Building Participatory Urban Learning Community Hubs through Research and Activation – PULCHRA

Α΄ Αρσάκειο Λύκειο Ψυχικού

Δημήτριος Δουλάμης

Α΄ Αρσάκειο Λύκειο Ψυχικού

Εργασία στο πλαίσιο του Προγράμματος PULCHRA -Science in the City

Υλικά Νανοτεχνολογίας για τις πόλεις του μέλλοντος
Δημήτριος Δουλάμης

Υπεύθυνη Καθηγήτρια: Ευδοκία Πατσιλινάκου

2022

Πίνακας Περιεχομένων

1 Εισαγωγή - Ορισμός 4
2 Ιστορική Αναδρομή 6
3 Που στηρίζεται η νανοτεχνολογία 9
4 Τα Νανοϋλικά και η Νανοτεχνολογία 9
4.1 Φυσικά νανοϋλικά 9
4.2 Συνθετικά νανοϋλικά 10
5 Εφαρμογές των νανοϋλικών 12
6 ΕΛΕΓΧΟΣ / ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ 13
6.1 Η μελέτη των νανοϋλικών 13
6.2 Η Παρασκευή των νανοϋλικών 14
6.3 Ιδιότητες Υλικών Νανοτεχνολογίας 14
7 Εφαρμογές Υλικών Νανοτεχνολογίας για τις Πόλεις Του Μέλλοντος 15
7.1 Καθαρισμός ρύπων νερού 15
7.1.1 Μετατροπή θαλασσινού νερού σε πόσιμο 15
7.2 Κατασκευή «έξυπνων κτηρίων» - ο ρόλος της νανοτεχνολογίας στην αρχιτεκτονική 17
7.2.1 Το "Υφαντό» Κτίριο – Ουρανοξύστης Άνθρακα 17
7.2.2 «ΝανοΟικία» - the NanoHouseTM Initiative 18
7.2.3 Το έργο Nano Vent Skin 18
7.3 Ο ρόλος της νανοτεχνολογίας στην διαχείριση ενέργειας 19
7.4 Η Νανοτεχνολογία στα Φωτοβολταϊκά 19
7.5 Κυκλώματα που αποθηκεύουν ενέργεια 20
7.6 Η Νανοτεχνολογία και οι έξυπνες πόλεις 20
7.7 Κίνδυνοι από τη Χρήση Υλικών Νανοτεχνολογίας 22
8 Συμπεράσματα 22
9 Ευρετήριο 22
10 Βιβλιογραφία 24

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1: Η νανοτεχνολογία και οι διαστάσεις [3]. 4
Εικόνα 2: Λογότυπο της IBM με 35 άτομα Xe τοποθετημένα σε μία επιφάνεια Ni [4]. Είναι σταθμός για την εξέλιξη της νανοτεχνολογίας (έτος 1989). 5
Εικόνα 3: Μορφές υλικών Νανοτεχνολογίας ως προς την διάσταση τους στο χώρο. 5
Εικόνα 4: Αύξηση της συνολικής επιφάνειας μιας συγκεκριμένης ποσότητας υλικού που καταλαμβάνει ορισμένο όγκο μετά από κατάτμηση αυτού. 6
Εικόνα 5: Απεικονίσεις με βάση το μικροσκόπιο σάρωσης σήραγγας. 7
Εικόνα 6: Το καψίδιο ενός ιού, το φτερό μιας πεταλούδας ή ενός παγωνιού αποτελούν παραδείγματα φυσικών νανουλικών (από αριστερά προς τα δεξιά) 10
Εικόνα 7: Η κλίμακα των φυσικών νανοϋλικώ, μόριο DNA, RNA, βακτήρια. 10
Εικόνα 8: Το γραφένιο που ανακαλύφθηκε από τους Andre Geim και τον Konstantin Novoselov παίζει σήμαντικό ρόλο στην νανοτεχνολογία. 10
Εικόνα 9: Οι Νανοσωλήνες του άνθρακα. Ανακαλυφθήκαν το 1991 από τον Sumio Iijima.....11
Εικόνα 10: Η δομή του του άνθρακα φουλλερένιο με διαφορετικό αριθμό ατόμων. Το σταθερότερο είναι αυτό με τα 60 άτομα άνθρακα. 12
Εικόνα 11: Η αρχή λειτουργίας των μικροσκοπίων STM και TEM που χρησιμοποιούνται για την μελέτη των υλικών της νανοτεχνολογίας. (α) TEM, β) SEM 13
Εικόνα 12: Εικόνα από το μικροσκόπιο σάρωσης σήραγγας που απεικονίζει σε ατομικό επίπεδο φύλλα χρυσού. 14
Εικόνα 13: Σύστημα καθαρισμού ρύπων νερού με χρήση φίλτρων νανοτεχνολογίας. 16
Εικόνα 14: Σύστημα μετατροπής του θαλασσινού νερού σε πόσιμο. Οι μεμβράνες του νανοϋλικού γραφενίου συγκρατούν τα μόρια του αλατιού ενώ επιτρέπουν την διέλευση του νερού μέσα από αυτό. 17
Εικόνα 15: Μακέτα του ουρανοξύστη από νανοϋλικά άνθρακα 40 ορόφων. 17
Εικόνα 16: Μακέτα του σπιτιού της νονακατοικίας με υλικά φιλικά προς το περιβάλλον 18
Εικόνα 17: Οι νανοτουρμίνες του κτιρίου Nano Vent Skin που σχεδιάστηκε από τον Μεξικανό αρχιτέκτονα Agustin Otegu. 18
Εικόνα 18: (α) Εφαρμογή της τεχνολογίας των νανο-τουρμπινών σε ένα κτίριο. (β) Η Διαδικασία αυτό-ρύθμισης των νανο-τουρμινών. Όταν κάποια νανοτουρμίνα χαλάσει αποστέλλονται σήματα σε ένα σύστημα κεντρικής διαχείρισης. Μέσω νανοινών αποστέλλονται μηχανισμοί αυτοδιόρθωσης. 19
Εικόνα 19: Πολύ λεπτή κυψέλη φύλλου πυριτίου σε κλίμακα νανόμετρου για την αύξηση της απόδοσης φωτοβαλταικών συστημάτων και την ταυτόχρονη μείωση του κόστους. 20
Εικόνα 20: Ο καθηγητής Thibado και το κύκλωμα γραφενίου που μετατρέπει την θερμική κίνηση σε ενέργεια. 20
Εικόνα 21: Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για τις έξυπνες πόλεις [30]. 21
Εικόνα 22: Πρωτότυπο αισθητήρα νανοτεχνολογίας για χρήση σε εφαρμογές έξυπνων πόλων [32]. 21

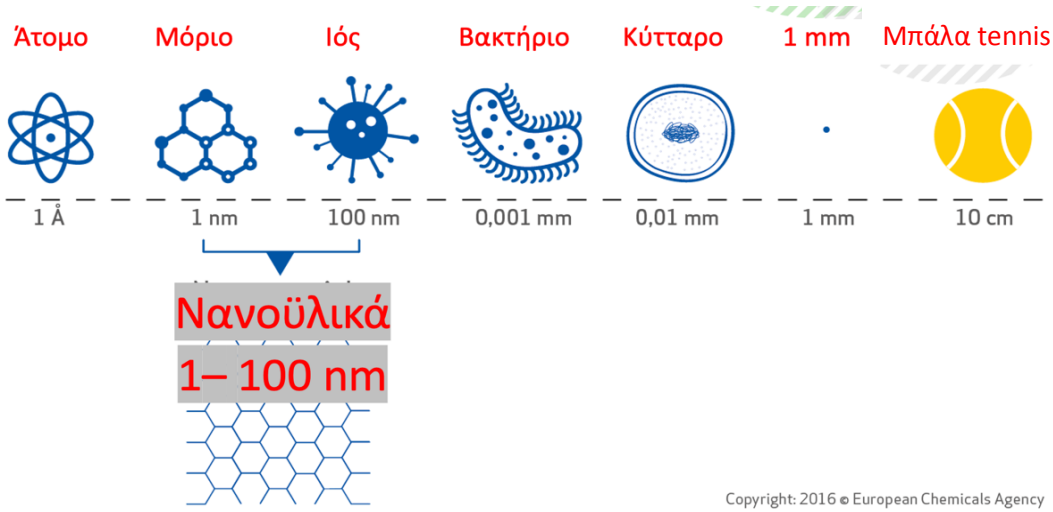
Περίληψη

Παρουσιάζονται οι δυνατότητες της νανοτεχνολογίας για τις σύγχρονες πόλεις και για τις πόλεις του αύριο. Στην αρχή δίνονται οι ορισμοί της νανοτεχνολογίας και παρουσιάζεται ιστορική αναδρομή με τους βασικούς σταθμούς της πορείας της προς το σήμερα. Στη συνέχεια γίνεται παρουσίαση των νανοϋλικών που χρησιμοποιούνται. Στο τέλος αναφέρονται παραδείγματα εφαρμογής της νανοτεχνολογίας για τις σύγχρονες πόλεις: εφαρμογές στην αρχιτεκτονική, καλύτερη διαχείριση της ενέργειας, νέοι αισθητήρες, καθαρισμός ρύπων κ.ά.

1 Εισαγωγή - Ορισμός

Νανοτεχνολογία είναι η διαδικασία σχεδιασμού, παραγωγής και αξιοποίησης σωματιδίων των οποίων οι δομικές μονάδες έχουν διάμετρο από 1 nm έως 100 nm. Το **νανόμετρο** (**nm**) είναι μονάδα μέτρησης μήκους. Το 1 νανόμετρο ισούται με το ένα δισεκατομμυριοστό (1/1.000.000.000) του ενός μέτρου (1nm = 0,000000001 m = 1×10^{-9} m). Ένα νανόμετρο (1 nm) αντιστοιχεί στο μήκος που έχει μία διάταξη τεσσάρων ατόμων υδρογόνου ή τεσσάρων ατόμων πυριτίου, σε σειρά [1].

Γενικά μπορούμε να πούμε ότι η νανοεπιστήμη είναι η μελέτη ατόμων, μορίων και δομών με μέγεθος από 1 nm έως 100 nm (nm) [2]. Πρέπει να σημειώσουμε ότι ένα νανόμετρο είναι περίπου 100.000 φορές μικρότερο από τη διάμετρο μιας ανθρώπινης τρίχας. Για να καταλάβουμε τις κλίμακες παρουσιάζουμε την κάτωθι εικόνα από την Ευρωπαϊκή Ένωση Χημικών (European Chemical Agency, ECA) [3] (Εικόνα 1)



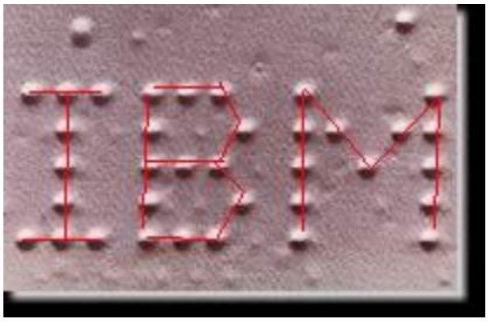
Εικόνα 1: Η νανοτεχνολογία και οι διαστάσεις [3].

Η επιστήμη της νανοτεχνολογίας περιλαμβάνει τη συνεργασία πολλών επιστημών, όπως είναι η Φυσική, η Χημεία, η Πληροφορική και η Βιολογία.

Τα κοινά στοιχεία σύγκλισης είναι τα εξής:

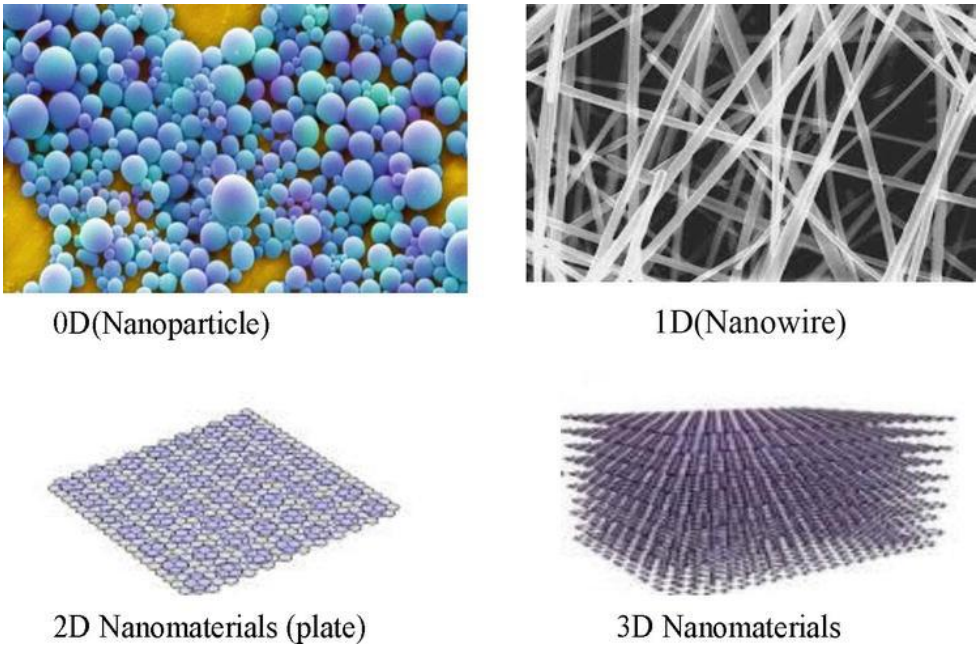
1. Το μέγεθος των δομών (μεταξύ ατόμων και μορίων) να είναι περίπου 100 nm.
2. Να υπάρχει ικανότητα χειρισμού των δομών σε αυτήν την κλίμακα.
3. Να γίνεται εκμετάλλευση των ιδιοτήτων της νάνο κλίμακας στις μικρο-, μέσο- και μακρο-κλίμακες.

Στην Εικόνα 2 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα εφαρμογής της νανοτεχνολογίας: 35 άτομα του ευγενούς αερίου Ξένου (Xe) έχουν τοποθετηθεί σε επιφάνεια Νικελίου, προκειμένου να σχηματιστεί το λογότυπο της εταιρείας IBM.



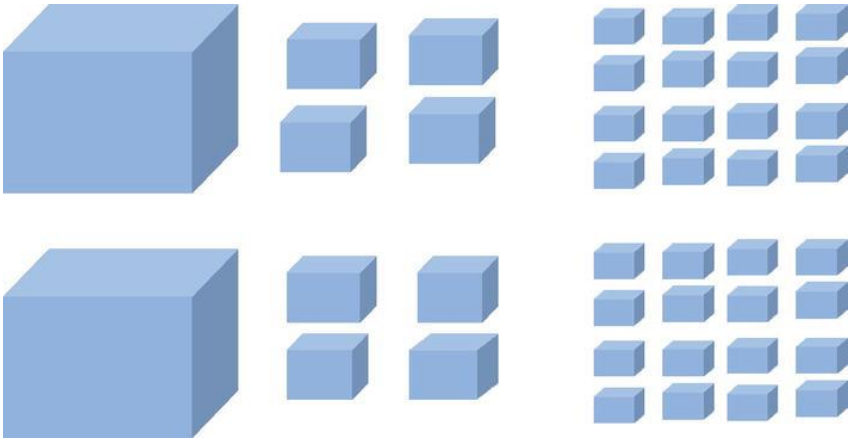
***Εικόνα 2**: Λογότυπο της IBM με 35 άτομα Xe τοποθετημένα σε μία επιφάνεια Ni* [4]. Είναι σταθμός για την εξέλιξη της νανοτεχνολογίας (έτος 1989).

Τα νανοσωματίδια μπορεί να έχουν την μορφή ινιδίου, σωλήνα, ράβδου, μεμβράνης ή ακανόνιστο σχήμα. Επιπλέον μπορούν να έχουν διαφορετικές διατάξεις στον χώρο που καταλαμβάνουν, π.χ., απλά νανοσωματίδια, μονοδιάστατες, δισδιάστατες ή και τρισδιάστατες δομές (Εικόνα 3).



***Εικόνα 3**: Μορφές υλικών Νανοτεχνολογίας* ως προς τη διάστασή τους στον χώρο.

Η νανοτεχνολογία αξιοποιεί την εκθετική αύξηση της ενεργής επιφάνειας ενός υλικού συγκεκριμένου όγκου, όταν αυτό κατατμηθεί σε πολλά μικρότερα τεμάχια (Εικόνα 4).



***Εικόνα 4**:* Αύξηση της συνολικής επιφάνειας μιας συγκεκριμένης ποσότητας υλικού που καταλαμβάνει ορισμένο όγκο μετά από κατάτμηση αυτού.

Επιπρόσθετα, η αξία των νανοϋλικών οφείλεται στο γεγονός ότι σε αυτές τις ελάχιστες διαστάσεις, οι οπτικές, ηλεκτρικές και μαγνητικές ιδιότητες ενός συγκεκριμένου υλικού διαφέρουν ως προς τις αντίστοιχες ιδιότητες που εμφανίζει το ίδιο υλικό στις συνήθεις, μεγαλύτερες διαστάσεις [5], [6]. Οι ιδιότητες αυτές είναι:

- μηχανικές (ελαστική παραμόρφωση/πλαστική παραμόρφωση)
- ηλεκτρικές (ηλεκτρική αγωγιμότητα)
- οπτικές (απορρόφηση, αντανάκλαση και διάδοση του φωτός)

2 Ιστορική Αναδρομή

Οι άνθρωποι χρησιμοποίησαν πρώτη φορά νανοϋλικά 4500 χρόνια προ Χριστού. Οι αρχαίοι Αιγύπτιοι παρασκεύασαν συνθετικές χρωστικές για βαφές μαλλιών χρησιμοποιώντας θειούχο μόλυβδο. Επιπρόσθετα, παρασκευάστηκαν διακοσμητικά υλικά, όπως το αιγυπτιακό κυανούν, αναμειγνύοντας γυαλί και χαλαζία. Στη συνέχεια και άλλοι λαοί συνέθεσαν ουσίες κυρίως για διακοσμητική χρήση, όπως οι Κέλτες, οι Ρωμαίοι και οι λαοί της Μεσοποταμίας.

Βέβαια, εάν αναρωτηθούμε πότε ξεκίνησε η νανοτεχνολογία η απάντηση μας θα πρέπει να αναζητηθεί στους θεμελιωτές της έννοιας του ατόμου. Γνωρίζουμε ότι η σύλληψη της κατάτμησης της ύλης μέχρι το μικρότερο βασικό συστατικό της, που σήμερα το αποκαλούμε άτομο, ανήκει στον Δημόκριτο το 440 π.Χ. [7]. Η σύγχρονη θεωρία σχετικά με την ύπαρξη του ατόμου ως δομικού υλικού ύλης, οφείλεται στον John Dalton. Σύμφωνα με την ατομική του θεωρία, που αποτελεί θεμέλιο λίθο στην ανάπτυξη της χημείας, οι δομικές μονάδες της ύλης είναι τα άτομα και τα μόρια (συγκροτήματα ατόμων) [8]. Επιπλέον με την έρευνα του Ιταλού χημικού Amedeo Avogadro κατανοήθηκε η έννοια των μορίων με την συνένωση ατόμων. Άλλα χαρακτηριστικά μοντέλα για την κατανόηση της δομής της ύλης, είναι: α) το μοντέλο

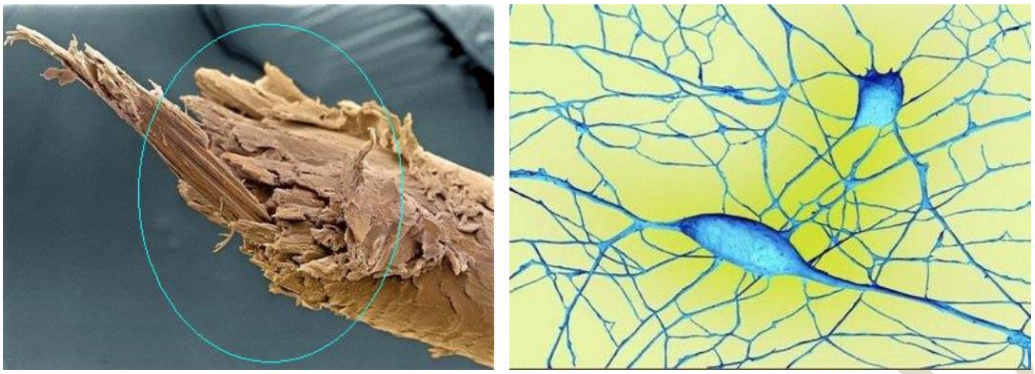
του Ernest Rutherford (1911), ο οποίος υποστήριξε ότι η μάζα του ατόμου είναι συγκεντρωμένη σ' ένα πολύ μικρό χώρο που λέγεται πυρήνας, β) το μοντέλο του Niels Bohr (1913), ο οποίος εισήγαγε την έννοια της ενεργειακής στοιβάδας, και γ) το μοντέλο του Arnold Johannes Wilhelm Sommerfeld (1916), ο οποίος εισήγαγε την έννοια της υποστιβάδας [9].

Το 1857 ο Michael Faraday ανέφερε τη σύνθεση ενός κολλοειδούς διαλύματος λευκόχρυσου, διαπιστώνοντας ότι τα οπτικά χαρακτηριστικά του διέφεραν από το αντίστοιχο υλικό στα συνήθη φυσικά μεγέθη [10]. Στο ίδιο πλαίσιο, το 1959 ο βραβευμένος με Νόμπελ φυσικός Richard Feynman ήταν ο πρώτος που αναφέρθηκε στις εφαρμογές της νανοτεχνολογίας στο Ινστιτούτο Τεχνολογίας Caltech, στην πολιτεία της Καλιφόρνιας [11].

Ο όρος «Νανοτεχνολογία» αποδίδεται στον Norio Taniguchi, που υπέβαλε το 1974 τη διατριβή του με τίτλο «Σχετικά με τη βασική έννοια της Νανοτεχνολογίας», η οποία αναφερόταν σε κατασκευή υλικών στη νανοκλίμακα [12]. Λίγο αργότερα, το 1989, η πρακτική εφαρμογή ξεκίνησε με την IBM να τοποθετεί 35 άτομα του στοιχείου Xe για την απεικόνιση του λογότυπου της εταιρείας (Εικόνα 2).

Στη συνέχεια τα πρώτα κυκλώματα σε μορφή μορίων κατασκευάστηκαν το 1999 από την εταιρεία Hewlett Packard [13].

Το μικροσκόπιο σάρωσης σήραγγας (Scanning Tunneling Microscope, STM) είναι όργανο για την απεικόνιση επιφανειών σε ατομικό επίπεδο. Για την ανάπτυξή του (1981), το 1986 απονεμήθηκε το βραβείο Νόμπελ Φυσικής στους Gerd Binnig και Heinrich Rohrer [14]. Το STM θεωρείται ότι άνοιξε τις πύλες του νανόκοσμου [15] (Εικόνα 5).



(α) Σπασμένη άκρη ανθρώπινης τρίχας. (β) Νευρώνες-κύτταρα Purkinje εγκεφάλου.

Εικόνα 5: *Απεικονίσεις με βάση το μικροσκόπιο σάρωσης σήραγγας (STM).*

Οι κυριότεροι χρονολογικοί σταθμοί στην ιστορία της νανοτεχνολογίας είναι:

- 1857: Ο Michael Faraday δημοσίευσε μια εργασία (Philosophical Transactions of Royal Society) προσπαθώντας να εξηγήσει πώς τα σωματίδια μετάλλου επηρεάζουν το χρώμα των βαμμένων γυάλινων παραθύρων σε εκκλησίες και καθεδρικούς ναούς.
- 1861: Ο Tomas Graham επινόησε τον όρο κολλοειδές για να περιγράψει ένα εναιώρημα ή αιώρημα, δηλαδή ανομοιογενές μίγμα που περιέχει αιωρούμενα σωματίδια με διάμετρο από 1 nm έως 100 nm.
- 1970's: Ανακαλύπτονται τα κβαντικά πηγάδια (Quantum wells) στο Bell Labs.
- 1980: Ανακαλύπτονται: το Si σε νανοκλίμακα, το φουλερένιο (C60), η ηλεκτρονική μικροσκοπία σήραγγας (tunneling microscopy) και οι φωτονικοί κρύσταλλοι (photonic crystals).
- 1981: Εφευρίσκεται το μικροσκόπιο ανίχνευσης μέσω σήραγγας (STM) που μας επιτρέπει να δούμε πραγματικά μεμονωμένα μόρια, μέσω της δημιουργίας εικόνων των επιφανειών με ατομική ανάλυση
- 1989: Χρησιμοποιώντας την εξαιρετικά λεπτή ακίδα ενός μικροσκοπίου σήραγγος, επιστήμονες στην IBM της Ζυρίχης δείχνουν ότι μεμονωμένα μόρια μπορούν να μετακινηθούν και να τοποθετηθούν ακριβώς σε ορισμένη θέση. Το πρώτο πείραμα γίνεται με 35 άτομα Xe, μεγέθους 3 nm.
- 1991: Ανακαλύπτονται οι νανοσωλήνες άνθρακα.
- 1999: Επιστήμονες δημιουργούν διακόπτη υπολογιστών μοριακής κλίμακας.
- 2001: Ερευνητές στην IBM και στο πανεπιστήμιο Delft χρησιμοποιούν νανοσωλήνες άνθρακα για να αναπτύξουν κυκλώματα μεγέθους νανομέτρου.
- 2010: Το βραβείο Nobel αποδίδεται στον Andre Geim και Kostya Novoselov για την «επαναστατική δουλειά τους»: την ανακάλυψη του πιο λεπτού υλικού στον κόσμο, του γραφένιου (μια πολύ λεπτή μορφή άνθρακα πάχους μόλις 1 ατόμου).

3 Πού στηρίζεται η νανοτεχνολογία

Οι συμβατικές καταστάσεις της ύλης, είναι τρεις: η στερεή, η υγρή και η αέρια. Στην πραγματικότητα, όμως, υπάρχει και μία άλλη κατάσταση η κατάσταση της επιφάνειας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι ιδιότητες των υλικών είναι σημαντικά διαφορετικές στην επιφάνειά τους [1]. Όταν τα υλικά είναι στην κλίμακα των nm (νανοϋλικά) παρατηρείται μεταβολή στις ιδιότητές τους. Για παράδειγμα, τα νανοκρυσταλλικά μέταλλα γίνονται πιο ανθεκτικά και σκληρά.

Οι ιδιότητες των υλικών είναι σημαντικά διαφορετικές στην επιφάνεια τους. Όταν τα υλικά βρίσκονται σε μικρές διαστάσεις οι ιδιότητες της επιφάνειας του υλικού παίζουν σημαντικό ρόλο.

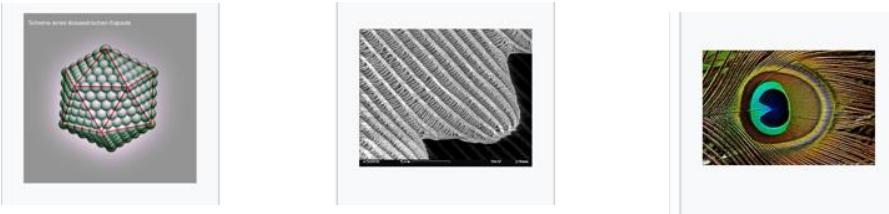
4 Τα Νανοϋλικά και η Νανοτεχνολογία

Νανοϋλικά (nanomaterials) είναι εκείνα τα υλικά, των οποίων μια θεμελιώδης (δομική) μονάδα έχει μέγεθος (σε τουλάχιστον μια διάσταση) μεταξύ 1nm και 100nm. Η Χρήση των νανοϋλικών παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στη νανοτεχνολογία [16]. Τα υλικά με δομή στη νανοκλίμακα έχουν συχνά μοναδικές οπτικές, ηλεκτρονικές ή μηχανικές ιδιότητες.

Τα υλικά νανοτεχνολογίας μπορούν να διακριθούν στις εξής κατηγορίες:

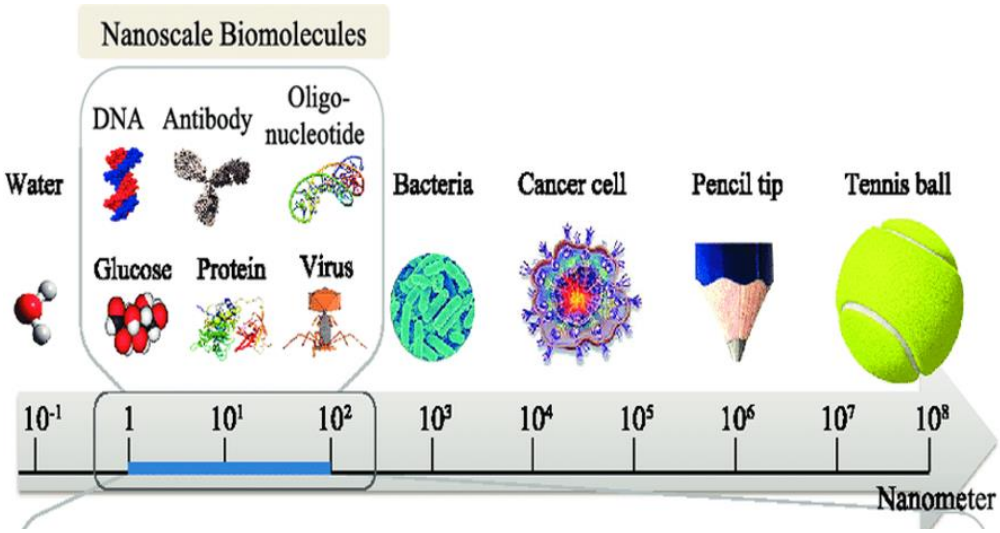
4.1 Φυσικά νανοϋλικά

Φυσικά οργανικά νανοϋλικά μπορούν να θεωρηθούν το καψίδιο ενός ιού, φυσικά κολλοειδή (γάλα, αίμα), κάποια φτερά σε πεταλούδες, το χαρτί, βαμβάκι, μάργαρο, κοράλλια. Φυσικά ανόργανα νανοϋλικά υπάρχουν μέσα από την κρυσταλλική ανάπτυξη σε διάφορες χημικές συνθήκες του φλοιού της γης. Ο Άργιλος, για παράδειγμα, εμφανίζει πολύπλοκες νανοδομές. Παραδείγματα φυσικών νανοϋλικών παρουσιάζονται στην Εικόνα 6:



Εικόνα 6: Το καψίδιο ενός ιού, το φτερό μιας πεταλούδας ή το φτερό ενός παγωνιού αποτελούν παραδείγματα φυσικών νανοϋλικών (από αριστερά προς τα δεξιά).

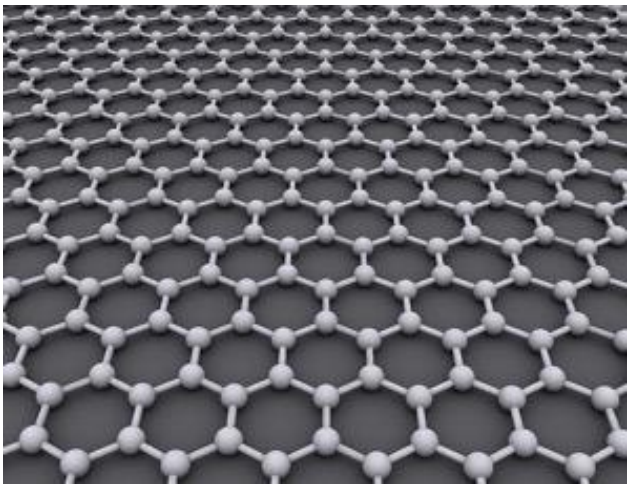
Για παράδειγμα, το μόριο του DNA αποτελεί υλικό της νανοκλίμακας (έχει διάμετρο 1nm έως 2 nm). Τα υπερ-μοριακά συμπλέγματα, όπως τα ριβοσώματα είναι της τάξης μεγέθους των 20 nm ενώ οι ιοί της τάξης μεγέθους των 30 nm – 100 nm.



Εικόνα 6: *Η κλίμακα των φυσικών νανοϋλικών, μόριο DNA, RNA, βακτήρια.*

4.2 Συνθετικά νανοϋλικά

Τα συνθετικά νανοϋλικά διακρίνονται σε αυτά που έχουν ως βασικό συστατικό τον άνθρακα (οργανικά νανοϋλικά) και σε αυτά που έχουν ως βασικό συστατικό άλλα στοιχεία όπως είναι το πυρίτιο.



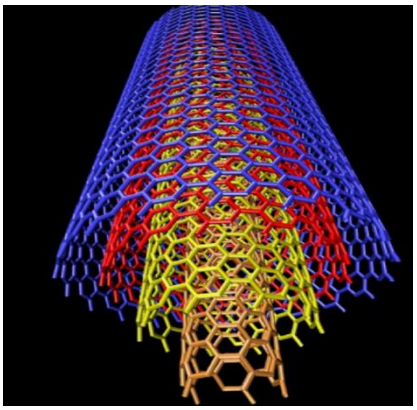
Εικόνα 7: Το γραφένιο που ανακαλύφθηκε από τους Andre Geim και Kostya Novoselov παίζει σημαντικό ρόλο στη νανοτεχνολογία.

***Πλέγμα Γραφένιου*:** Το γραφένιο αποτελεί ένα υλικό που απομονώθηκε για πρώτη φορά με επιτυχία το 2004. Διαθέτει δισδιάστατη δομή που μοιάζει με κηρήθρα και μια ευρεία γκάμα από πολύ ενδιαφέρουσες ιδιότητες. Πρόκειται για ένα ενιαίο στρώμα (μονοστιβάδα) ατόμων άνθρακα, σφιχτά συνδεδεμένο σε ένα εξαγωνικό κυψελωτό πλέγμα. Είναι το δομικό στοιχείο του γραφίτη, ο οποίος αποτελείται από πολλαπλά στρώματα αυτών των μονοστιβάδων ατόμων άνθρακα το

ένα πάνω στο άλλο [17] (Εικόνα 7). Ας δούμε μερικές από τις πιο σημαντικές ιδιότητες του γραφένιου:

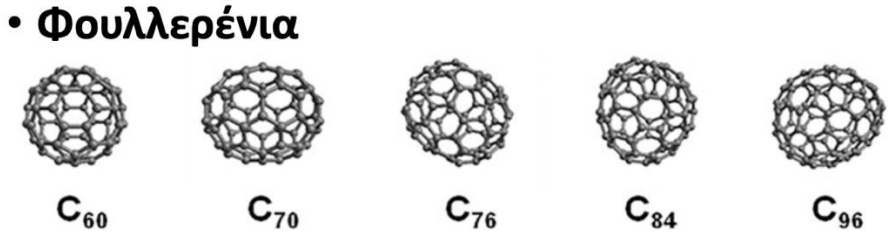
1. Είναι το ελαφρύτερο υλικό που γνωρίζει ο άνθρωπος, ***με 1 τετραγωνικό μέτρο να ζυγίζει μόνο 0,77 χιλιοστόγραμμα.***
2. Παρά το μικρό βάρος του, εξακολουθεί να είναι ***200 φορές ισχυρότερο από το ατσάλι.***
3. Είναι ένας από τους ισχυρότερους αγωγούς θερμότητας και ηλεκτρισμού.
4. Έχει επίσης ομοιόμορφη απορρόφηση φωτός στα ορατά και κοντά στο υπέρυθρο μέρη του φάσματος.

Νανοσωλήνες άνθρακα: Οι νανοσωλήνες άνθρακα είναι ομόκεντροι κύλινδροι γραφενίου, κλειστοί σε κάθε άκρο. έχουν συγκεντρώσει το ενδιαφέρον των ερευνητών σε παγκόσμιο επίπεδο, λόγω των πολυάριθμων θεωρητικών εφαρμογών τους που πηγάζουν από τις εξαιρετικές μηχανικές τους ιδιότητες. Λόγω του ότι εμφανίζουν εξαιρετικά υψηλό μέτρο ελαστικότητας (~1 TPa) και αντοχή (~100-130 GPa), εξετάζεται και η χρήση τους για την ενίσχυση υλικών [18]. Στην Εικόνα 8 παρουσιάζεται οπτικά η δομή των νανοσωλήνων του άνθρακα:



Εικόνα 8: Οι Νανοσωλήνες του άνθρακα. Ανακαλυφθήκαν το 1991 από τον Sumio Iijima

Φουλλερένια: *Τα φουλλερένια είναι μια τάξη από αλλοτροπικές μορφές άνθρακα*. Ανακαλύφθηκαν το 1985 από τον Harold Walter Kroto και τους συνεργάτες του (Βραβείο Nobel Χημείας 1996). Η διάμετρος ενός φουλλερένιου κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0,7 pm και 1,5 nm. Η επιφάνειά τους αποτελείται από πενταμελείς και εξαμελείς δακτυλίους άνθρακα. Τα φουλλερένια χρησιμοποιούνται κυρίως βιομηχανίες των καλλυντικών, των φαρμακευτικών ειδών, των λιπαντικών και των ηλεκτρονικών ειδών. Το σταθερότερο εξ αυτών των μορίων διαπιστώθηκε ότι αποτελείται από 60 άτομα άνθρακα, ενώ υπάρχουν και άλλα μόρια αποτελούμενα από 70 άτομα άνθρακα και πάνω.



Εικόνα 9: Η δομή του του άνθρακα φουλλερένιο με διαφορετικό αριθμό ατόμων. Το σταθερότερο είναι αυτό με τα 60 άτομα άνθρακα.

5 Εφαρμογές των νανοϋλικών

Τα νανοϋλικά χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές όπως για παράδειγμα:

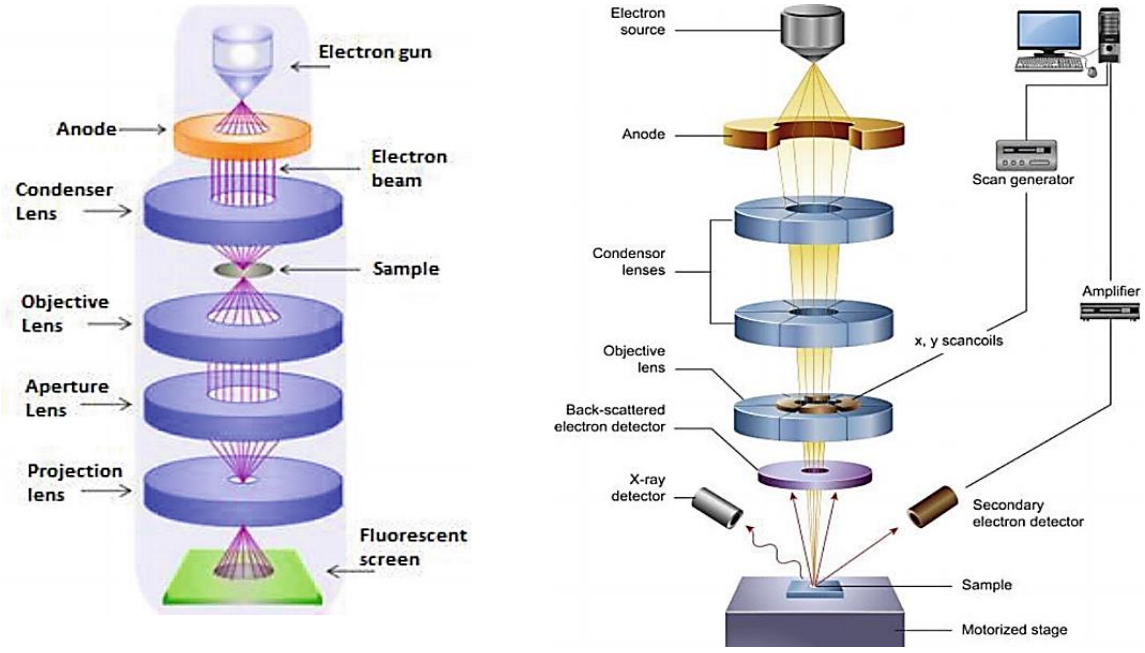
- ✓ **Στη νανοϊατρική** χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά φαρμακευτικών ουσιών σε συγκεκριμένα κύτταρα του οργανισμού αλλά και ως αισθητήρες διαφόρων ουσιών που υπάρχουν μέσα στο σώμα μας. Τα νανοϋλικά μεταφέρουν ουσίες, οι οποίες θα σκοτώσουν μόνο καρκινικά κύτταρα ή θα επιταχύνουν τη διαδικασία αποκατάστασης σπασμένων οστών· επίσης, ανιχνεύουν σε αρχικό στάδιο π.χ. πρωτεΐνες που υποδηλώνουν κάποια σοβαρή ασθένεια, όπως τον καρκίνο.

- ✓ **Στο περιβάλλον** μπορούν να συμβάλουν στην προστασία του περιβάλλοντος, καθώς μπορούν να δημιουργηθούν υλικά, τα οποία θα απορροφούν και θα παγιδεύουν πετρελαιοκηλίδες. Επιπλέον, μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις λεγόμενες μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης δημιουργώντας σχετικά φτηνές και αποδοτικές συσκευές καθαρισμού νερού δίνοντας μια λύση στο πρόβλημα που αντιμετωπίζουν πολλές φτωχές χώρες.

- ✓ **Στην «αυτο – προσαρμοστικότητα»,** είναι δυνατή η κατασκευή νανοϋλικών, τα οποία «αυτό-θεραπεύονται», αν για παράδειγμα κοπούν με κάποιο τρόπο. Επίσης, τα ίδια σωματίδια μπορούν, λόγω των αλλαγών στη δομή του υλικού, όταν πάνω του ασκείται πίεση (και στη συνέχεια την επαναφορά του στην αρχική του κατάσταση), να χαρίσουν στα ρομπότ μία αίσθηση σαν την αφή!

6 Έλεγχος και παραγωγή προϊόντων νανοτεχνολογίας

6.1 Η μελέτη για τα νανοϋλικά



(α) (β)

Εικόνα 10: Η αρχή λειτουργίας των μικροσκοπίων SEM και TEM που χρησιμοποιούνται για τη μελέτη υλικών νανοτεχνολογίας: (α) TEM, (β) SEM

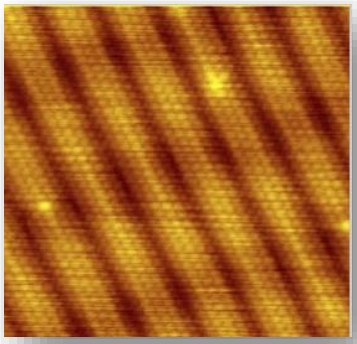
Η μελέτη για τα υλικά νανοτεχνολογίας γίνεται χρησιμοποιώντας:

- Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης (Scanning Electron Microscope, SEM) (Εικόνα 11)
- Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Μετάδοσης (Transmission Electron Microscope, TEM) (Εικόνα 11)
- Διάθλαση ακτινών X (X-Ray Diffraction- XRD)

Σε ένα ηλεκτρονικό μικροσκόπιο SEM η οπτικοποίηση επιτυγχάνεται με σκεδαζόμενα ηλεκτρόνια. Αντίθετα, σε ένα μικροσκόπιο TEM η λήψη γίνεται με τη μέτρηση του ποσοστού των ηλεκτρονίων που διαπερνούν το δείγμα [19]. Επομένως, η μέθοδος SEM χρησιμοποιείται για τη μελέτη της επιφάνειας και της ατομικής της σύστασης. Αντίθετα, η μέθοδος TEM απαιτεί δείγματα εξαιρετικά μικρού πάχους (περίπου 70 nm) ή δείγματα με εξαιρετικά μικρές δομές για την αποκρυπτογράφηση της κρυσταλλογραφικής διεύθυνσης των δομών και τη μελέτη της επιφάνειάς τους.

Το 1981 ανακαλύφθηκε το Μικροσκόπιο Σάρωσης Σήραγγας (Scanning Tunneling Microscope, STM). Το μικροσκόπιο STM είναι όργανο που χρησιμοποιείται για την απεικόνιση επιφανειών σε ατομικό επίπεδο (βραβείο Nobel Φυσικής στους Gerd

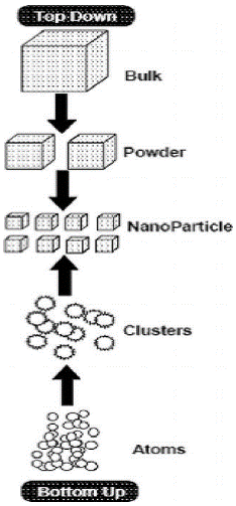
Binning και Heinrich Rohrer, 1986). Με το μικροσκόπιο αυτό επιτυγχάνεται ανάλυση της τάξης του 0,1 nm στο επίπεδο και του 0,01 pm (10 pm), εκτός επιπέδου. Στην Εικόνα 11 απεικονίζονται φύλλα χρυσού, όπως φαίνεται με το μικροσκόπιο STM.



Εικόνα 11: Εικόνα από το μικροσκόπιο σάρωσης σήραγγας όπου απεικονίζονται σε ατομικό επίπεδο φύλλα χρυσού.

6.2 Η κατασκευή των νανοϋλικών

Η κατασκευή των νανοϋλικών γίνεται με δύο τρόπους: είτε με κατατεμαχισμό υλικών μεγαλύτερου όγκου, είτε αντιστρόφως, με σύνθεση, χρησιμοποιώντας επιμέρους άτομα [20].



Μεθοδολογίες που ακολουθούνται σχετικά είναι:

1. Τεχνική sol gel (υγρή φάση – liquid phase, στην αρχή γίνεται μετατροπή κολλοειδούς σε γέλη, στη συνέχεα γίνεται διήθηση, έκπλυση και ξήρανση)
2. ανάφλεξη
3. υδροθερμική μέθοδος
4. πυρόλυση
5. καθίζηση
6. εναπόθεση σε κενό (vacuum deposition)
7. άλλες φυσικές και χημικές μέθοδοι (gas phase-chemical vapor deposition)

6.3 Ιδιότητες Υλικών Νανοτεχνολογίας

Τα υλικά νανοτεχνολογίας χαρακτηρίζονται με βάση τις ιδιότητές τους. Οι ιδιότητες αυτές [22[22] αφορούν στα εξής:

1. στο μέγεθος, στο σχήμα, στην επιφάνειά τους και στην επιφάνεια της διατομής τους,
2. στην ικανότητα συσσώρευσης ή συγκόλλησής τους,

3. στην κατανομή του μεγέθους τους στον χώρο,
4. στην μορφή της επιφάνειάς τους,
5. στη δομή τους , στην κρυσταλλικότητα και στην ελαττωματικότητα της δομής τους.
6. στη διαλυτότητά τους.

Μερικά από τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν τα υλικά νανοτεχνολογίας ένεντι των αντίστοιχων υλικών μικροτεχνολογίας, είναι:

- υψηλότερη ευαισθησία,
- μικρότερη κατανάλωση αναλυτών (αντιδραστηρίων),
- μικρότερη απόσταση μεταξύ του αντικειμένου ενδιαφέροντος και του νανοαισθητήρα.

7 Εφαρμογές Υλικών Νανοτεχνολογίας για τις Πόλεις του Μέλλοντος

Τα υλικά νανοτεχνολογίας που χρησιμοποιούνται ευρέως, είναι το διοξείδιο του τιτανίου και το συνθετικό άμορφο πυρίτιο. Τα υλικά αυτά απαντούν συνήθως σε για εφαρμογές χρώσης και επίστρωσης, βελτιώνουν την ανθεκτικότητα των υλικών στα οποία προστίθενται και τους προσδίδουν επιπρόσθετες ιδιότητες. Τέτοιες ιδιότητες είναι ο αυτοκαθαρισμός, η αντίσταση στους λοιμογόνους παράγοντες, η υδατοστεγανότητα και η ανθεκτικότητα στη χάραξη [21].

Επιπλέον πολλές εφαρμογές τους αφορούν την αεροναυπηγική, τη χημική βιομηχανία, τη βιομηχανία οπτικών, τη βιομηχανία μπαταριών και καυσίμων, την κατασκευή αισθητήρων, τη φαρμακοβιομηχανία και τη βιομηχανία τροφίμων.

7.1 Καθαρισμός ρύπων νερού

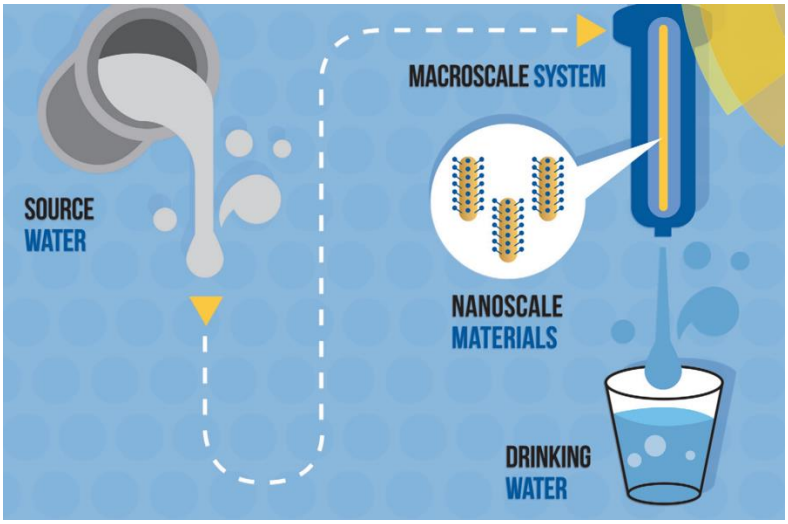
Τα νανοϋλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον καθαρισμό του περιβάλλοντος από τους ρύπους, καθώς και για την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας [23].

Για παράδειγμα, για τον καθαρισμό του νερού, οι εφαρμογές της νανοτεχνολογίας αφορούν στην ποιότητα του νερού, κυρίως σχετικά με:

- την απομάκρυνση τοξικών ουσιών από το νερό (νανοσωληνίσκοι άνθρακα, zeolites, νανοσωματίδια αργύρου, σίδηρος μηδενικού σθένους - zero valent iron nanoparticles),
- το φιλτράρισμα με νανοφίλτρα, του νερού που προορίζεται για οικιακή ή εργοστασιακή χρήση (περιέχουν α) MoS_2: δισουλφίδιο του μολυβδαινίου και έχουν πενταπλάσια διηθητική ικανότητα ως προς τα συμβατικά φίλτρα, και β)

$KMnO_4$: υπερμαγγανικό κάλιο, το οποίο απορροφά έλαια σε ποσότητα ίση με είκοσι φορές τη μάζα του),

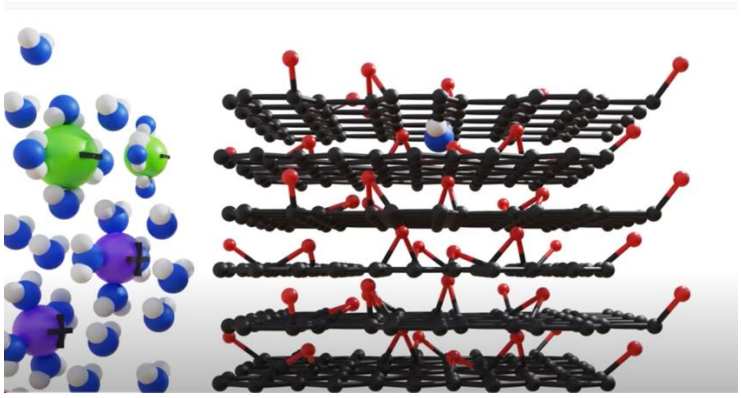
- την εξουδετέρωση τοξικών ουσιών που υπάρχουν στο νερό, με μετατροπή οργανικών ενώσεων σε ανόργανες μέσω φωτοκαταλυτών (π.χ. TiO_2: διοξείδιο του τιτανίου, ZnO: οξείδιο του ψευδαργύρου, W_2O_3: οξείδιο του βολφραμίου),
- την αντιμικροβιακή δράση (νανοσωματίδια Ag: αργύρου),
- τον καθαρισμό του νερού των αποβλήτων.



***Εικόνα 12**:* Σύστημα καθαρισμού ρύπων νερού με χρήση φίλτρων νανοτεχνολογίας.

7.2 Μετατροπή θαλασσινού νερού σε πόσιμο

Ερευνητές στη Βρετανία ανέπτυξαν μια πειραματική μεμβράνη από το υλικό-θαύμα γραφένιο, η οποία φιλτράρει τα άλατα που περιέχει το νερό της θάλασσας, καθιστώντας το έτσι πόσιμο [24]. Οι μεμβράνες από γραφένιο είναι αρκετά μεγάλες ώστε να αφήνουν το νερό να περάσει, αλλά αρκετά μικρές για να φιλτράρουν το αλάτι. Με άλλα λόγια, αυτές οι μεμβράνες θα μπορούσαν να φέρουν επανάσταση στην τεχνολογία αφαλάτωσης. Η διαδικασία αυτή απεικονίζεται στο σχήμα που ακολουθεί (Εικόνα 13). Τα μόρια του νανοϋλικού γραφένιου, συγκρατούν το αλάτι ενώ αντίθετα επιτρέπουν τη διέλευση των μορίων του νερού.



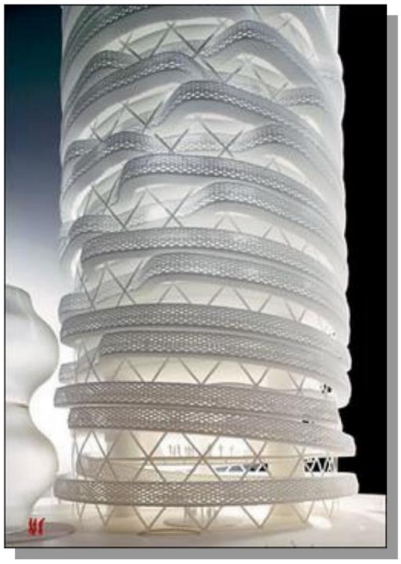
***Εικόνα 13**:* Σύστημα μετατροπής του θαλασσινού νερού σε πόσιμο. Οι μεμβράνες του νανοϋλικού γραφένιου, συγκρατούν τα μόρια του αλατιού ενώ επιτρέπουν την διέλευση του νερού.

7.3 Κατασκευή «έξυπνων κτηρίων» - ο ρόλος της νανοτεχνολογίας στην αρχιτεκτονική

7.3.1 Το "Υφαντό» Κτίριο: ένας Ουρανοξύστης Άνθρακα

Τα υλικά της νανοτεχνολογίας επιτρέπουν την κατασκευή περισσότερων ανθεκτικών, ελαφρύτερων και πιο φιλικών στο περιβάλλον κατασκευών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο Ουρανοξύστης Άνθρακα, μία κατασκευή 40 ορόφων, μικτής χρήσης (Εικόνα 14).

Ο Ουρανοξύστης Άνθρακα έχει σχεδιαστεί, για να είναι όχι μόνο λιγότερο περιορισμένος από έναν άκαμπτο σκελετό, αλλά και πιο όμορφος, φιλικός προς το περιβάλλον, και χαμηλού κόστους.



***Εικόνα 14**: Μακέτα του ουρανοξύστη 40 ορόφων, κατασκευασμένου με νανοϋλικά άνθρακα.*

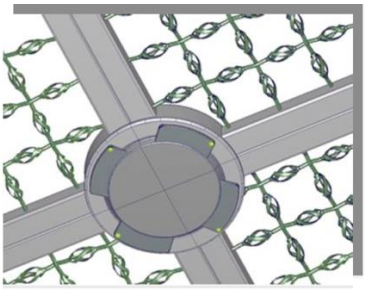
7.3.2 «Νανο-Οικία» - The Nano House TM Initiative

Εικόνα 15: Μακέτα σπιτιού «νανοκατοικίας», κατασκευασμένης με υλικά φιλικά προς το περιβάλλον

Η Νανο - Οικία [26] είναι αποτέλεσμα της συνεργασίας μεταξύ Αυστραλών αρχιτεκτόνων, και μηχανικών για τον σχεδιασμό και τη δημιουργία ενός ενεργειακά αποδοτικού σπιτιού μέσω των δυνατοτήτων της νανοτεχνολογίας. Τα παράθυρα και οι τοίχοι θα διατηρούν δροσερούς τους χώρους μέσω θερμο - ανακλαστικών βαφών και επικαλύψεων. Οι γυάλινες επιφάνειες θα κρατούν έξω το φως με το πάτημα ενός διακόπτη και θα αυτοκαθαρίζονται με τη βοήθεια του βρόχινου νερού. Οι επιφάνειες των λουτρών και της κουζίνας είναι αντιβακτηριδιακές (Εικόνα 15).

7.3.3 Νανο-τουρμπίνες Το έργο Nano Vent Skin

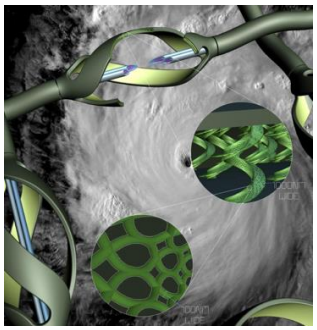
Πρόκειται για μία επένδυση κτηρίου με χρήση ανεμογεννητριών σε νανοκλίμακα (νανοτουρμπίνες) [27]. Η επένδυση αποτελείται από διαφορετικά είδη μικροοργανισμών που συνεργάζονται για να απορροφήσουν και να μετατρέψουν φυσική ενέργεια από το περιβάλλον. Αυτοί οι οργανισμοί μπορούν να μετατρέψουν την ηλιακή και αιολική ενέργεια (ανανεώσιμες πήγες ενέργειας) και μπορούν να απορροφήσουν το CO_2 της ατμόσφαιρας. Η Εικόνα 16 παρουσιάζει τις νανοτουρμπίνες του κτιρίου *Nano Vent Skin* ώστε να κατασκευαστεί ένα φιλικό προς το περιβάλλον κτήριο.



Εικόνα 16: Οι νανοτουρμπίνες του κτηρίου Nano Vent Skin, που σχεδιάστηκε από τον Μεξικανό αρχιτέκτονα Agustin Otegu.

Η Εικόνα 17 (α) παρουσιάζει την εφαρμογή της τεχνολογίας των νανοτουρμπινών σε ένα κτήριο. Το πιο εντυπωσιακό σε αυτήν τη σχεδίαση είναι ότι το κτήριο είναι σχεδιασμένο να «αυτό-διορθώνεται». Όταν κάποια τουρμπίνα αποτυγχάνει ή καταστρέφεται, αποστέλλεται ένα σήμα μέσω νανονημάτων στο κεντρικό σύστημα και στη συνέχεια μικροοργανισμοί (δομικά υλικά) αποστέλλονται μέσω του κεντρικού σωλήνα στο σημείο βλάβης με στόχο την έναρξη της διαδικασίας αυτοεπιδιόρθωσης. Η διαδικασία αυτή φαίνεται στην Εικόνα 17 (β).

(α)



(β)

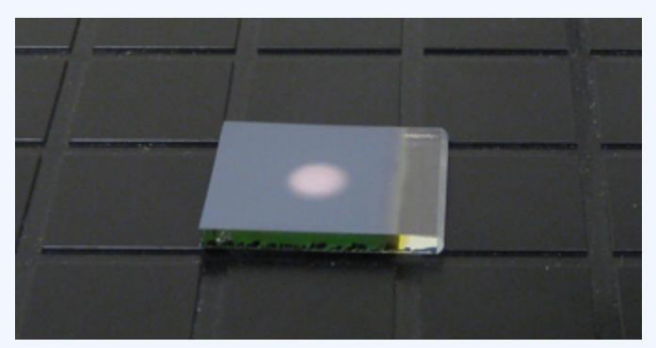
Εικόνα 17: (α) Εφαρμογή της τεχνολογίας των νανοτουρμπινών σε ένα κτήριο. (β) Η διαδικασία αυτορύθμισης των νανοτουρμπινών. Όταν κάποια νανοτουρμπίνα χαλάσει αποστέλλονται σήματα σε ένα σύστημα κεντρικής διαχείρισης. Μέσω νανοϊνών αποστέλλονται μηχανισμοί αυτοδιόρθωσης.

Ο ρόλος της νανοτεχνολογίας στην διαχείριση ενέργειας

7.4 Η Νανοτεχνολογία στα Φωτοβολταϊκά

Στο πυρίτιο οφείλεται το 10-20% του κόστους μιας ηλιακής κυψέλης. Τα περισσότερα κοινά φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν ως κύριο υλικό κρύσταλλο πυριτίου υψηλής ποιότητας. Όταν τα φωτόνια συγκρούονται με τα άτομα του πυριτίου δημιουργείται ηλεκτρικό ρεύμα. Οι εμπορικές εκδόσεις τέτοιων συστημάτων έχουν σήμερα αποτελεσματικότητα γύρω στο 22% για τη μετατροπή του ηλιακού φωτός σε ηλεκτρική ενέργεια [28]. Για την αύξηση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών συστημάτων, οι επιστήμονες έχουν χρησιμοποιήσει φωτοβολταϊκά λεπτής μεμβράνης τα οποία αποτελούνται από μεμβράνες πυριτίου με πάχος στην κλίμακα των nm (νανομέτρων). Όταν τα φωτοβολταϊκά κύτταρα γίνονται πιο λεπτά, το φως αλληλοεπιδρά διαφορετικά με την υφή της επιφάνειάς τους και οι συγκρούσεις μεταξύ φωτονίων και ηλεκτρονίων μειώνονται. Επομένως αυτές οι νανοδομές θα μπορούσαν να αυξήσουν την αποτελεσματικότητα των φωτοβολταϊκών συστημάτων ενώ ταυτόχρονα να μειώσουν το κόστος. Η Εικόνα 18

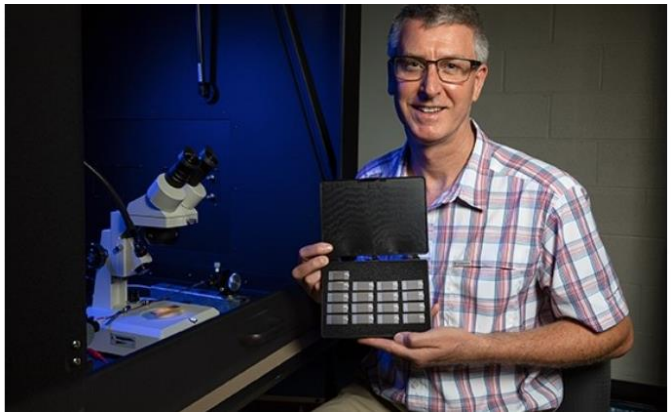
παρουσιάζει το υλικό της νανοτεχνολογίας πυριτίου, το οποίο αυξάνει την απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων.



Εικόνα 18: *Πολύ λεπτή κυψέλη φύλλου πυριτίου σε κλίμακα νανομέτρων για την αύξηση της απόδοσης φωτοβολταϊκών συστημάτων και την ταυτόχρονη μείωση του κόστους.*

Κυκλώματα που αποθηκεύουν ενέργεια

Μια ομάδα φυσικών του Πανεπιστημίου του Αρκάνσας ανέπτυξε με επιτυχία ένα κύκλωμα ικανό να συλλαμβάνει τη θερμική κίνηση του γραφένιου και να παράγεται από τη διαδικασία αυτή, ηλεκτρικό ρεύμα [29]. Η ομάδα των επιστημόνων διαπίστωσε ότι σε θερμοκρασία δωματίου η θερμική κίνηση του γραφένιου προκαλεί στην πραγματικότητα εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) σε ένα κύκλωμα. Η Εικόνα 19 παρουσιάζει το κύκλωμα του γραφένιου.

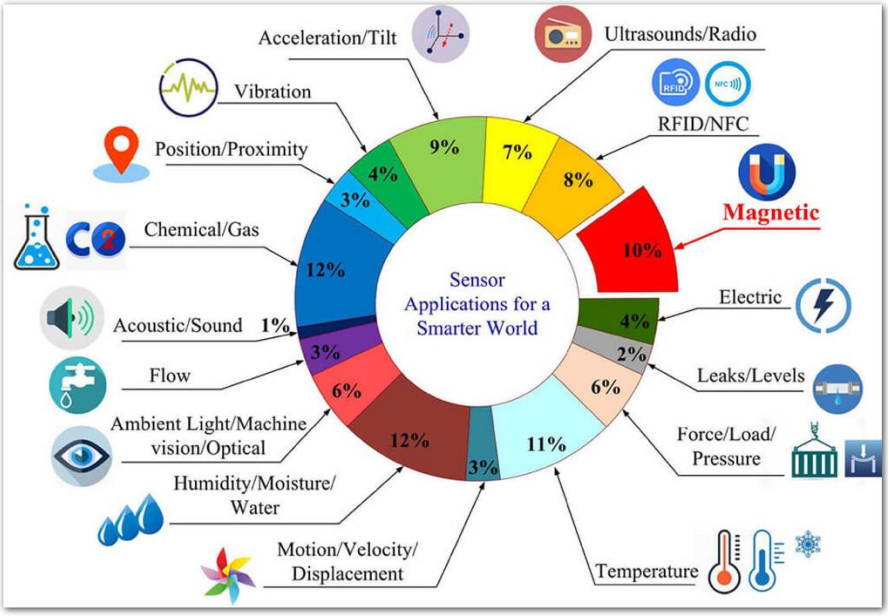


***Εικόνα 19**:* Ο καθηγητής Paul Thibado και το κύκλωμα γραφένιου που μετατρέπει τη θερμική κίνηση σε ηλεκτρικό ρεύμα.

7.5 Η Νανοτεχνολογία και οι έξυπνες πόλεις

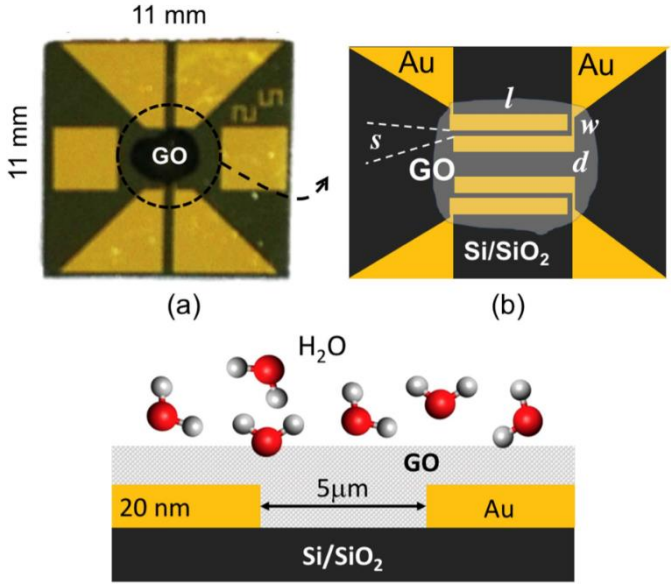
Οι αισθητήρες συλλογής δεδομένων που είναι ενσωματωμένοι σε όλα τα είδη συσκευών βρίσκονται στον πυρήνα των εφαρμογών (Internat of Things: IoT). Ιδιαίτερα σε ζήτηση είναι ελαφροί, λεπτοί, στιβαροί και εύκαμπτοι αισθητήρες που

μπορούν να ενσωματωθούν απρόσκοπτα σε οποιαδήποτε επιφάνεια, κάτι που είναι δύσκολο να πραγματοποιηθεί σε συμβατικούς ηλεκτρομηχανικούς αισθητήρες. Η νανοτεχνολογία δίνει την λύση για τις αυριανές πόλεις του μέλλοντος. Η Εικόνα 20 παρουσιάζει τους αισθητήρες που χρησιμοποιούνται στις σύγχρονες πόλεις.



Εικόνα 20: Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για τις έξυπνες πόλεις [30].

Οι αισθητήρες γραφένιου μπορούν να φέρουν επανάσταση στις έξυπνες πόλεις του μέλλοντος. Με το γραφένιο μπορεί να δημιουργηθούν απλές δομές αισθητήρων, οι οποίες μπορούν να συνδεθούν εύκολα σε οποιοδήποτε δίκτυο [31].



Εικόνα 21: Πρωτότυπος αισθητήρας νανοτεχνολογίας για χρήση σε εφαρμογές έξυπνων πόλων [32].

7.6 Κίνδυνοι από τη Χρήση Υλικών Νανοτεχνολογίας

Τα νανοσωματίδια, λόγω του μικρού μεγέθους τους, μπορούν εύκολα να μεταφερθούν με τον αέρα, τη βροχή ή τα απορρίμματα κάθε φύσης , να διαπεράσουν το έδαφος και να μολύνουν τον υδροφόρο ορίζοντα [33].

Επιπλέον, μελέτες σε πειραματόζωα κατέδειξαν ότι η έκθεση σε νανοσωματίδια μέσω εισπνοής είχε τοξικά αποτελέσματα στους πνεύμονες και προκάλεσε πνευμονική ίνωση. Επιπλέον, η τοξική δράση των νανοϋλικών μπορεί να επιδράσει στην καρδιά, το δέρμα και άλλα όργανα [34]. Η τοξικότητα των νανοσωματιδίων φαίνεται να οφείλεται στην απελευθέρωση ελεύθερων ριζών οξυγόνου κατά την διάσπασή τους [35].

Ωστόσο, οι περισσότεροι κίνδυνοι αφορούν προς το παρόν στην υγεία των εργαζομένων στις βιομηχανίες νανοϋλικών, οι οποίοι βρίσκονται σε πολύ μεγαλύτερη έκθεση στα νανοϋλικά, από τον υπόλοιπο πληθυσμό. Για τον λόγο αυτόν έχουν εκδοθεί ειδικές οδηγίες που πρέπει να τηρούνται αυστηρά στους αντίστοιχους εργασιακούς χώρους [36].

8 Συμπεράσματα

Η εφαρμογή της νανοτεχνολογίας θα έχει μεγάλο αντίκτυπο στην ανάπτυξη των μελλοντικών έξυπνων πόλεων. Τα νανοϋλικά μετατρέπουν τη δομή, τη μεταφορά και την απόδοση των υλικών σε «εξυπνότερη», ταχύτερη και φθηνότερη. Τα νανοϋλικά είναι επίσης χρήσιμα για την περιβαλλοντική αποκατάσταση, τον καθαρισμό του νερού και την αποθήκευση ενέργειας. Τα «έξυπνα υλικά» θα παρέχουν βιώσιμη ανάπτυξη στις πόλεις του μέλλοντος. Ωστόσο, υπάρχουν αρκετές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν για την πλήρη ανάπτυξη των έξυπνων πόλεων στην πραγματικότητα. Παραδείγματα αποτελούν τα προβλήματα τοξικότητας, διαχείρισης των αποβλήτων των νανοϋλικών και τα θέματα που αφορούν στις επιπτώσεις της υγείας των πολιτών.

9 Ευρετήριο

Avogadro, 7

Bohr, 7

Dalton, 7

Faraday, 8

Feynman, 8

Graham, 8

Νανοτεχνολογία και οι διαστάσεις, 5

Sommerfield, 8

Αισθητήρες, 20

Αρχιτεκτονική, 17

Αυτόπροσαρμοστικότητα, 13

Γραφένιο, 11

Δημόκριτος, 7

Ενέργεια, 19

Έξυπνες πόλεις, 20

Επιφανειακή κατάσταση, 9

Εφαρμογές των νανοϋλικών, 12

Εφαρμογές υλικών νανοτεχνολογίας για τις πόλεις του μέλλοντος, 15

Η κλίμακα των φυσικών νανοϋλικών, 10

Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM), 13

Ιδιότητες υλικών νανοτεχνολογίας, 15

Ιστορική αναδρομή, 7

Καθαρισμός ρύπων νερού, 15

Κίνδυνοι, 21

Κυκλώματα, 19

Μετατροπή θαλασσινού νερού σε πόσιμο, 16

Μικροσκόπιο σάρωσης σήραγγας (STM), 8

Μορφές υλικών νανοτεχνολογίας, 6

Νανο - τουρμπίνες, 18

Νανο - ιατρική, 12

Νανο - Οικία, 17

Νανοσωλήνες άνθρακα, 11

Νανοϋλικά, 10

Ορισμός, 5

Ουρανοξύστης Άνθρακα, 17

Παρασκευή των νανοϋλικών, 14

Περιβάλλον, 13

Συμπεράσματα, 22

Συνθετικά νανοϋλικά, 11

Transmission electron microscopy-TEM, 13

Φουλλερένιο, 12

Φυσικά νανοϋλικά, 10

Φωτοβολταϊκά, 19

10 Βιβλιογραφία

[1] Κ. Χαριτίδης, «ΝΑΝΟΔΟΜΕΣ & ΝΑΝΟΥΛΙΚΑ – Σύνθεση, Ιδιότητες και Εφαρμογές», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών.

[2] Μονάδες Μέτρησης, Βικιπαίδεια, Διαθέσιμο στην διεύθυνση, https://el.wikipedia.org/wiki/Μέτρηση

[3] European Chemical Angency, Διαθέσιμο στην διεύθυνση, https://echa.europa.eu/

[4] Eigler D.M., Scheweizer E.K., Positioning single atoms with a scanning tunneling microscope, Nature 344:524 (1990), Διαθέσιμο στην διεύθυνση, http://www.mrsec.wisc.edu/Edetc/nanoquest/atom_manipulation

[5] The Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR)

[6] Ali, Ali. "Application of Nanomaterials in Environmental Improvement" In Nanotechnology and the Environment, edited by Mousumi Sen. London: IntechOpen, 2020. 10.5772/intechopen.91438

[7] Δημόκτριτός, Βικιπαίδεια, Διαθέσιμο στην διεύθυνση, https://el.wikipedia.org/wiki/Δημόκριτος

[8] J. Dalton, Βικιπαίδεια, Διαθέσιμο στην διεύθυνση, https://el.wikipedia.org/wiki/John_Dalton

[9] Χημεία Α Λυκείου, Υπουργείο Παιδείας και Θρησκευμάτων

[10] Jeevanandam, J.; Barhoum, A.; Chan, Y. S.; Dufresne, A.; Danquah, M. K. Beilstein J. Nanotechnol. 2018, 9, 1050–1074. doi:10.3762/bjnano.9.98, https://www.beilstein-journals.org/bjnano/articles/9/98

[11] Applications of Nanotechnology, «Nanotechnology: a small solution to big problems» , https://www.iberdrola.com/innovation/nanotechnology-applications

[12] Norio Taniguchi, Βικιπαίδεια, Διαθέσιμο στην διεύθυνση, https://en.wikipedia.org/wiki/Norio_Taniguchi

[13] Collier C.P., Wong E.W., Belohradský M., Raymo F.M., Stoddart J.F., Kuekes P.J., Williams R., Heath J.R., Electronically Configurable Molecular-Based Logic Gates, Science 285:391 (1999).

[14] Μικροσκόπιο σάρωσης σήραγγας, Βικιπαίδεια, Διαθέσιμο στην διεύθυνση, https://el.wikipedia.org/wiki/Μικροσκόπιο_σάρωσης_σήραγγας

[15] Gerber C, Lang H.P., Nature nanotechnology, 1:3 (2006).

[16] Νανοϋλικά, Βικιπαίδεια, Διαθέσιμο στην διεύθυνση, https://el.wikipedia.org/wiki/Νανοϋλικά

[17] Γραφένιο: Ένα… θαυματουργό υλικό από το μέλλον, 200 φορές ισχυρότερο από το ατσάλι, διαθέσιμο στην διεύθυνση, https://banks.com.gr/grafenio-ena-thavmatourgo-yliko-apo-mellon-200-%E2%80%8B%E2%80%8Bfores-ischyrotero-apo-atsali/

[18] Carbon nanotube computer, Max M. Shulaker, Gage Hills, Nishant Patil, Hai Wei, Hong-Yu Chen, H.-S. Philip Wong & Subhasish Mitra, Nature 501, 526–530 (26 September 2013)

[19] Β. Στεφανόπουλος, «Δομική και Χημική Ανάλυση Υλικών» Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Υλικών, Πανεπιστήμιο Κρήτης.

[20] Ali, "Application of Nanomaterials in Environmental Improvement" In Nanotechnology and the Environment, edited by Mousumi Sen. London: IntechOpen, 2020. 10.5772/intechopen.91438

[21] Εφαρμογές Νανοϋλικών, https://euon.echa.europa.eu/el/what-kind-of-products-contain-nanomaterials

[22] Baoguo Han, Vijay Tomer, Tuan Nguyen, Ali Farmani, Pradeep Kumar Singh, «Nanosensors for Smart Cities» elsevier press 2020.

[23] The Environmental Impact of Nanotechnology, https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=5114

[24] Εφηύραν φίλτρο από γραφένιο που κάνει το θαλασσινό νερό πόσιμο, https://www.protothema.gr/technology/article/668257/efiuran-filtro-apo-grafenio-pou-kanei-to-thalassino-nero-posimo/

[25] Ν. Παρθενοπούλου, «Η Επίδραση των Υλικών Νανοτεχνολογίας στον Αρχιτεκτονικό Σχεδιασμό, Διδακτορική διατριβή, ΑΠΘ, https://ikee.lib.auth.gr/record/289827/files/GRI-2017-19393.pdf

[26] Muir, J. G., et al. “The NanohouseTM-An Australian initiative for the future of energy efficient housing." Nanotechnology in Construction (2004).

[27] By Kris Walker, “Will Nano Vent-Skin Micro-Turbines Soon Be Powering Your Home?” Διαθέσιμο στην διεύθυνση, https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=3852

[28] Europena Commission, “Science for Environmental Policy”, διαθέσιμο στο https://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/nanotechnology_cuts_costs_and_improves_photovoltaic_cell_efficiency_48si6_en.pdf

[29] Thibado, P. M., et al. "Fluctuation-induced current from freestanding graphene." Physical Review E 102.4 (2020): 042101.

[30] How nanotechnology can benefit smart cities, διαθέσιμο στην διεύθυνση, https://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=59262.php

[31] Caccami, M. C., et al. "Design and experimentation of a batteryless on-skin RFID graphene-oxide sensor for the monitoring and discrimination of breath anomalies." IEEE Sensors Journal 18.21 (2018): 8893-8901.

[32] M. C. Caccami, M. Y. S. Mulla, C. Occhiuzzi, C. Di Natale and G. Marrocco, "Design and Experimentation of a Batteryless On-Skin RFID Graphene-Oxide Sensor for the Monitoring and Discrimination of Breath Anomalies," in *IEEE Sensors Journal*, vol. 18, no. 21, pp. 8893-8901, 1 Nov.1, 2018, doi: 10.1109/JSEN.2018.2867208.

[33] Ray, Paresh Chandra, Hongtao Yu, and Peter P. Fu. "Toxicity and environmental risks of nanomaterials: challenges and future needs." Journal of Environmental Science and Health Part C 27.1 (2009): 1-35.

[34] What Is A Nanomaterial? - Definition, Examples And Uses, https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-a-nanomaterial

[35] Ganguly, Priyanka, Ailish Breen, and Suresh C. Pillai. "Toxicity of nanomaterials: exposure, pathways, assessment, and recent advances." ACS Biomaterials Science & Engineering 4.7 (2018): 2237-2275.

[36] Nanotechnology - Controls for Health Hazards, διαθέσιμο στην διεύθυνση,