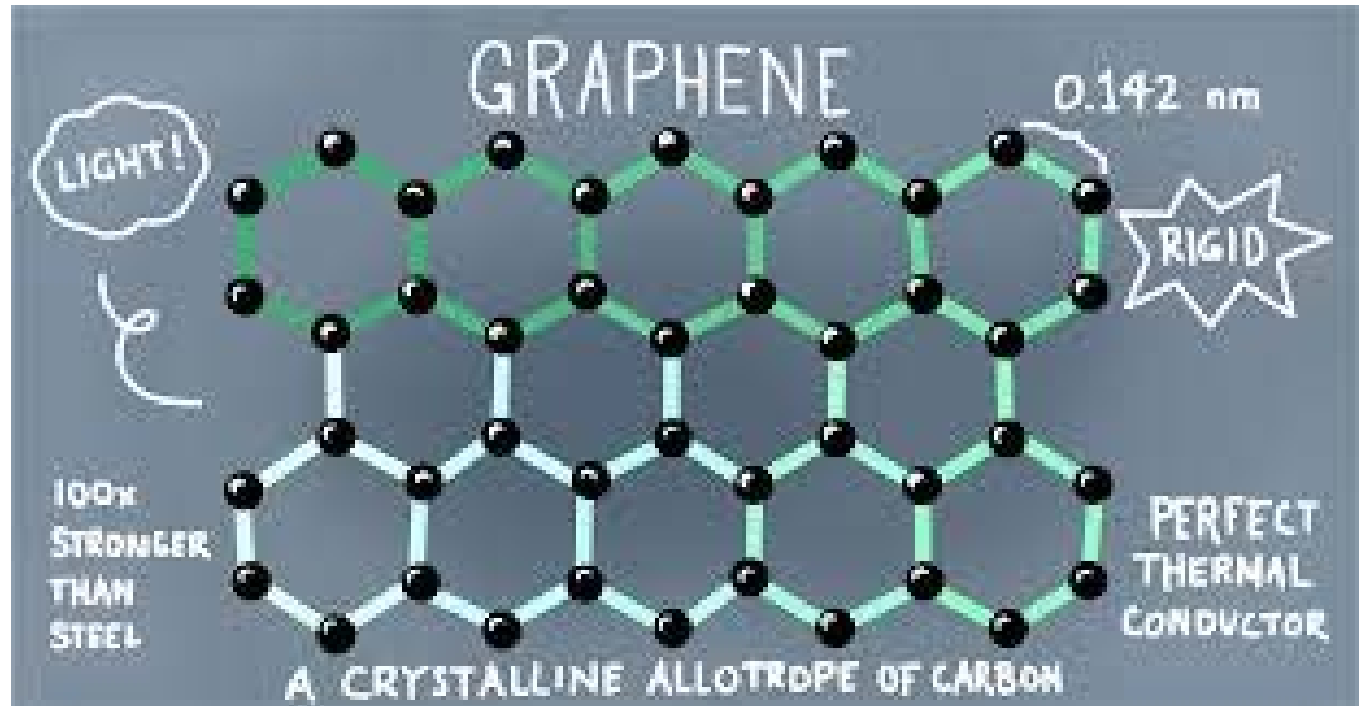


Νανοδομημένος άνθρακας

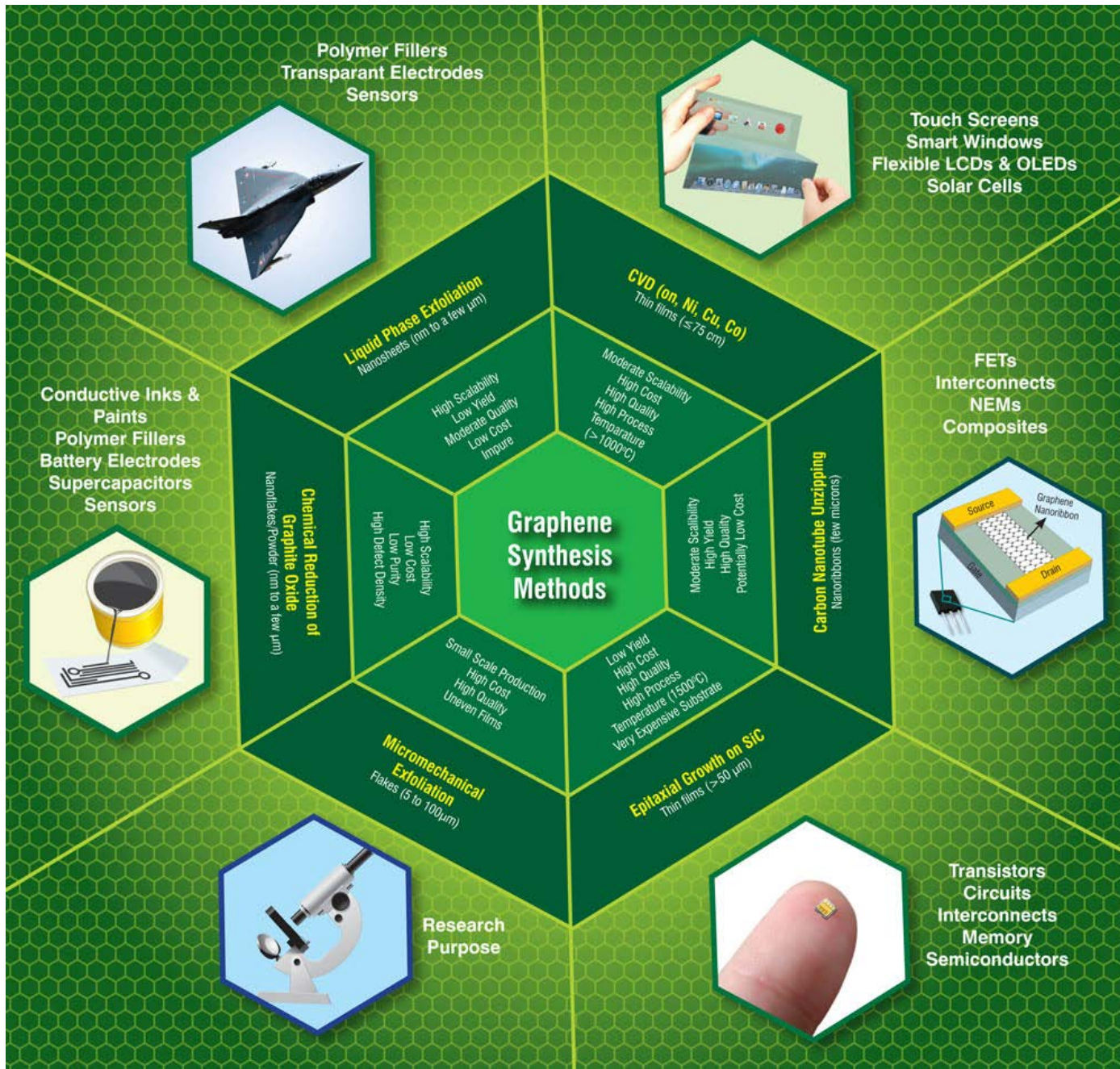
- Οι **νανοσωλήνες άνθρακα** είναι σωλήνες μοριακής κλίμακας που μοιάζουν να προέρχονται από αναδιπλωμένα φύλλα γραφίτη.
- Οι **νανοσωλήνες άνθρακα** μπορεί να είναι **μονοφλοιϊκοί**, δηλαδή ξεχωριστοί απλοί σωλήνες, με διάμετρο 1-2nm ή **πολυφλοιϊκοί**, δηλαδή ένας σωλήνας περιβαλλόμενος από έναν ή περισσότερους, με διάμετρο από 3-30nm



Νανοδομημένος άνθρακας: Γραφένιο



Νανοδομημένος άνθρακας: Γραφένιο



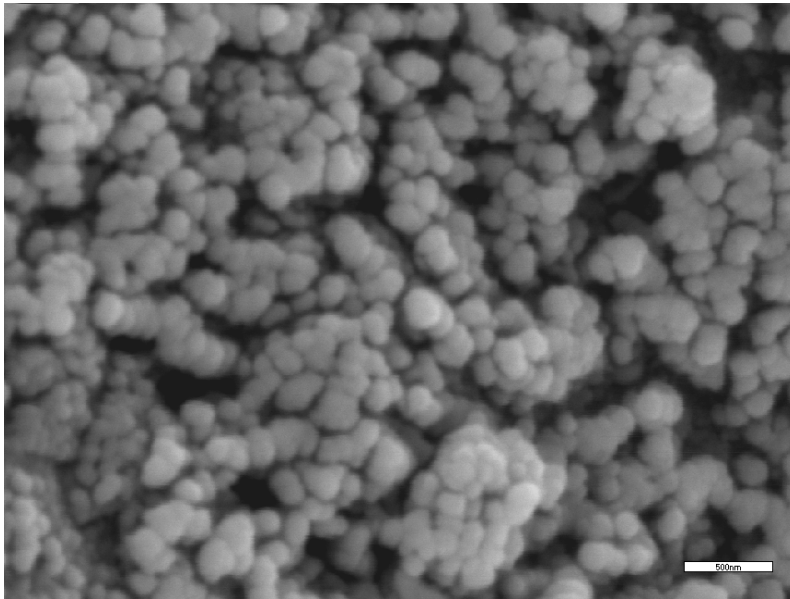
Ανακεφαλαίωση

Σε ένα πρώτο επίπεδο οργάνωσης τα στερεά υλικά, επομένως και τα υλικά από τα οποία αποτελούνται οι καταλύτες, οργανώνονται σε:

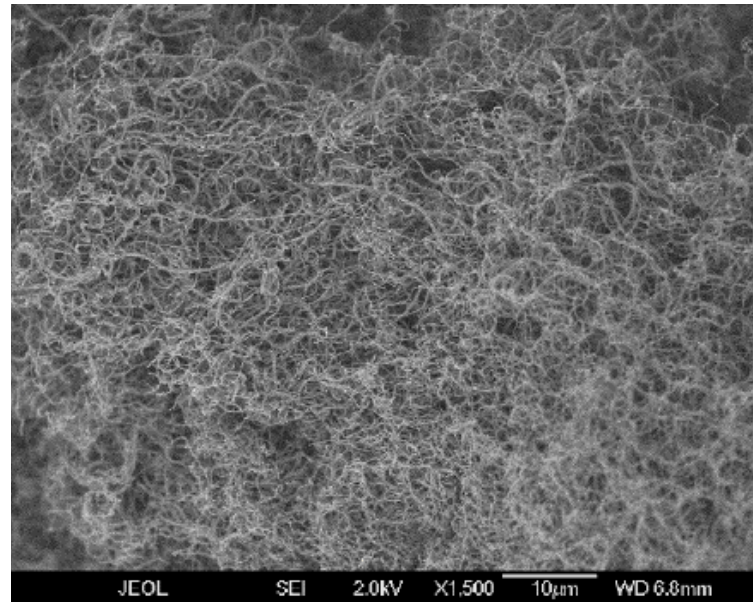
1. μάλλον συμπαγείς νανοκρυστάλλους,
2. σε άμορφα μάλλον συμπαγή νανοσωματίδια,
3. σε πορώδεις νανοκρυστάλλους με ομοιόμορφους και ισομεγέθεις πόρους της τάξεως 0,5 έως 1,5nm,
4. σε άμορφα μεσοπορώδη υλικά με ομοιόμορφους και ισομεγέθεις πόρους σε κανονική ή ακανόνιστη τακτοποίηση της τάξεως των 2-50nm
5. και πολύ λεπτές ινώδεις ή επίπεδες δομές, π.χ. νανοϊνές, νανοσωλήνες άνθρακα και φύλλα γραφενίου.

2^ο Επίπεδο Οργάνωσης-Συσσωμάτωση

- Τα νανοσωματίδια συσσωματώνονται, σχηματίζοντας **συσσωματώματα** με μέγεθος από μερικές δεκάδες nm έως λίγες δεκάδες μm και αφήνοντας ανάμεσα τους μικρούς πόρους της τάξεως των 1-50 nm.



Συσσωματώματα μεγέθους 100-200 nm ενός καταλύτη Ni/Al₂O₃ που έχουν κολλήσει μεταξύ τους.

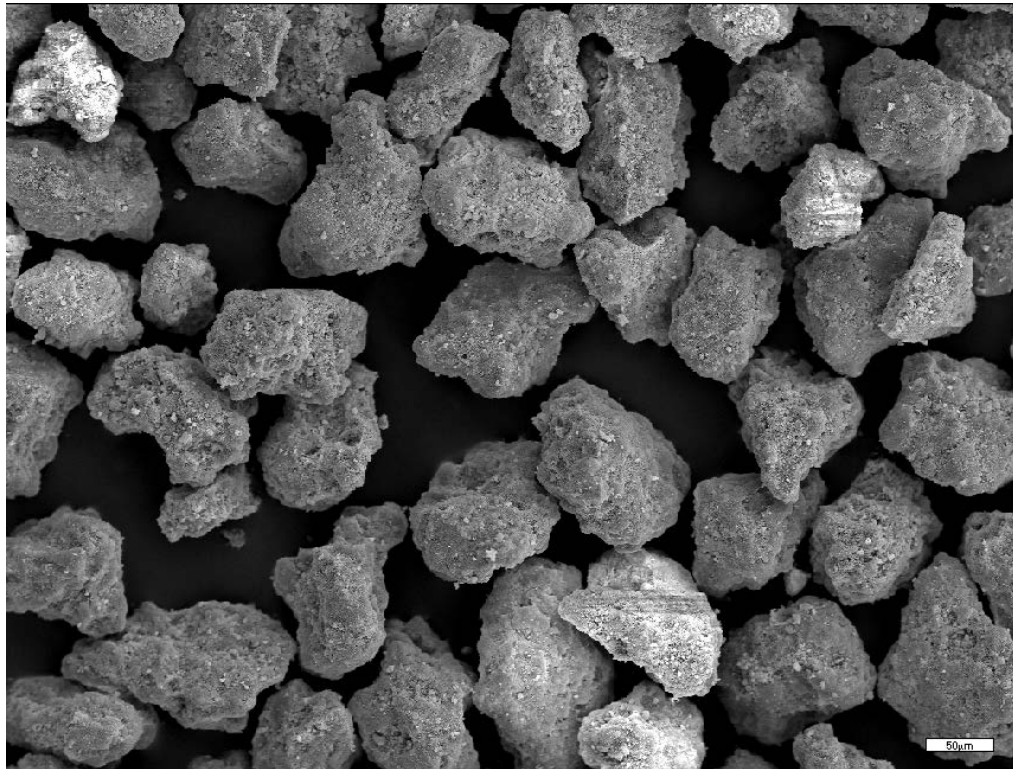


Συσσωμάτωμα νανοσωλήνων άνθρακα



3^ο Επίπεδο Οργάνωσης-Μικροτεμαχίδια

Αυτό το επίπεδο οργάνωσης αντιστοιχεί σε μεγαλύτερα σωματίδια σκόνης (μικροτεμαχίδια).



Φωτογραφία από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης μικροτεμαχιδίων σκόνης μεγέθους 100-300 μm ενός καταλύτη Ni/Al₂O₃.



Οι στερεοί καταλύτες



Οι στερεοί καταλύτες μπορεί να είναι **μονόλιθοι** που μοιάζουν με τούβλα.

Οι στερεοί καταλύτες μπορεί να είναι **τεμαχίδια** που μοιάζουν με βόλους, χάρτια, συμπαγείς ή τρύπιους κυλίνδρους ή ακόμη και **μικροτεμαχίδια σκόνης**.



Βιομηχανικές απαιτήσεις:

υψηλή

- ειδική επιφάνεια,
- δραστική επιφάνεια,
- μηχανική και θερμική αντοχή



Δομή των Στερεών Καταλυτών

Στηριγμένος
Καταλύτης

Δραστική φάση

Ενισχυτής

Μη Στηριγμένος
Καταλύτης

Φορέας (τροποποιητές, σταθεροποιητές)

Υπόστρωμα (Κεραμικό ή μεταλλικό)

