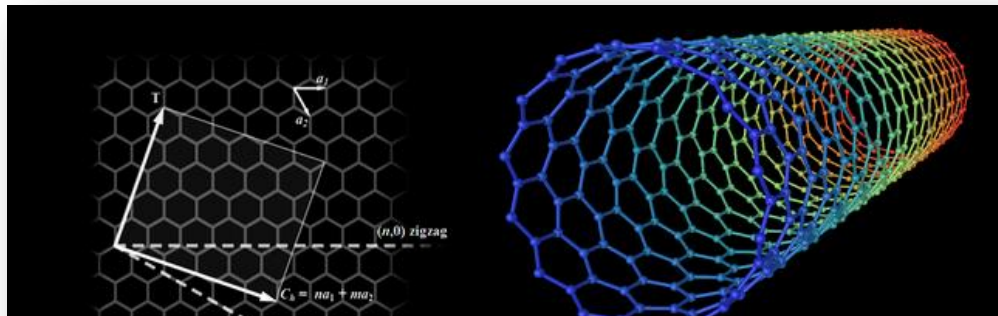


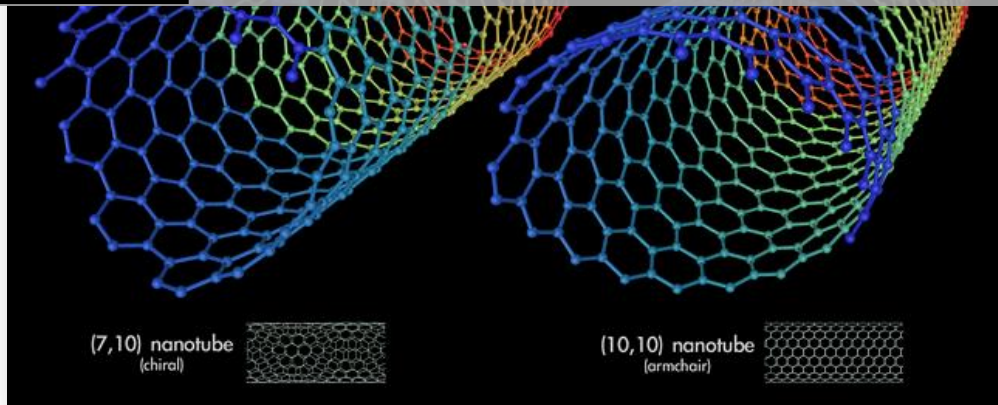


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΩΝ



**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ
ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΝΑΝΟΣΩΛΗΝΕΣ ΑΝΘΡΑΚΑ:
ΣΥΝΘΕΣΗ, ΔΟΜΗ, ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ &
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ**



ΓΕΩΡΓΙΑΔΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

ΜΑΝΩΛΑΚΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, 2010

.....

Ιωάννης Λ. Γεωργιάδης

Μηχανολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια των προπτυχιακών σπουδών μου στη σχολή των Μηχανολόγων Μηχανικών στον Τομέα Τεχνολογίας των Κατεργασιών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου προς τον Καθηγητή κ. Δ. Μανωλάκο για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου αναθέτοντάς μου τη μελέτη και τη διεκπεραίωση της διπλωματικής αυτής εργασίας, αλλά και για την πολύτιμη και ουσιαστική συμβολή τους καθόλη τη διάρκεια της εκπόνησής της.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Υποψήφιο Διδάκτορα κ. Γεώργιο Κούζιλο για την καθοδήγηση και την άμεση βοήθειά του, καθώς και την παροχή επιστημονικού υλικού απαραίτητου για τη συγγραφή της παρούσας εργασίας.

Αθήνα, Οκτώβριος 2010

Ιωάννης Α. Γεωργιάδης

Μηχανολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η μελέτη της δομής των νανοσωλήνων άνθρακα, οι τρόποι σύνθεσης τους και οι διάφορες τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τον χαρακτηρισμό τους.

Αναλυτικότερα, στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι βασικές αρχές που διέπουν την επιστήμη των υλικών.

Στο δεύτερο κεφάλαιο επιχειρείται μια σύντομη αλλά περιεκτική αναφορά στην επιστήμη των πολυμερικών υλικών. Αναλύονται οι βασικότερες κατηγορίες πολυμερών καθώς και τα βασικότερα χαρακτηριστικά αυτών.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα σύνθετα υλικά και οι μέθοδοι μορφοποίησης τους, επίσης γίνεται αναφορά στα νανοςύνθετα υλικά.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι τεχνολογικές εξελίξεις των νανοσωλήνων άνθρακα.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύεται η δομή και η σύνθεση των νανοσωλήνων άνθρακα, οι μηχανικές και ηλεκτρικές ιδιότητες τους, όπως επίσης αναφέρονται προηγμένες εφαρμογές των νανοσωλήνων άνθρακα.

Στο έκτο κεφάλαιο αναλύονται διάφορες τεχνικές για το χαρακτηρισμό των νανοσωλήνων άνθρακα.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΠΟΛΥΜΕΡΗ	7
1.1. ΓΕΝΙΚΑ.....	8
1.2. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΥΛΙΚΩΝ.....	10
1.3. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ	11
1.4. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ	18
1.5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	20
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΧΗΜΕΙΑ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ	21
2.1 ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΠΟΛΥΜΕΡΗ.....	22
2.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ	28
2.2.1 ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ.....	29
2.2.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ	32
2.3 ΔΕΣΜΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ.....	41
2.4 ΜΙΚΡΟΔΟΜΗ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ.....	43
2.5 ΜΟΡΙΑΚΑ ΒΑΡΗ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	49
2.6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ	52
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	53
3.2 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ	55
3.3 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ.....	60
3.4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	64
3.5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ & ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ.....	66
3.6 ΝΑΝΟΣΥΝΘΕΤΑ ΠΟΛΥΜΕΡΙΚΑ ΥΛΙΚΑ	69
3.7 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ.....	71
3.8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	74
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΣΤΟΥΣ ΝΑΝΟΣΩΛΗΝΕΣ	
ΑΝΘΡΑΚΑ	76
4.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	77
4.2 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	78
4.3 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	92

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΥΣ ΝΑΝΟΣΩΛΗΝΕΣ ΑΝΘΡΑΚΑ.....	97
5.1 ΟΙ ΑΛΛΟΤΡΟΠΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ	98
5.2 ΔΟΜΗ – ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΝΑΝΟΣΩΛΗΝΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ.....	100
5.3 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΝΑΝΟΣΩΛΗΝΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ.....	104
5.4 ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗΣ ΝΑΝΟΣΩΛΗΝΩΝ.....	108
5.5 ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΠΟΛΥΜΕΡΙΚΗΣ ΜΗΤΡΑΣ.....	109
5.6 ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΝΑΝΟΣΩΛΗΝΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ	110
5.7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	116
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΝΑΝΟΣΩΛΗΝΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ	119
6.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	120
6.2 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ ΣΑΡΩΣΗΣ	120
6.3 ΔΙΑΦΟΡΙΚΗ ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΙΑ ΣΑΡΩΣΕΩΣ	123
6.4 ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ	132
6.5 ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ RAMAN	136
6.6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	147
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	150
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I: ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΥΑΛΩΔΟΥΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΞΗΣ	151
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II: ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ ΣΤΗ ΧΗΜΕΙΑ ΤΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ.....	154
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III: ΕΜΠΟΡΙΚΕΣ ΟΝΟΜΑΣΙΕΣ ΤΩΝ ΚΥΡΙΟΤΕΡΩΝ ΠΟΛΥΜΕ-ΡΙΚΩΝ ΤΗΓΜΑΤΩΝ	159
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV: ΛΕΞΙΚΟ.....	165

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

1

ΠΟΛΥΜΕΡΗ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

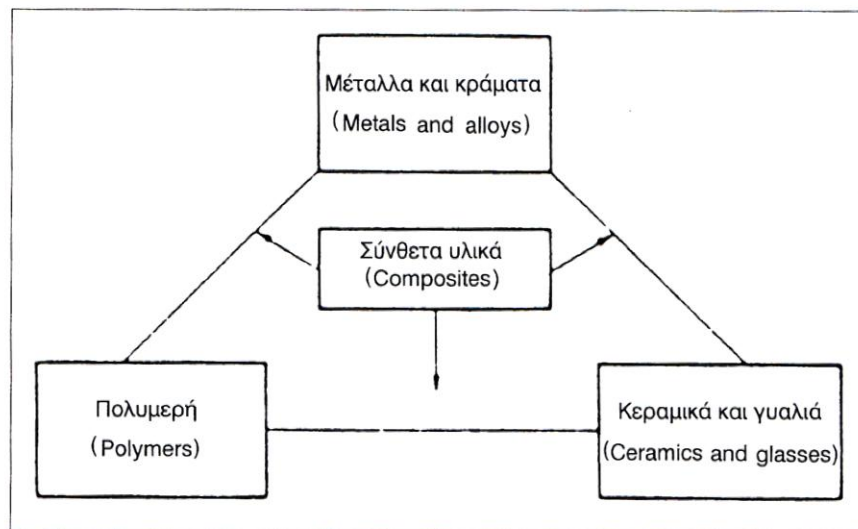
- 1.1 ΓΕΝΙΚΑ
- 1.2 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΥΛΙΚΩΝ
- 1.3 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ
- 1.4 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ
- 1.5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1.1. ΓΕΝΙΚΑ

Τα υλικά ανάλογα με τις τις τεχνολογικές εφαρμογές που καλύπτουν είναι δυνατόν να καταταχθούν στις τρεις κατηγορίες που ακολουθούν:

- Μέταλλα και κράματα (σίδηρος,χάλυβες,νικέλιο,τιτάνιο και κράματα αυτών)
- Μη μεταλλικά ανόργανα υλικά (κεραμικά,γυαλιά,αλουμίνα,τσιμέντο,καρβίδια πυριτίου,νιτρίδια πυριτίου κ.α)
- **Οργανικά Υλικά (Πολυμερή)** (νάυλον,ελαστικά,πολυαιθυλένιο κ.α)

Οι τρεις αυτές κατηγορίες υλικών μπορούν να παρασταθούν στις κορυφές του λεγόμενου τριγώνου των υλικών του Σχήμα 1.1 που ακολουθεί.



Σχήμα 1.1 Οι κατηγορίες των τεχνικών υλικών και η μεταξύ τους σχέση

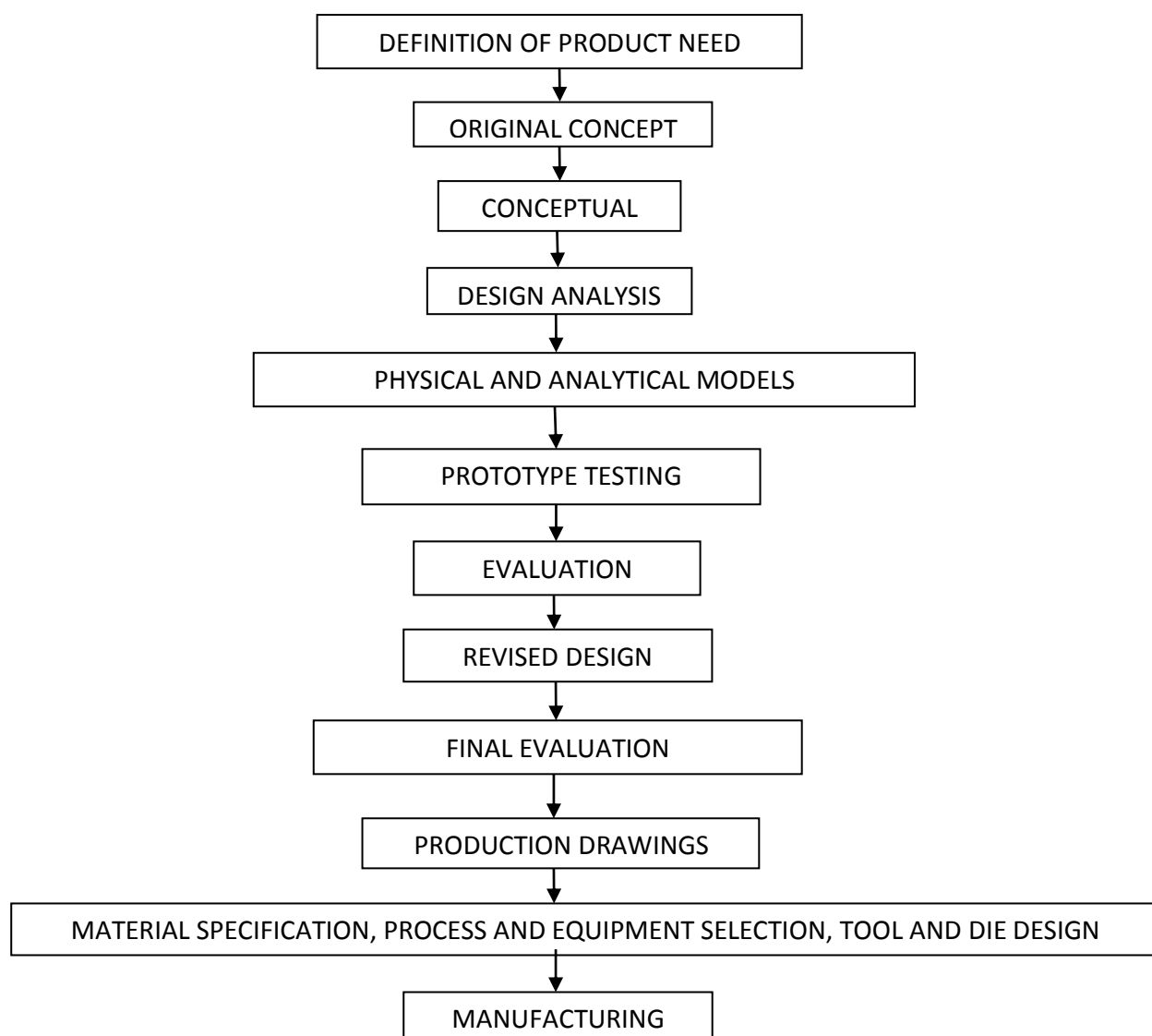
Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο συνδυασμός ανά δύο των κατηγοριών αυτών με αποτέλεσμα τη δημιουργία νέων υλικών που υπερβαίνουν τη προηγούμενη συμβατική ταξινόμηση με αντιπροσωπευτικότερα όλων τα σύνθετα υλικά (composites) .Η ταξινόμηση και η διάκριση των διαφόρων τύπων υλικών γίνεται με βάση ένα σύνολο διακριτών ιδιοτήτων που τα χαρακτηρίζουν. Ο Πίνακας 1.1 που ακολουθεί συνοψίζει τις κύριες ιδιότητες των υλικών:

Πυκνότητα (density)	Μηχανικές Ιδιότητες (Mechanical Properties)
Μέτρο ελαστικότητας (modulus of elasticity)	
Όριο διαρροής (yield strength)	
Αντοχή σε εφελκυσμό (tensile strength)	
Σκληρότητα (hardness)	
Δυσθραυστότητα (fracture toughness)	
Αντοχή σε κόπωση (fatigue strength)	
Αντοχή σε θερμική κόπωση (thermal fatigue strength)	
Αντοχή σε ερπυσμό (creep strength)	
Θερμικές ιδιότητες (thermal properties)	
Οπτικές ιδιότητες (optical properties)	
Μαγνητικές ιδιότητες (magnetic properties)	
Ηλεκτρικές ιδιότητες (electrical properties)	
Οξειδωση (oxidation)	Πιστότητα Επιφάνειας (Surface Integrity)
Διάβρωση (corrosion)	
Τριβή (friction)	
Φθορά (wear)	
Κατεργασιμότητα (manufacturability)	Παραγωγική Διαδικασία (Production Processing)
Σύνδεση (joining)	
Αποπεράτωση (finishing)	
Εμφάνιση (appearance)	Αισθητικές Ιδιότητες (Aesthetic Properties)
Επιφανειακή υφή (texture)	

Πίνακας 1.1 Ιδιότητες τεχνικών υλικών

1.2. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΥΛΙΚΩΝ

Η πλήρης παραγωγική διαδικασία ενός προϊόντος (manufacturing) αποτελείται από μια εξελικτική πορεία πολλών σταδίων μεταξύ των οποίων κυρίαρχο ρόλο διαδραματίζει η επιλογή του υλικού που καθορίζει και την επιλογή του εξοπλισμού (εργαλειομηχανές) αλλά και την ίδια την παραγωγική διαδικασία (κατεργασίες). Στο 0 που ακολουθεί παρουσιάζεται ολόκληρη η διαδικασία σχεδιασμού και παραγωγής ενός τεχνολογικού προϊόντος . Η επιλογή του πλέον κατάλληλου υλικού για μία παραγωγική διαδικασία είναι μια πολύπλοκη λογική διαδικασία η οποία οφείλει να λαμβάνει υπόψη και να συνδυάζει πολλούς και αντιθετικούς παράγοντες όπως για παράδειγμα την δυνατότητα και την ευκολία της κατεργασίας, τον υπάρχοντα εξοπλισμό, το κόστος του υλικού κ.λ.π [1] .



Σχήμα 1.2 Διαδικασία σχεδιασμού και παραγωγής ενός τεχνολογικού προϊόντος [1]

1.3. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ

Η πλήρης παραγωγική διαδικασία ενός προϊόντος (manufacturing) αποτελείται από μια εξελικτική πορεία. Τα πολυμερή αποτελούν τη βάση της δομής όλων των ζωντανών οργανισμών. Οι πρωτεΐνες και οι πολυζαχαρίτες, βασικά δομικά συστατικά των ζωικών και φυτικών κυττάρων και σπουδαιότατη πηγή τροφής πολλών ζωντανών οργανισμών, καθώς και τα νουκλεϊνικά οξέα που ελέγχουν την αναπαραγωγή των κυττάρων είναι πολυμερή. Ωστόσο η κατανόηση της δομής τους έγινε δυνατή μόλις το 1926, όταν ο πρώτος ο Hermann Staudinger απέδειξε ότι είναι ενώσεις που αποτελούνται από μακριές και με τάξη οργανωμένες αλυσίδες (μακρομόρια) και όχι από κolloειδή σωματίδια ή κυκλικές ενώσεις όπως πολλοί επιστήμονες πίστευαν προηγούμενα.

Η διευκρινισμένη δομή των πολυμερών επέτρεψε στη συνέχεια της μελέτης της επίδρασης της μακρομοριακής δομής στις ιδιότητες του υλικού και οδήγησε στην παρασκευή συνθετικών πολυμερών με προκαθορισμένες ιδιότητες, ώστε να δημιουργηθούν νέα υλικά για την αντιμετώπιση συγκεκριμένων ειδικών αναγκών της αγοράς. Το γεγονός αυτό προκάλεσε επανάσταση στη σύγχρονη τεχνολογία. Η αγορά κατακλύστηκε από μία πληθώρα συνθετικών πολυμερών σε διάφορες μορφές, όπως πλαστικά, ίνες, ελαστομερή, επιχρίσματα και κόλλες, τα περισσότερα από τα οποία έχουν ιδιότητες, που δεν παρουσιάζει κανένα φυσικό υλικό. Επομένως δεν είναι καθόλου υπερβολικός ο χαρακτηρισμός που έδωσε για το εικοστό αιώνα ο Ιταλός καθηγητής Giulio Natta: «Αν επρόκειτο να χαρακτηριστεί ο αιώνας μας από τα υλικά που χρησιμοποιούνται περισσότερο, όπως στο παρελθόν η εποχή του Λίθου και η εποχή του Χαλκού, θα έπρεπε να ονομαστεί αιώνας των Πολυμερών».

Ο Giulio Natta μαζί με τον Ελβετό συνάδελφο του Carl Ziegler τιμήθηκαν με το βραβείο Nobel της Χημείας 1963 για την πρωτοποριακή τους εργασία στον πολυμερισμό των ολεφινών και την παραγωγή του γραμμικού πολυαιθυλενίου και του πολυπροπυλενίου.

Πρίν το 1950 και στο απώτερο παρελθόν τα παραδοσιακά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για να καλύψουν τις ανάγκες της καθημερινής ζωής ήταν τα μέταλλα, το γυαλί, το ξύλο, η πέτρα, το τούβλο, το τσιμέντο ως συνδετική ύλη, ενώ το βαμβάκι, το μαλλί, και τα άλλα αγροτικά και κτηνοτροφικά προϊόντα αποτελούσαν την πρώτη ύλη για την παραγωγή ινών, υφασμάτων κ.α. Σήμερα κατακλυζόμαστε από μία πληθώρα νέων υλικών όπως συνθετικές ίνες, πλαστικές τσάντες, πλαστικά χρώματα, αφροί πολυουρεθάνης, έδρανα και διάφορα γρανάζια (οδοντωτοί τροχοί) από νάιλον, μαγειρικά σκεύη επικαλυμμένα με τεφλόν, φιλμ συσκευασίας, συνθετικές κόλλες, βαλβίδες καρδιάς από

σιλικόνη, τεχνητά δόντια και πολλά άλλα, ο πίνακας των εφαρμογών αυτών φαίνεται να μην έχει τέλος. Σε αρκετούς τομείς, τα νέα υλικά έχουν σχεδόν αντικαταστήσει πλήρως τα παραδοσιακά υλικά εξαιτίας βασικών πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν όπως οι μηχανικές αντοχές, η ελαστικότητα, το χαμηλό ειδικό βάρος, η αντοχή στη διάβρωση, η χαμηλή θερμική ηλεκτρική και ηχητική αγωγιμότητα και το χαμηλό κόστος.

Δεν είναι τυχαίο το γεγονός ότι σήμερα πάνω από το 50% των Χημικών και Χημικών Μηχανικών καθώς επίσης και ένας μεγάλος αριθμός Φυσικών και Μηχανολόγων μηχανικών και σχεδόν όλοι οι επιστήμονες και τεχνικοί που εμπλέκονται με τα υλικά ασχολούνται με τα πολυμερή, τα οποία αποτελούν ίσως την σημαντικότερη τάξη στα προηγούμενα υλικά.

Ανατρέχοντας στο παρελθόν, η σχέση του ανθρώπου με τα πολυμερή θα μπορούσε να χωριστεί σε τρεις περιόδους :

- **Πρώτη περίοδος (πριν από το 1839)**

Η περίοδος αυτή χαρακτηρίζεται από τέλεια άγνοια του ανθρώπου για την ύπαρξη μακρομοριακών ενώσεων, παρά το γεγονός ότι χρησιμοποιεί στην καθημερινή ζωή του φυσικά πολυμερή, όπως **το βαμβάκι, λινό μαλλί, μετάξι, δέρμα, χαρτί, γυαλί, φυσικό ελαστικό (καουτσούκ), γουταπέρκα, βαλάτα, σελλάκη κ.α.**

- **Δεύτερη περίοδος : (1839 – 1907)**

Το 1839 οι Goodyear και Hancock ανακαλύπτουν το **βουλκανισμό του φυσικού ελαστικού** και εγκαινιάζει μια νέα εποχή στην οποία ο άνθρωπος τροποποιεί τη δομή τη δομή φυσικών πολυμερών με σκοπό να τα μετατρέψει σε πολύτιμα τεχνολογικά υλικά σύμφωνα με τις ανάγκες του, αγνοώντας ωστόσο πάντα τη μακρομοριακή τους δομή. Από το βουλκανισμό του φυσικού ελαστικού με μεγαλύτερες ποσότητες θείου (30%-50%) παρασκευάζεται λίγο αργότερα ο **εβονίτης**. Μια σκληρή ύλη, που χρησιμοποιήθηκε ευρύτατα για αρκετά χρόνια και κατεργάζεται μόνο με τη βοήθεια κοπτικών εργαλείων όπως του τόννου κ.α.

Την ίδια περίπου εποχή (Schonbein 1846) η μερική νίτρωση της κυτταρίνης επιτρέπει τη διαλυτοποίησή της σε μίγμα αλκοόλης – αιθέρα και την παρασκευή του **κολλοδίου**, που χρησιμοποιείται για την επίδεση τραυμάτων, ως στεγανωτικό υλικό, αλλά κυρίως, για την

παρασκευή της πρώτης τεχνητής ίνας γνωστή ως Rayon (τεχνητό μετάξι) από τροποποιημένη κυτταρίνη (Chardonnet 1889). Επίσης με διάλυση μερικώς νιτρωμένης κυτταρίνης σε αλκοολικό διάλυμα καμφοράς παρασκευάζεται το πρώτο θερμοπλαστικό υλικό, ο **κελουλοϊτής** (celluloid) ή **πλαστικοποιημένη νιτρική κυτταρίνη** (Hyatt, 1968). Λίγο αργότερα παρασκευάζεται η **βισκόζη** (αλκαλικό διάλυμα των ξανθογονικών εστέρων της κυτταρίνης) και μπαίνουν οι βάσεις της βιομηχανικής παραγωγής του μεταξιού με τη μέθοδο της βισκόζης. Ταυτόχρονα το τεχνητό μετάξι παρασκευάζεται και από το διάλυμα κυτταρίνης σε αμμωνιακό διάλυμα οξειδίου του χαλκού (χαλκοαμμωνιακή μέθοδος). Επίσης από τη βισκόζη, με εξώθηση της από τη λεπτή σχισμή και μορφοποίηση της σε φιλμ, λαμβάνεται η **κελοφάνη ή σελοφάν** (cellorhane), το πρώτο υλικό συσκευασίας που παρασκεύασε ο άνθρωπος το (1924).

Την ίδια περίοδο, παρασκευάζονται νέες υφάνσιμες ίνες πρωτεϊνικής φύσεως (**λανιτάλη**) για την αντικατάσταση του μαλλιού, από αναγέννηση αλκαλικού διαλύματος της καζεΐνης του γάλακτος με οξίνιση (υγρή ινοποίηση). Οι ίνες αυτές στην συνέχεια κατεργάζονται με φορμαλδεΐδη, οπότε από την αντίδραση της φορμαλδεΐδης με τις αμινοομάδες διαφορετικών μακρομορίων δημιουργούνται σταυροδεσμοί (μεθυλενικές γέφυρες) που αυξάνουν την αντοχή των ινών. Με ανάλογο τρόπο παρασκευάζεται από την καζεΐνη ο **γαλάλιθος**, σκληρό πλαστικό προϊόν, που χρησιμοποιείται σε αντικατάσταση του ελεφαντόδοντου για την κατασκευή κουμπιών, ζαριών, διαφόρων παιγνιδιών, κοσμημάτων κ.α.

Παρά τις σημαντικές αυτές ανακαλύψεις οι επιστήμονες αγνοούσαν παντελώς την ύπαρξη μακρομοριακών ενώσεων. Το 1861 ο T. Graham μελετώντας τη συμπεριφορά ορισμένων φυσικών πολυμερών σε διάλυμα, παρατήρησε ότι η συμπεριφορά ορισμένων φυσικών πολυμερών σε διάλυμα, παρατήρησε ότι αυτά δείχνουν πολύ χαμηλή σχεδόν αμελητέα ταχύτητα διάχυσης, δεν διαπερνούν ημιπερατές μεμβράνες και δεν μπορούν να κρυσταλλωθούν. Τα διαλύματα αυτά, που δεν παρουσιάζουν τις συνηθισμένες ιδιότητες των διαλυμάτων, τα ονόμασε «κολλοειδή διαλύματα» ή απλώς «κολλοειδή» (από την ελληνική λέξη κόλλα) ενώ τα διαλύματα από τα οποία η διαλυμένη ουσία μπορεί να ληφθεί σε κρυσταλλική μορφή «κρυσταλλοειδή». Στα κολλοειδή διαλύματα τα μόρια της ουσίας ενώνονται μεταξύ τους με διαμοριακές δυνάμεις van der Waals και σχηματίζουν κολλοειδή σωματίδια διαστάσεων 1-1000 nm. Αργότερα διαπιστώθηκε ότι κολλοειδή διαλύματα σχηματίζουν και άλλα υλικά, όπως ανόργανα άλατα, σωματίδια χρυσού, σάπωνες, ταννικό οξύ κ.α. των οποίων η δομή είναι τελείως διαφορετική από αυτή των φυσικών πολυμερών.

Πολλοί επιστήμονες πίστευαν λοιπόν τότε ότι το φυσικό ελαστικό, η κυτταρίνη το άμυλο και οι πρωτεΐνες είναι κολλοειδή. Αξίζει μάλιστα να σημειωθεί ότι χαρακτήριζαν την φυσική συσσωμάτωση των μορίων κατά ομάδες ως πολυμερισμό και το κολλοειδές σωματίδιο που προκύπτει ως πολυμερές (polymer από τις ελληνικές λέξεις πολύ και μέρος) εφόσον αποτελείται από πολλά μέρη. Ήταν πολύ δύσκολο να φανταστούν την εποχή εκείνη ότι τα μόρια μπορεί να ενώνονται μεταξύ τους με ομοιοπολικούς δεσμούς και να σχηματίζουν γιγαντιαία μόρια (μακρομόρια). Αυτό ήταν απόλυτα δικαιολογημένο, γιατί πριν την δουλειά του Raoult και του Van Hoff τη δεκαετία του 1880, δεν υπήρχαν μέθοδοι για τον προσδιορισμό του μοριακού βάρους της διαλυμένης ουσίας. Όταν αναπτύχθηκαν πειραματικές μέθοδοι και εφαρμόστηκαν σε δείγματα φυσικού ελαστικού και αμύλου, προσδιορίστηκαν μοριακά βάρη από 10.000 μέχρι 40.000. οι τιμές αυτές μαρτυρούσαν την ύπαρξη των μεγάλων μορίων, οι επιστήμονες όμως δεν δέχονταν αυτή την πιθανότητα για δύο κύριους λόγους. Πρώτον, διότι είχε παρατηρηθεί ότι όταν μία ένωση με τελείως διευκρινισμένη δομή βρεθεί σε κολλοειδή κατάσταση, το μοριακό βάρος που παρουσιάζει είναι πολύ μεγαλύτερο από το πραγματικό, άρα ο νόμος του Raoult δεν ισχύει για τα κολλοειδή συστήματα. Δεύτερον, τις δεκαετίες του 1890 και 1900 ήταν πολύ δημοφιλής η θεωρία των συμπλοκών συναρμογής και της συνένωσης των μικρών μορίων σε φυσικά συσσωματώματα.

▪ Τρίτη περίοδος (από το 1907 μέχρι και σήμερα)

Η εποχή αυτή χαρακτηρίζεται από την παρασκευή των πρώτων συνθετικών πολυμερών και την διευκρίνιση της δομής τους. Το 1907 ο Baekeland παρασκεύασε το πρώτο συνθετικό πολυμερές, με συμπύκνωση περίσσειας φαινόλης και φορμαλδεΐδης σε όξινο περιβάλλον. Η συμπύκνωση της φαινόλης με τη φορμαλδεΐδη ήταν γνωστή στους οργανικούς χημικούς της εποχής εκείνης, δεν ήταν όμως γνωστή ή έννοια της δραστηριότητας (functionality), δηλαδή ότι η φαινόλη είναι τριδραστική ένωση, ενώ η φορμαλδεΐδη διδραστική. Η χρησιμοποίηση από τον Baekeland ελεγχόμενων ποσοτήτων φαινόλης – φορμαλδεΐδης, οι οποίες μάλιστα χρησιμοποιούνται ακόμη και σήμερα, αποδεικνύει ότι γνώριζε τη δραστικότητα τους. Δεν υπάρχουν όμως αποδείξεις, που να βεβαιώνουν ότι γνώριζε και τη δομή του βακελίτη (bakelite), δηλαδή του προϊόντος που παρασκεύασε.

Η Τρίτη περίοδος σημαδεύτηκε στη συνέχεια από τρία συνέδρια στα οποία μπήκαν οι βάσεις για την ανάπτυξη της επιστήμης των πολυμερών. Το πρώτο έγινε το 1926 στο

Ντίσελντορφ, όπου ο H. Staudinger απέδειξε την ύπαρξη των μακρομορίων. Τόση ήταν η εντύπωση που δημιούργησε στους εκατοντάδες συνέδρους, που κάποιος τόνισε: «Εντυπωσιαζόμαστε τόσο όσο θα συνέβαινε στους ζωολόγους, αν θα άκουγαν ότι κάπου στην Αφρική βρέθηκε ελέφαντας που έχει μήκος 500 και ύψος 200 μέτρα».

Από τότε χρειάστηκε να περάσει μία δεκαετία για να γίνει συνείδηση ή έννοια του μακρομόριου, οπότε το 1936 στο συνέδριο που έγινε στο Κέιμπριτζ όχι μόνο δεν υπήρξε αμφισβήτηση γύρω από την ύπαρξη των μακρομορίων, αλλά το μεγαλύτερο μέρος των εισηγήσεων αναφερόταν πλέον στη μελέτη του μηχανισμού των αντιδράσεων πολυμερισμού, σε μεθόδους προσδιορισμού του μοριακού βάρους, στην σύνθεση και μελέτη των ιδιοτήτων νέων πολυμερών και των πεδίων εφαρμογής τους. Στο συνέδριο αυτό ξεχώρισε η φυσιογνωμία του W. Carothers ο οποίος ανέπτυξε τα αποτελέσματα της δεκάχρονης ερευνητικής του δουλειάς στο πεδίο των πολυμερών.

Τέλος μία δεκαετία αργότερα, δηλαδή το 1947 η IUPAC οργάνωσε το πρώτο συνέδριο πολυμερών στη Λιέγη. Στο συνέδριο αυτό η Χημεία των Πολυμερών (Polymer Chemistry) καθιερώθηκε ο ξεχωριστός κλάδος της Χημείας. Ωστόσο σήμερα αναγνωρίζεται ότι η Χημεία των Πολυμερών δεν αποτελεί απλά Κλάδο της παραδοσιακής Χημείας, αλλά μια ευρύτερη περιοχή της επιστήμης, η οποία περιλαμβάνει όλη τη Χημεία και αρκετά άλλα επιστημονικά πεδία αφού τα πολυμερή εκτός από χημικές ουσίες είναι ταυτόχρονα υλικά. Η επιστήμη των πολυμερών (polymer science) στηρίζεται στις αρχές της ανόργανης, οργανικής, φυσικής και αναλυτικής χημείας, αλλά και της φυσικής, μηχανικής και της βιολογίας. Ένας επιστήμονας για να ασχοληθεί με θέματα της επιστήμης των πολυμερών πρέπει να μπορεί να συνδυάσει γνώσεις από όλα τα παραπάνω πεδία που αναφέρθηκαν. Οι μακρομοριακές ενώσεις παρουσιάζουν ιδιότητες οι οποίες εμφανίζονται να αψηφούν τους κλασσικούς νόμους της Χημείας και της Φυσικής. Η σύνθεση των πρώτων πολυμερών, όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 1.2, ήταν υπόθεση ορισμένων εμπνευσμένων ερευνητών, όμως τα τελευταία τριάντα χρόνια η κατευθυνόμενη έρευνα για την παραγωγή νέων υλικών πραγματοποιείται στα μεγάλα βιομηχανικά ή ερευνητικά εργαστήρια εξαιτίας της ανάγκης παρασκευής νέων ειδών πλαστικών, ελαστικών, κολλητικών ουσιών, ινών και επιχρισμάτων (χρώματα, βερνίκια), ενώ η επιστήμη των πολυμερών εδραιώνεται στην ακαδημαϊκή κοινότητα αρκετά αργότερα.

Η ανάπτυξη της επιστήμης των πολυμερών υπήρξε ραγδαία και συνέβαλε σημαντικά στην αλματώδη ανάπτυξη που παρατηρήθηκε τα τελευταία χρόνια στην **«επιστήμη των υλικών» (materials science)** καθώς επίσης στη βιοχημεία, βιοφυσική και μοριακή βιολογία [2].

Έτος	Πολυμερές	Ερευνητής
1839	Παράγεται το πρώτο τροποποιημένο φυσικό πολυμερές	
1839	Βουλκανισμένο καουτσούκ	Goodyear, Hancock
1846	Νιτρική κυτταρίνη	Schonbein
1868	Κελουλοϊτή	Chardonnet
1889	Ίνες αναγεννημένης κυτταρίνης	Hyatt
1890	Ίνες ραιγιόν (μέθοδος χαλκαμμωνίας)	Despeisses
1890	Πλαστικά καζεΐνης φορμαλδεΐδης	Kriesche, Spitteler
1892	Ίνες ραιγιόν (μέθοδος βισκόζης)	Cross, Bevan, Beadle
1907	Παράγεται το πρώτο συνθετικό πολυμερές	
1907	Βακελίτης	Baekeland
1919	Όξινη κυτταρίνη	C.and H. Dreyfus
1927	Αλκυδικές ρητίνες	Kienle
1929	Ελαστομερή Thiokol	Patrick
1930	Πολυστυρένιο	Staudinger
1930	Γενική αποδοχή της έννοιας του μακρομόριου	
1931	Ακρυλικά	Rohm
1939	Μελαμίνη	Henkel
	Διακλαδωμένο πολυαιθυλένιο	Fawcett, Gibson
	Νάιλον -6,6	Carothers
1941	Πολυτετραφθοροαιθυλένιο	Plunkett

1942	Ακόρεστοι πολυεστέρες	Ellis, Rust
1943	Πολυουρεθάνες	Bayer
	Νάιλον-6	Schlack
	Σιλικόνες	Rochow, Hyde, Andrianov
1944	Πολύ(τερεφθαλικός αιθυλενεστέρας)	Whinfield, Dickson
1946	Ρητίνες ABS	-
1947	Εποξειδικές ρητίνες	Castan, Greenlee
1956	Γραμμικό πολυαιθυλένιο	Ziegler, Hogan
1957	Πολυπροπυλένιο	Natta
1959	Πολυακετάλες	Staudinger, McDonald
	Πολύ (ανθρακικοί εστέρες)	Schnell, Fox
1961	Πολυβενζιμιδαζόλια	Vogel, Marvel
1964	Πολυαμίδια	Sroog
	Ιοντομερή	Rees
1966	πολυφαινυλενοξειδίο	Hay
	Αραμίδια	Morgan
1968	Πολυφαινυλενοσουλφίδιο	Philips Petroleum
1970	Πολύ(τερεφθαλικός βουτυλενεστέρας)*	-

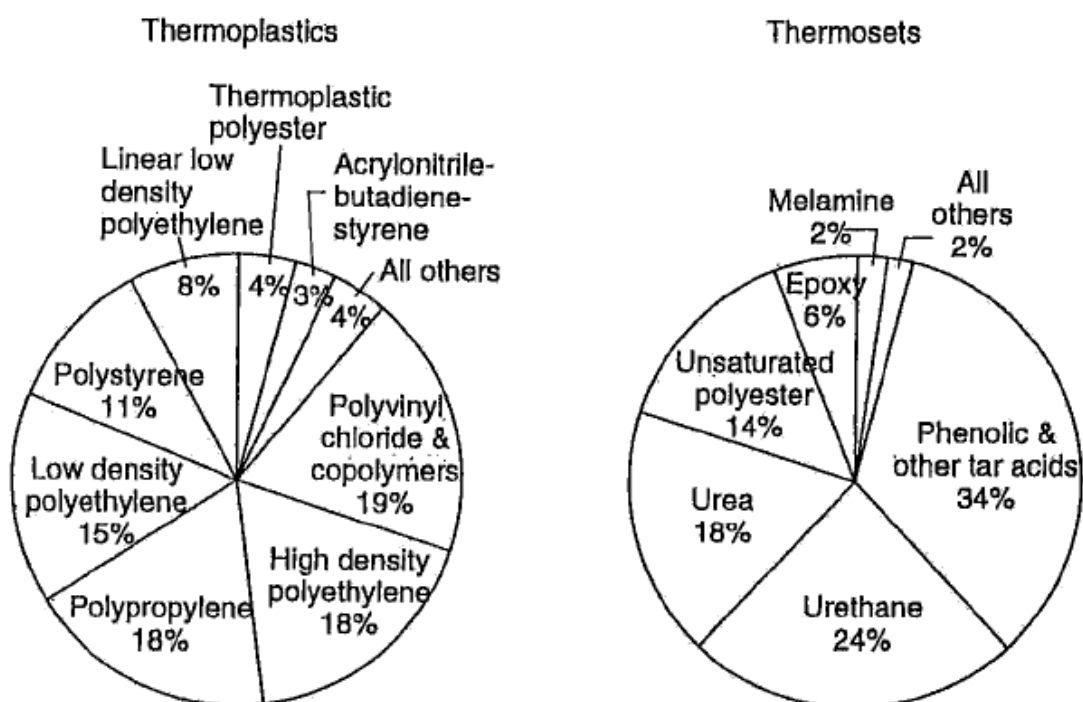
Πίνακας 1.2 Χρονολογίες ορόσημα στην εξέλιξη της επιστήμης των πολυμερών.

(*) Πολύ(τερεφθαλικός βουτυλενεστέρας) άρχισε να παράγεται σχεδόν ταυτόχρονα από μία πλειάδα μεγάλων εταιρειών αμέσως μετά την εκπνοή της πατέντας για τους καταλύτες της παραγωγής του πολυ(τερεφθαλικού αιθυλενεστέρα).

1.4. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ

Τα πάνω από 18.000 διαφορετικά είδη πολυμερών που υπάρχουν σήμερα μπορούμε να τα διαχωρίσουμε σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Στα θερμοπλαστικά και στα θερμοσκληρυνόμενα. Εκτενής αναφορά στις δυο αυτές κατηγορίες γίνεται στο κεφάλαιο της επιστήμης των πολυμερών.

Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία της τελευταίας εικοσαετίας είναι γνωστό ότι κατά το έτος 1993 η παραγωγή θερμοπλαστικών καλύπτει το 90% της συνολικής παραγωγής πολυμερών ενώ δύο χρόνια αργότερα το 1995 η παραγωγή αυτή μειώνεται στο 83%. Στο γράφημα που ακολουθεί φαίνεται η κατανομή της παραγωγής θερμοπλαστικών και θερμοσκληρυνόμενων πολυμερών στις Η.Π.Α.

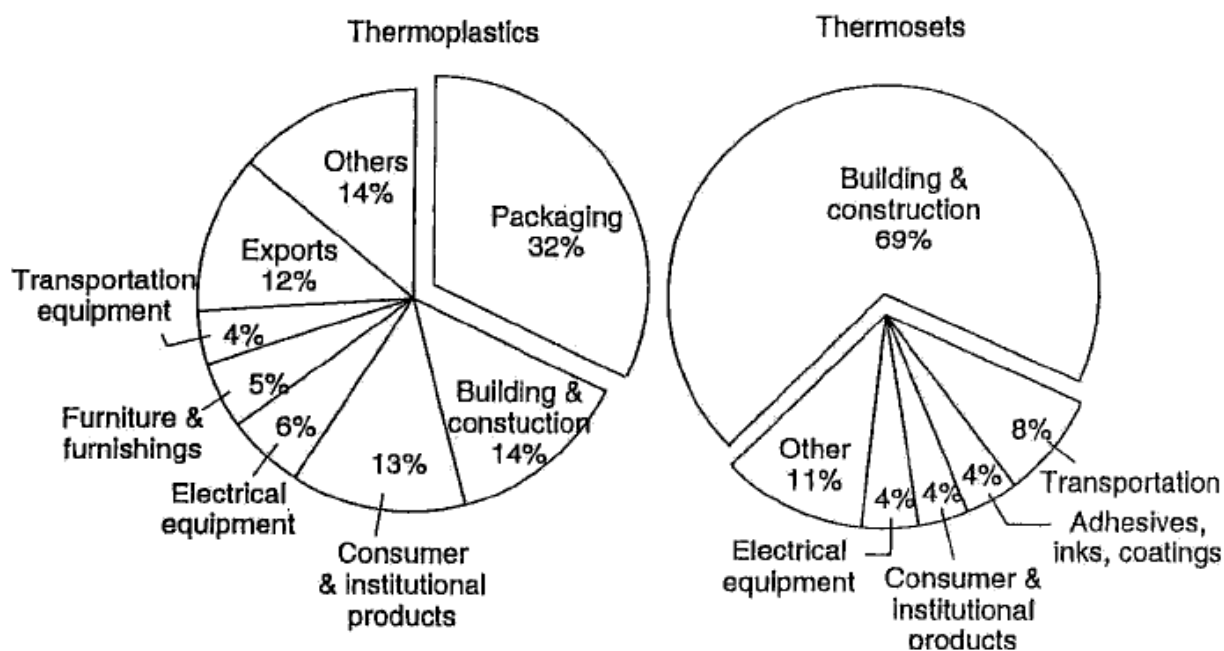


Σχήμα 1.3 Διαχωρισμός της παραγωγής πολυμερών σε κατηγορίες

Το μεγαλύτερο κομμάτι της παραγωγής των θερμοπλαστικών περίπου το 32% χρησιμοποιείται στη βιομηχανία της συσκευασίας ενώ σχεδόν το ήμισυ του παραπάνω

ποσοστού δηλαδή 14% χρησιμοποιείται στη βιομηχανία των κατασκευών και μόλις το 4% χρησιμοποιείται στο εξοπλισμό μεταφορικών μέσων.

Από την άλλη μεριά το 69% της παραγωγής των θερμοσκληρυνόμενων υλικών χρησιμοποιείται στους τομείς των κατασκευών κτιριακών και βιομηχανικών εγκαταστάσεων και ακολουθεί το 8% της παραγωγής των το θερμοσκληρυνόμενων που καλύπτει τις ανάγκες του κλάδου των μεταφορών.



Σχήμα 1.4 Διαχωρισμός παραγωγής πολυμερών ανάλογα με τις εφαρμογές που καλύπτουν

Η ετήσια παγκόσμια παραγωγή πολυμερών παρουσιάζει μια σταθερά ανοδική πορεία από τις αρχές του προηγούμενου αιώνα μέχρι σήμερα. Το διάγραμμα του Σχήμα 1.3 παρουσιάζει την αύξηση της ετήσιας παραγωγής πολυμερών σε εκατομμύρια τόνου. Στις αναπτυγμένες χώρες η παραγωγή πολυμερών έχει συναντήσει μια σχετικά μικρή μείωση παρ'όλα αυτά στις αναπτυσσόμενες χώρες τις Ασίας και της Νοτίου Αφρικής η αύξηση της παραγωγής των πολυμερών λαμβάνει γιγαντιαίες διαστάσεις. Το διάγραμμα του σχήματος 1.4 παρουσιάζει την παραγωγή των πολυμερών στην Κίνα, την Κολομβία και τις Η.Π.Α υπό την επίδραση πάντα διαφορετικών κοινωνικών και οικονομικών συνθηκών [3].

1.5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΒΙΒΛΙΑ

- 1) Αθανάσιος Γ. Μάμαλης ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π ,”Τεχνολογία των κατεργασιών των υλικών : Μεταλλικά Τεχνικά Υλικά ”,Εκδόσεις “Φοίβος” (1997).
- 2) Γ.Καραγιαννίδης, Ε.Σιδερίδου,“Χημεία των Πολυμερών”, Β’ Έκδοση, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη (2006).

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΑ ΒΙΒΛΙΑ

- 3) Tim.A.Osswald,George Menges, “Materials Science of Polymers for Engineers”,Hanser Publisher,New York.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

2

ΧΗΜΕΙΑ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

- 2.1 ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΠΟΛΥΜΕΡΗ
- 2.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ
 - 2.2.1 ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ
 - 2.2.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ
- 2.3 ΔΕΣΜΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ
- 2.4 ΜΙΚΡΟΔΟΜΗ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ
- 2.5 ΜΟΡΙΑΚΑ ΒΑΡΗ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ
- 2.6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

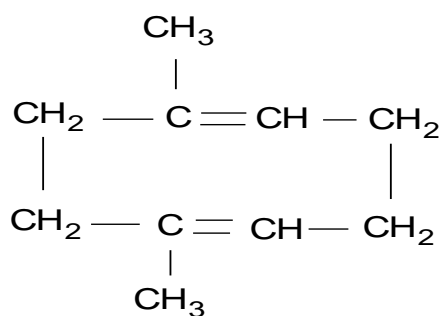
2.1 ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΠΟΛΥΜΕΡΗ

Ορισμένες εποχές ονομάσθηκαν από τα υλικά που έφεραν επανάσταση στην καθημερινή ζωή των ανθρώπων. Έτσι π.χ. έχουμε την εποχή του σιδήρου, την εποχή του ορείχαλκου κ.λ.π. Αν κανείς σήμερα ήθελε να δώσει όνομα στην εποχή μας θα την έλεγε αναμφισβήτητα «εποχή των πλαστικών». Πραγματικά, η ανάπτυξη της επιστήμης των πολυμερών ήταν εκθετική συνάρτηση του χρόνου, με καταπληκτική ένταση στα τελευταία 20 χρόνια.

Θα ήταν σκόπιμη μία σύντομη αναδρομή από τα πρώτα αβέβαια βήματα της «μη στηριζόμενης επί επιστημονικής βάσεως βιομηχανίας πλαστικών» ως την μοντέρνα «μακρομοριακή μηχανική» η οποία πέτυχε να παρασκευάσει πολυμερή με εντελώς προκαθορισμένες ιδιότητες.

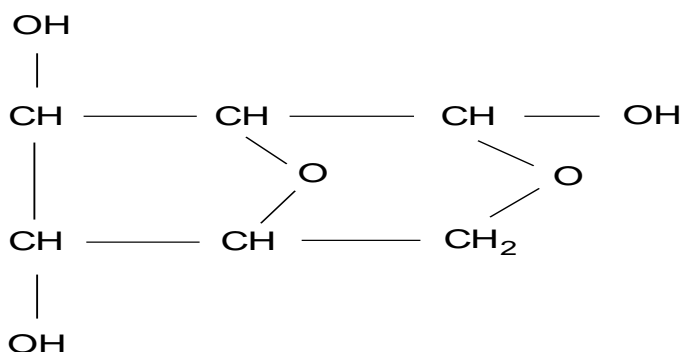
Πριν από 100 περίπου χρόνια, οι χημικοί αναγνώρισαν ότι οι ιδιάζουσες ιδιότητες των πολυμερών, όπως π.χ. η ελαστικότητα του καουτσούκ και η πλαστικότητα του κελλουλοΐτη ήταν αποτέλεσμα του μεγάλου μεγέθους του μορίου τους. Στην αρχή πίστεψαν ότι τα πολυμερή είναι συσσωματώματα μικρών μορίων και τα ονόμασαν «κolloειδή» για να τα διακρίνουν από τα κρυσταλλικά σώματα.

Για το καουτσούκ π.χ. πίστευαν ότι αποτελείται από συσσωματώματα διμεθυλοκυκλοοκταδιενίου.



Σχήμα 2.1 Διμεθυλοκυκλοοκταδιενίου.

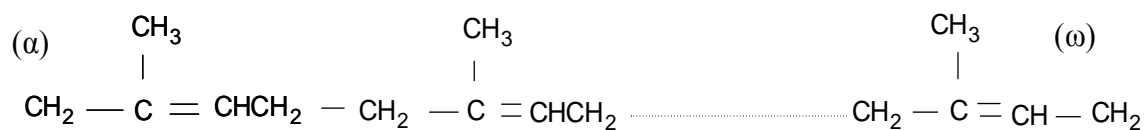
Ενώ για την κυτταρίνη πίστευαν ότι αποτελείται από συσσωματώματα της παρακάτω κυκλικής ένωσης:



Σχήμα 2.2 Κυκλική ένωση (κολλοειδές) που θεωρείτο βασικό μονομερές της κυτταρίνης.

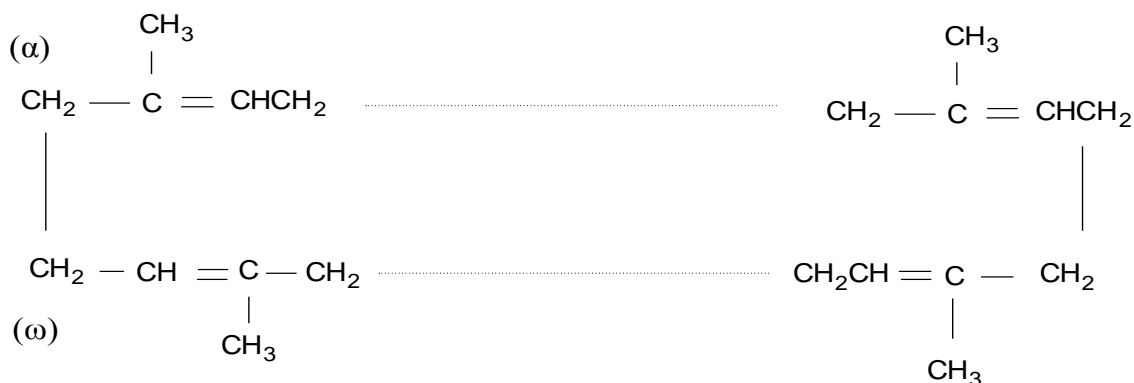
Την υπόθεση των «κολλοειδών» απέκρουσε πρώτος ο H.Straudinger το 1920 με την εισαγωγή της έννοιας των μακρομορίων. Η έννοια του μακρομορίου δεν έγινε αμέσως παραδεκτή κυρίως γιατί δεν μπορούσε να γίνει αντιληπτός ο τρόπος κορεσμού των ακραίων ατόμων του άνθρακα του μακρομορίου [1].

Ο ίδιος ο H.Straudinger , στην περίπτωση του καουτσούκ , πίστευε ότι οι δύο ακραίοι άνθρακες του μακρομορίου (α) και (ω) είχαν μόνο 3 σθένη αντί των τεσσάρων. Την εξασθένιση του 4^{ου} σθένους την απέδιδε στο μεγάλο μέγεθος του μορίου.



Σχήμα 2.3 Αρχική υπόθεση του H.Straudinger για την δομή του καουτσούκ.

Αργότερα ο H. Straudinger , για να εξηγήσει τον τρόπο κορεσμού των ακραίων ατόμων του άνθρακα, εισήγαγε την έννοια των μακροκύκλων. Στην περίπτωση αυτή οι ακραίοι άνθρακες ενώνονται μεταξύ τους και έτσι συμπληρώνεται το τέταρτο σθένος τους.



Σχήμα 2.4 Εισαγωγή της έννοιας των μακροκύκλων από τον H. Straudinger για την συμπλήρωση του τέταρτου σθένους του άνθρακα.

Η απορία του τρόπου κορεσμού των ακραίων ανθράκων υπήρχε μέχρι το 1937 που ο Flory απέδειξε , ότι οι ακραίοι άνθρακες έχουν κανονικά τέσσερα σθένη , με την εξακρίβωση του μηχανισμού του πολυμερισμού προσθήκης. Ο Flory απέδειξε ότι το τέταρτο σθένος των ακραίων ανθράκων συμπληρώνεται με ομάδες -R. Στην περίπτωση π.χ. του καουτσούκ το μακρομόριο του έχει την εξής δομή:



Σχήμα 2.5 Η χημική δομή του καουτσούκ κατά τον Flory (1937) με την εξακρίβωση του μηχανισμού του πολυμερισμού προσθήκης.

Οι Straudinger και Flory θεωρούνται οι πατέρες της επιστήμης των πολυμερών και για την όλη τους συμβολή στα πολυμερή τιμήθηκαν με το βραβείο Nobel Χημείας, ο πρώτος το 1954 και ο δεύτερος το 1974.

Αν και η χημική φύση των πολυμερών άρχισε να γίνεται αντιληπτή από το 1920 η βιομηχανία των πλαστικών άρχισε πολύ νωρίτερα, το 1829, με τη χρησιμοποίηση του καουτσούκ στην παρασκευή ελαστικών σβυστήρων.

Το 1839, ο Charles Goodyear στο Akron του Ohio ανακαλύπτει τελείως τυχαία του βουλκανισμό του καουτσούκ και το 1851 αρχίζει η βιομηχανία του σκληρού καουτσούκ, του εβονίτη για την Παρασκευή διαφόρων συμπαγών, και όχι μόνο ελαστικών προϊόντων.

Το 1920 παράγεται ο πολύ (οξικός βινυλεστέρας), το 1927 το πολύ (βινυλοχλωρίδιο), το 1931 τα πολυακρυλικά πολυμερή, το 1937 το πολυστυρένιο και το 1938 το Nylon -6,6 από τον Carothers.

Από τότε η εξέλιξη της βιομηχανίας των πλαστικών είναι καταπληκτική και τα πλαστικά τείνουν να αντικαταστήσουν όλα σχεδόν τα συμβατικά υλικά π.χ. γυαλί (πολυακρυλικά πολυμερή), μέταλλα (πολυαιθυλένιο, πολυπροπένιο, Teflon κ.λ.π.) ξύλο (πολυβινυλοχλωρίδιο) κ.λ.π. σε όλους τους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας, όπως π.χ. κατασκευή κτηρίων, μηχανημάτων, συσκευασία τροφίμων κ.λ.π. Αυτό οφείλεται στο ότι τα πλαστικά παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα όπως π.χ. αντοχή, μικρό βάρος, χαμηλό κόστος, αντοχή στην θραύση κ.λ.π.

Βέβαια εκτός από τα πλεονεκτήματα τα πλαστικά έχουν και ορισμένα μειονεκτήματα:

(Α) Αναφλέγονται εύκολα με σύγχρονη παραγωγή αερίων όπως π.χ. HCN (πολυουρεθάνες), HCl (πολυβινυλοχλωρίδιο), SO₂ (βουλκανισμένο καουτσούκ). Ο λόγος αυτός έκανε μερικά κράτη να βάλουν όρια στη χρησιμοποίηση πλαστικών στις κατασκευές κτηρίων.

(Β) Παράγονται από ουσίες τοξικές π.χ. το πολυβινυλοχλωρίδιο παράγεται από το καρκινογόνο αέριο βινυλοχλωρίδιο. Αν μετά την παρασκευή του πολυμερούς δεν γίνει επιμελής απομάκρυνση του εγκλωβισμένου καρκινογόνου βινυλοχλωριδίου, αυτό μπορεί να μεταφερθεί στις συσκευασίες (π.χ. πλαστικά μπουκάλια λαδιού) και από εκεί στο τρόφιμο [2]. Ο λόγος αυτός ώθησε ορισμένα κράτη να απαγορεύσουν τη χρησιμοποίηση του πολυβινυλοχλωριδίου για την κατασκευή δοχείων συσκευασίας τροφίμων.

(Γ) Είναι προβληματική η διάθεσή τους γιατί δεν καταστρέφονται εύκολα (ρύπανση περιβάλλοντος).

Τα διάφορα πλαστικά που κυκλοφορούν στο εμπόριο, είναι πολύπλοκα μίγματα πολυμερών και άλλων υλικών, που σκοπό έχουν να βελτιώσουν τις βασικές ιδιότητες και να μειώσουν το κόστος των πολυμερών.

Η τυπική σύνθεση π.χ. ενός πλαστικού με βασικό υλικό το τυχαίο συμπολυμερές πολύ (βινυλοχλωρίδιο – co – οξικός βινυλεστέρας), που χρησιμοποιείται για επικάλυψη πατωμάτων, είναι η παρακάτω:

Συμπολυμερές (βασικό υλικό)	100 μέρη βάρ
Φθαλικός διοκτυλεστέρας (πλαστικοποιητές)	30 μέρη βάρ
Χλωριομένος υδρογονάνθρακας (δευτερ. Πλαστ)	15 μέρη βάρ
Ανθρακικό ασβέστιο (πληρωτικό υλικό)	150 μέρη βάρ
Τάλκης (πληρωτικό υλικό)	150 μέρη βάρ
Οργανικά άλατα Cd/Ba (σταθεροποιητής)	3 μέρη βάρ
Στεατικό ασβέστιο (λιπαντικό – σταθερ)	1 μέρη βάρ
Χρώμα : ανάλογα με τις απαιτήσεις.	

Πίνακας 2.1 Τυπική σύνθεση πλαστικού με βασικό υλικό τυχαίο συμπολυμερές.

Οι πλαστικοποιητές αυξάνουν την ευκαμψία και την αντοχή σε κρούση του πολυμερούς

Τα υλικά πληρώσεως ελαττώνουν το κόστος του συμπολυμερούς.

Οι σταθεροποιητές προστατεύουν το μακρομόριο από την αποικοδόμηση (στην προκείμενη περίπτωση την απόσπαση HCl και το σπάσιμο των δημιουργουμένων διπλών δεσμών).

Το λιπαντικό βοηθάει στην ελάττωση της τριβής μεταξύ συμπολυμερούς και μηχανών κατεργασίας.

Τέλος το χρώμα χρησιμοποιείται για να δώσει τον κατάλληλο χρωματισμό στο άχρωμο πολυμερές.

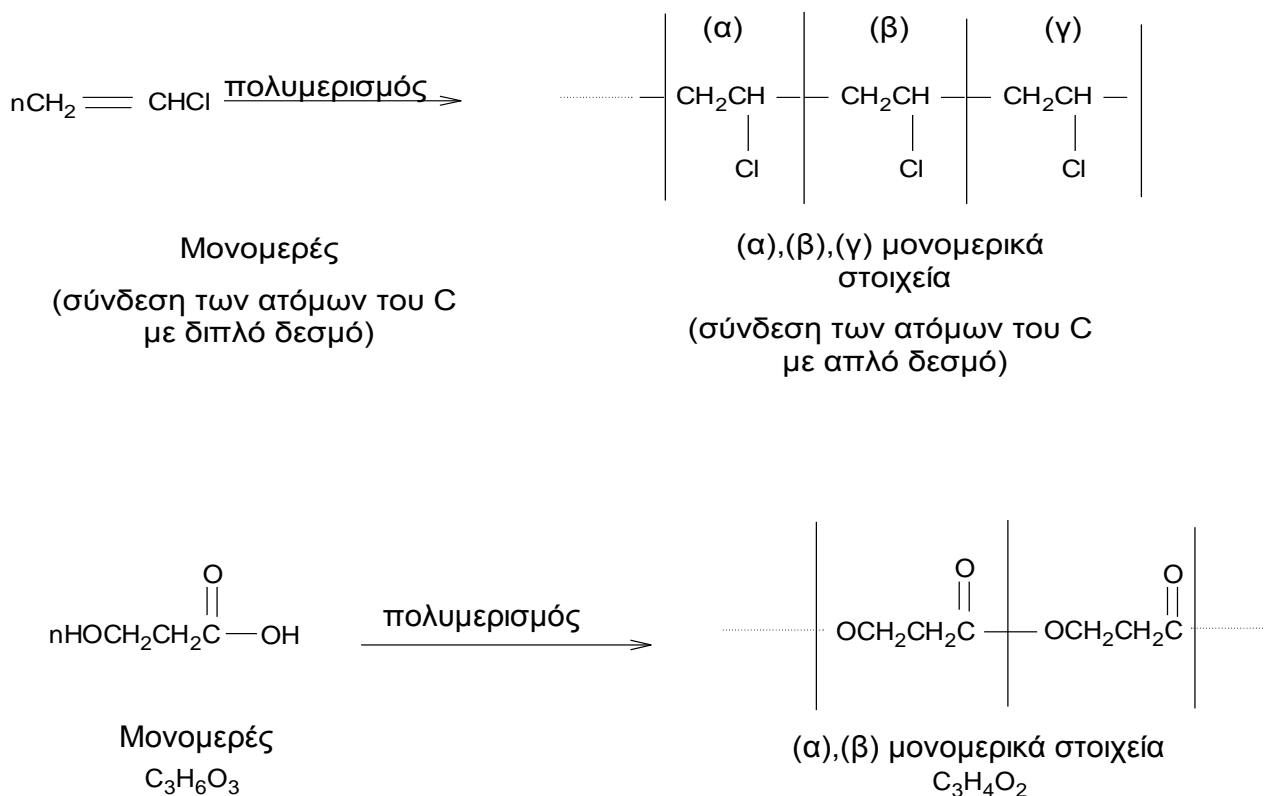
Επομένως το πολυμερές (πολλές φορές στην βιομηχανία ονομάζεται και ρητίνη – resin) είναι μια καθαρή χημική ένωση (μακρομόριο), ενώ το πλαστικό είναι συνήθως μίγμα πολυμερούς (ή συμπολυμερούς) και άλλων υλικών.

2.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

Ένα πολυμερές (polymer) ή ένα μακρομόριο (mac molecule) είναι ένα μεγάλο μόριο κατασκευασμένο από την επανάληψη μικρών δομικών μονάδων οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους με ομοιοπολικούς δεσμούς. Συνήθως ο όρος «μακρομόριο» ή «πολυμερές» δίνεται σε μόρια με περισσότερες από δέκα δομικές μονάδες. Τα μόρια με λιγότερες από δέκα δομικές μονάδες ονομάζονται ολιγομερή (oligomers).

Οι ενώσεις από τις οποίες προέρχονται τα πολυμερή λέγονται μονομερή (monomers).

Τα μονομερή και οι δομικές μονάδες (repeating units) ή μονομερικά στοιχεία (monomeric units) διαφέρουν είτε στον τρόπο συνδέσεως, είτε στον αριθμό των ατόμων τους π.χ.



Σχήμα 2.6 Απλές αντιδράσεις πολυμερισμού.

Ο αριθμός των μονομερικών στοιχείων του μακρομορίου ονομάζεται βαθμός πολυμερισμού και δίνεται από την εξίσωση:

$$X = \frac{\text{μοριακό βάρος πολυμερούς}}{\text{μοριακό βάρος μονομερικού στοιχείου}} = \frac{M}{M_0}$$

Συνήθως ο βαθμός πολυμερισμού των συνθετικών πολυμερών βρίσκεται μεταξύ 100 και 10.000.

2.2.1 ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ

Υπάρχουν τρία συστήματα ονοματολογίας των πολυμερών.

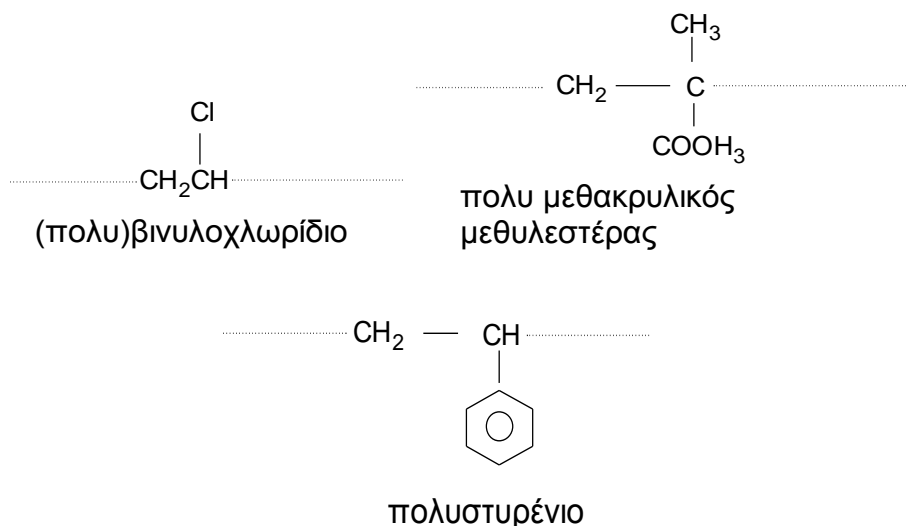
A) Το πρώτο σύστημα βασίζεται στα εμπορικά ονόματα (trade names) των πολυμερών , π.χ. το πολυμερές που παράγεται από τερεφθαλικό οξύ και αιθυλενογλυκόλη ονομάζεται terylene, το πολυμερές που προέρχεται από το πολυμερισμό του στυρενίου ονομάζεται dylene, dilete, fostarene και το πολυμερές που προέρχεται από το πολυμερισμό του μεθακρυλικού μεθυλεστέρα ονομάζεται plexiglass, diacon κλπ. Το σύστημα αυτό δεν είναι ευκολόχρηστο γιατί δεν έχει καμία επιστημονική βάση.

Σε ορισμένες περιπτώσεις μία εμπορική ονομασία έγινε γεννεσιουργός όρος για την ονομασία μιας ολόκληρης τάξης πολυμερών πχ. το nylon, για τα αλειφατικά πολυαμίδια.

Έτσι τα αλειφατικά πολυαμίδια ονομάζονται nylon – m,n όπου m και n ο αριθμός των ατόμων άνθρακα της διαμίνης και του διοξέος αντίστοιχα πχ. το πολυαμίδιο που προέρχεται από την εξαμεθυλενοδιαμίνη και το αδιπικό οξύ, ονομάζεται nylon – 6,6.

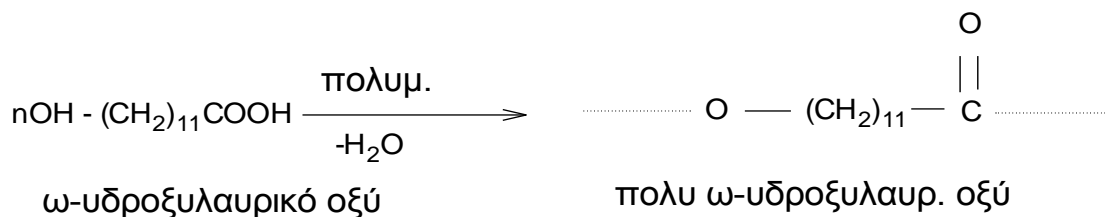
Στα άλλα δυο συστήματα το όνομα του πολυμερούς σχηματίζεται από το πολυ- και το όνομα του πολυμερούς.

B) Το δεύτερο σύστημα, που βασίζεται σε εμπειρικούς κανόνες χημική ονοματολογίας είναι και το πιο διαδεδομένο



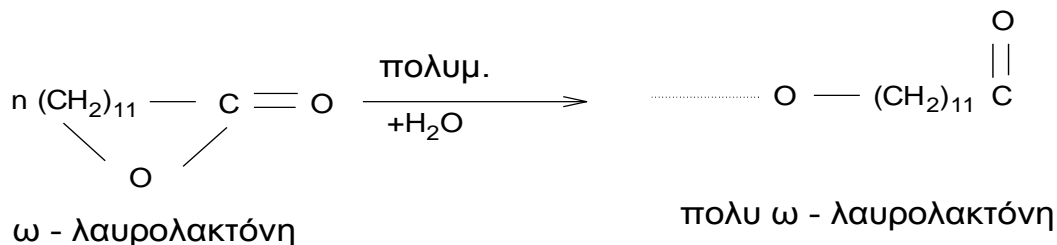
Σχήμα 2.7 Οι χημικοί τύποι (πολύ)βινυλοχλωριδίου, πολύ μεθακρυλικού μεθυλεστέρα και πολυστυρενίου.

Τα πολυμερή που προέρχονται από μονομερή με δραστικές ομάδες (πχ. $-\text{COOH}$, $-\text{NH}_2$, $-\text{OH}$, $-\text{NCO}$ κλπ) ονομάζονται με τον ίδιο τρόπο πχ. το πολυμερές που προέρχεται από το ω - υδροξυλαυρικό οξύ ονομάζεται πολύ (ω - υδροξυλαυρικό οξύ).



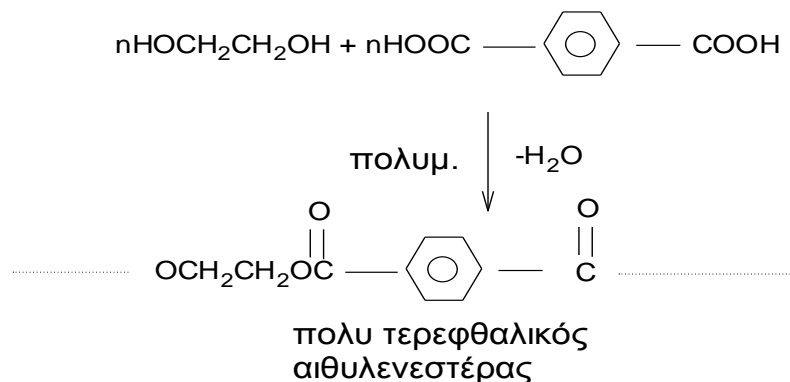
Σχήμα 2.8 Αντίδραση πολυμερισμού του ω – υδροξυλαυρικού οξέως.

Επειδή όμως το πολυμερές αυτό μπορεί να προέλθει και από τον πολυμερισμό της ω -λαυρολακτόνης , ονομάζεται και πολύ (ω - λαυρολακτόνη).



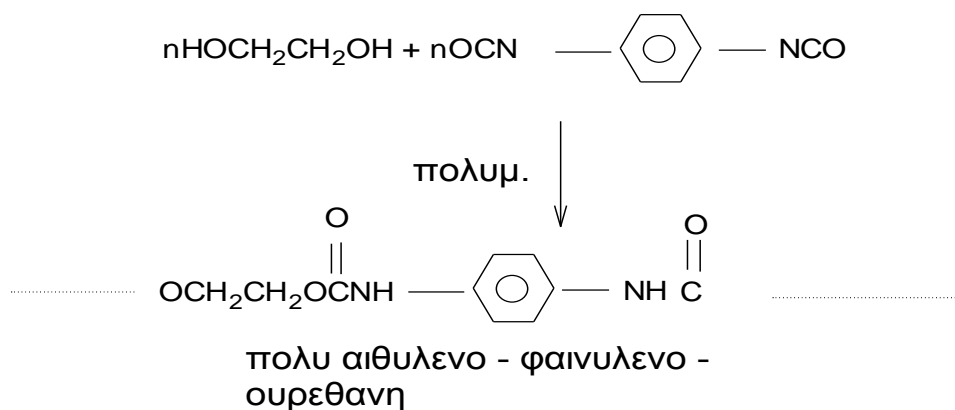
Σχήμα 2.9 Αντίδραση πολυμερισμού της ω – λαυρολακτόνης.

Ο πολυεστέρας που προέρχεται από τереφθαλικό οξύ και αιθυλενογλυκόλη ονομάζεται πολύ (τερεφθαλικός αιθυλενεστέρας).



Σχήμα 2.10 Αντίδραση πολυμερισμού για την παραγωγή του πολύ τереφθαλικού αιθυλενεστέρα.

Το πολυμερές που προέρχεται από αιθυλενογλυκόλη και φαινυλενοδιισοκυανικό εστέρα ονομάζεται πολύ (αιθυλενο-φαινυλενο-ουρεθάνη).



Σχήμα 2.11 Αντίδραση πολυμερισμού για την παραγωγή της πολύ αιθυλενο – φαινυλενο - ουρεθάνης .

Γ) Το τρίτο σύστημα βασίζεται σε αυστηρούς κανόνες χημικής ονοματολογίας κατά IUPAC. Σύμφωνα με το σύστημα αυτό ο πολύ (μεθακρυλικός μεθυλεστέρας) ονομάζεται πολύ (1-οξυμεθυλοκαρβονυλο-1-μεθυλενοαιθυλένιο) και το πολύ (βινυλοχλωρίδιο) ονομάζεται πολύ (1-χλωροαιθυλένιο).

2.2.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ

Γενικά τα πολυμερή ταξινομούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες.

- 1) Στα φυσικά πολυμερή και τα παράγωγά τους πχ. πρωτεΐνες, κυτταρίνη, οξική και νιτρική κυτταρίνη κλπ και
- 2) Στα συνθετικά πολυμερή πχ. πολυαιθυλένιο, πολυστυρένιο, πολυαμίδια, πολυεστέρες κλπ

Τα συνθετικά πολυμερή μπορούν να διαιρεθούν με τη σειρά τους:

- A) Ανάλογα με τη χημική τους δομή
- B) Ανάλογα με τη συμπεριφορά τους στη θέρμανση και
- Γ) Ανάλογα με την ιδιότητα που κυριαρχεί στη χρησιμοποίησή τους

A) Διαίρεση των συνθετικών πολυμερών ανάλογα με τη χημική τους δομή

Σύμφωνα με αυτή τη διαίρεση τα πολυμερή διαιρούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- 1) Στα ομοπολυμερή ή απλώς πολυμερή
- 2) Στα συμπολυμερή

Ομοπολυμερή είναι τα πολυμερή που προέρχονται από μία δομική μονάδα (A). Τα συμπολυμερή προέρχονται από την επανάληψη δυο (A,B) ή περισσότερων δομικών μονάδων.

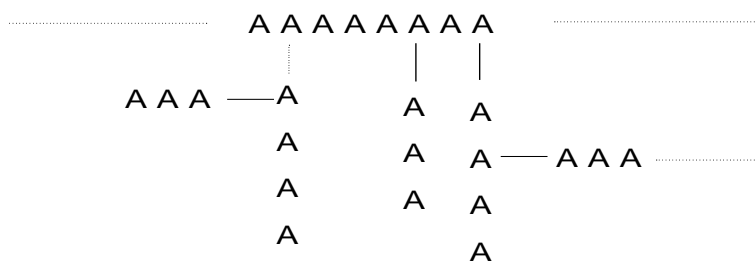
Τα ομοπολυμερή υποδιαιρούνται:

- i) Στα γραμμικά ομοπολυμερή (linear homopolymers)

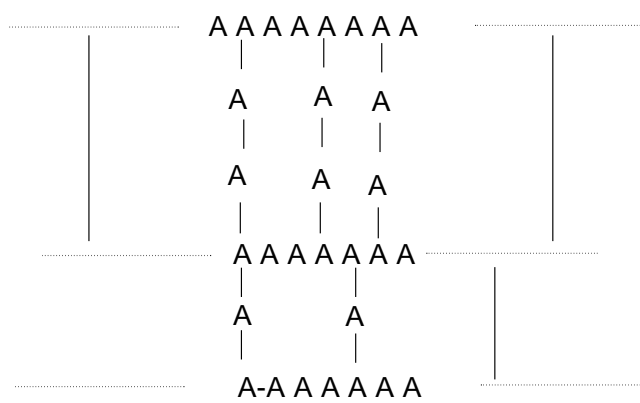


Σχήμα 2.12 Γραμμικό πολυμερές

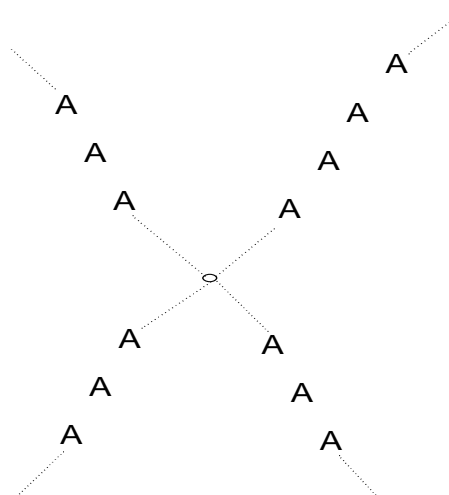
ii) Στα διακλαδισμένα ομοπολυμερή (branched homopolymers)



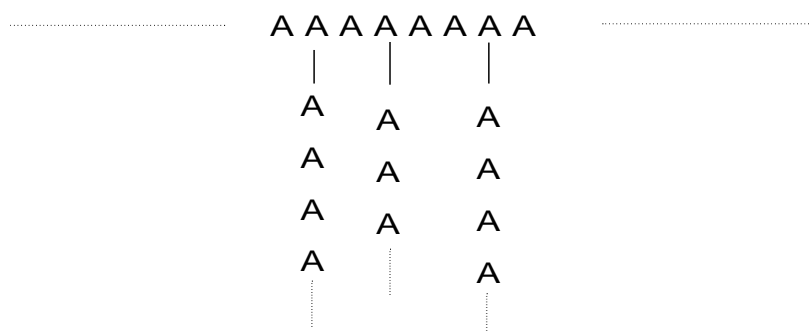
Σχήμα 2.13 Διακλαδισμένο πολυμερές



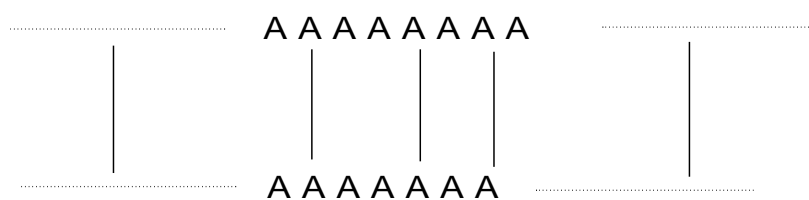
Σχήμα 2.14 Διακλαδισμένο πολυμερές σε σχήμα πλέγματος.



Σχήμα 2.15 Διακλαδισμένο πολυμερές σε σχήμα αστεριού.

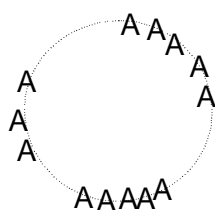


Σχήμα 2.16 Διακλαδισμένο πολυμερές σε σχήμα χτένας.



Σχήμα 2.17 Διακλαδισμένο πολυμερές σε σχήμα σκάλας.

iii) Κυκλικά ομοπολυμερή



Σχήμα 2.18 Κυκλικό ομοπολυμερές.

Τα συμπολυμερή που προέρχονται από δύο μονομερή πχ. στυρένιο (A) και ισοπρένιο (B) υποδιαιρούνται:

i) Στα τυχαία (random) ή στατιστικά συμπολυμερή, όταν η επανάληψη των δομικών μονάδων A και B είναι τυχαία



Πολύ (στυρένιο – co – ισοπρένιο)

ii) Στα εναλλασσόμενα συμπολυμερή όταν τα A και B εναλλάσσονται διαδοχικά



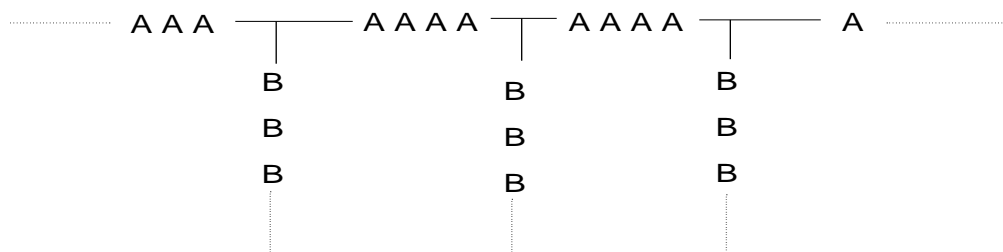
Πολύ (στυρένιο – alt – ισοπρένιο)

iii) Στα κατά συστάδες συμπολυμερή, όταν αποτελούνται από δύο, τρεις ή και περισσότερες συστάδες δομικών μονάδων

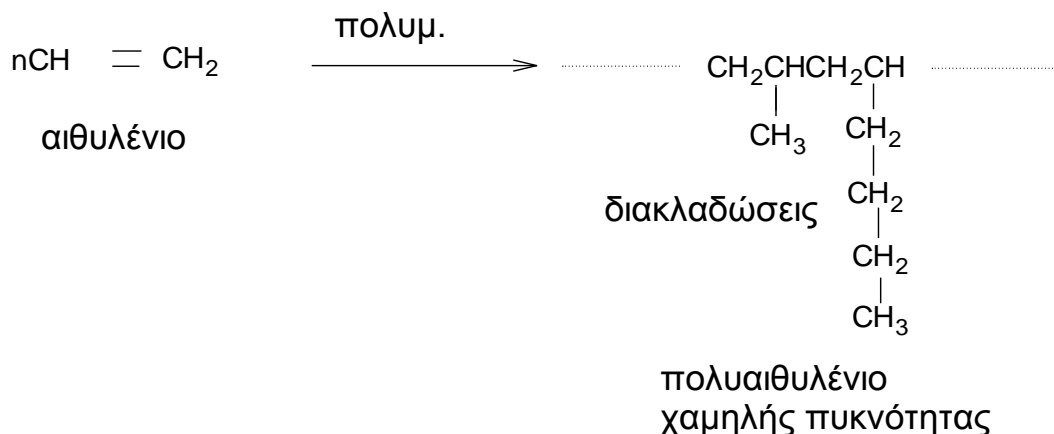


Πολύ (στυρένιο – b – ισοπρένιο)

iv) Στα εμβολιασμένα συμπολυμερή, όταν η κύρια αλυσίδα αποτελείται από τη μία δομική μονάδα και οι κλάδοι από την άλλη δομική μονάδα.



πολυ (στυρένιο - g - ισοπρένιο)

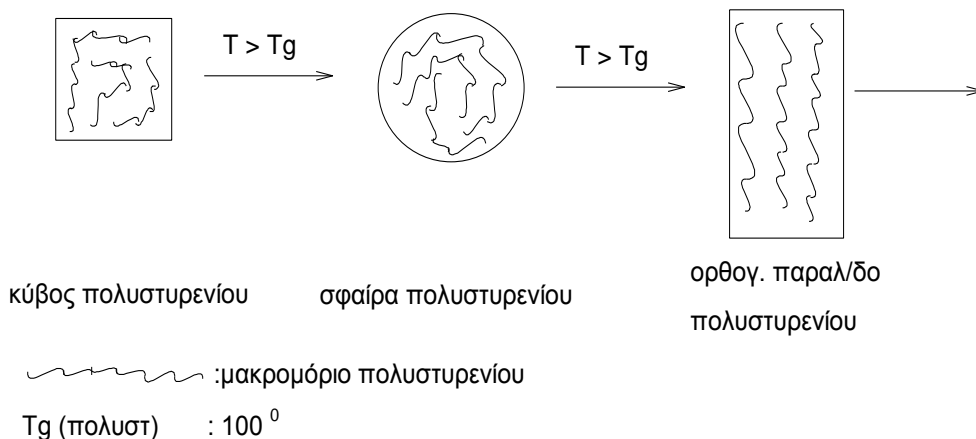


Σχήμα 2.20 Αντίδραση πολυμερισμού του αιθυλενίου.

B) Διαίρεση των συνθετικών πολυμερών ανάλογα με τη συμπεριφορά τους στη θέρμανση

Σύμφωνα με αυτή τη διαίρεση τα συνθετικά πολυμερή διαιρούνται σε θερμοπλαστικά σε θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή και σε ελαστομερή.

Θερμοπλαστικά είναι τα πολυμερή που μαλακώνουν (και επομένως μπορούν να μορφοποιηθούν) με θέρμανση πάνω από μία ορισμένη, για κάθε πολυμερές, θερμοκρασία, τη θερμοκρασία υαλώδους μεταπτώσεως T_g (glass transition temperature). Όταν ψυχθούν τα θερμοπλαστικά ανακτούν τις αρχικές τους ιδιότητες. Θεωρητικά τα θερμοπλαστικά μπορούν να μορφοποιηθούν, με θέρμανση, άπειρες φορές γιατί δεν μεταβάλλεται (με θέρμανση) η χημική τους δομή. Τα θερμοπλαστικά πολυμερή αποτελούνται κυρίως από γραμμικά μακρομόρια πχ. πολυστυρένιο, πολυβινυλοχλωρίδιο, πολυαιθυλένιο κλπ.

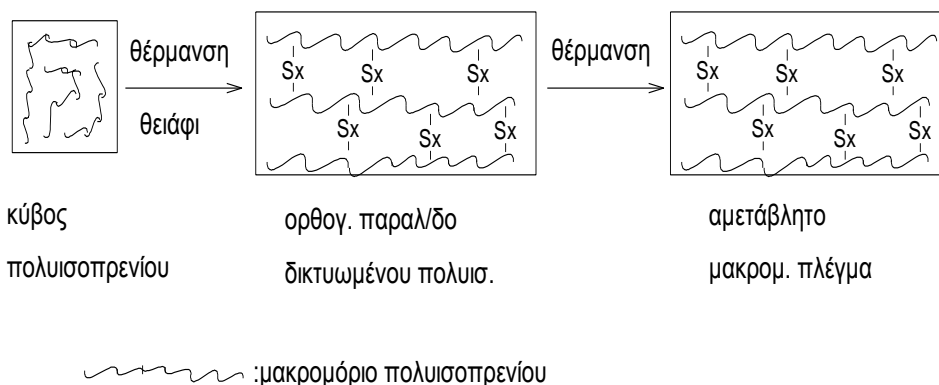


Σχήμα 2.21 Μεταβολή σχετικής θέσης των γραμμικών μακρομορίων θερμοπλαστικού πολυμερούς κατά την θέρμανση.

Όπως φαίνεται στο σχήμα, κατά τη θέρμανση μεταβάλλεται μόνο η σχετική θέση των μακρομορίων και όχι η χημική δομή τους.

Θερμοσκληρυνόμενα είναι τα πολυμερή που μεταβάλλουν, όχι αντιστρεπτά, τις αρχικές τους ιδιότητες με θέρμανση πάνω από μία ορισμένη θερμοκρασία, παρουσία συνήθως ορισμένων χημικών ενώσεων.

Τα μακρομόρια των πολυμερών αυτών με θέρμανση ενώνονται μεταξύ τους και σχηματίζουν μακρομοριακά πλέγματα. Έτσι δεν ανακτούν ποτέ πια τις αρχικές τους ιδιότητες και δεν ξαναμορφοποιούνται με θέρμανση.



Σχήμα 2.22 Μεταβολή σχετικής θέσης αλλά και της χημικής δομής των γραμμικών μακρομορίων θερμοσκληρυνόμενου πολυμερούς κατά την θέρμανση.

Όπως φαίνεται από το προηγούμενο σχήμα, κατά την αρχική θέρμανση δεν μεταβάλλεται μόνο η σχετική θέση των μακρομορίων αλλά και η χημική τους δομή. Θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή είναι πχ. ο βακελίτης, το βουλκανισένο καουτσούκ, οι εποξυδικές ρητίνες κλπ.

Γ) Διαίρεση των συνθετικών πολυμερών ανάλογα με την ιδιότητα που κυριαρχεί στη χρησιμοποίησή τους.

Χωρίς να υπάρχει σαφής διάκριση, τα πολυμερή που κυκλοφορούν στο εμπόριο διακρίνονται σε συνθετικές ίνες, σε ελαστομερή και σε πλαστικά.

Στη κατηγορία των συνθετικών ινών ανήκουν τα πολυμερή που έχουν την ικανότητα να σχηματίζουν ίνες μεγάλης αντοχής πχ. πολυαμίδια, πολυεστέρες, πολυτροπυλένιο κλπ.

Ελαστομερή είναι τα πολυμερή που όταν υποστούν βουλκανισμό μπορούν να αυξήσουν τις διαστάσεις τους, τουλάχιστον 100%, με την επίδραση εξωτερικής δύναμης και να επανέλθουν στις αρχικές τους διαστάσεις μετά την απομάκρυνση της εξωτερικής δύναμης. Στη κατηγορία των ελαστομερών ανήκουν το πολυισοπροπένιο, το πολυισοβουτυλένιο, το πολυβουταδιένιο κλπ.

Πλαστικά πολυμερή είναι εκείνα που χρησιμοποιούνται για τη παρασκευή φιλμ, επιχρισμάτων κλπ.

Οι διάφορες κατηγορίες πολυμερών έχουν διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες. Τα σκληρά πλαστικά και οι συνθετικές ίνες χαρακτηρίζονται από μεγάλο μέτρο ελαστικότητας και μικρές επιμηκύνσεις, ενώ τα ελαστομερή χαρακτηρίζονται από μικρό μέτρο ελαστικότητας και μεγάλες επιμηκύνσεις. Τα εύκαμπτα πλαστικά χαρακτηρίζονται από ενδιάμεσες τιμές μέτρου ελαστικότητας και επιμήκυνσης.

Επίσης οι διάφορες κατηγορίες συνθετικών πολυμερών παρουσιάζουν διαφορές στη θερμοκρασία τήξεως (T_m) και στη θερμοκρασία υαλώδους μεταπτώσεως (T_g). Οι συνθετικές ίνες και τα σκληρά πλαστικά έχουν μεγάλο T_m και σχετικά μεγάλο T_g πχ. nylon 6 (T_m : 223° C και T_g : 50° C), nylon 6,6 (T_m : 265° C και T_g : 57° C), ισοτακτικό πολυστυρένιο (T_m : 240° C και T_g : 100° C).

Τα ελαστομερή έχουν πολύ μικρό T_m και T_g πχ πολύ (cis-1,4-βουταδιένιο) (T_m : 6° C και T_g : -108° C), πολύ (cis-1,4-ισοπρένιο)(φυσικό καουτσούκ)(T_g : -73° C)

Οι τιμές T_m και T_g για τα εύκαμπτα πλαστικά ποικίλουν πχ. πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας γραμμικό (T_m : 135°C και T_g : -125°C), πολυβινυλοχλωρίδιο (T_m : 273°C και T_g : 81°C), πολύ (μεθακρυλικός μεθυλεστέρας) (T_m : 200°C και T_g : 100°C).

2.3 ΔΕΣΜΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ

Οι δεσμικές δυνάμεις μεταξύ των ατόμων και των μορίων διαιρούνται σε πρωτοταγείς (ενέργεια διασπάσεως μεγαλύτερη από 50 Kcal/mol) και σε δευτεροταγείς (ενέργεια διασπάσεως μικρότερη από 10 Kcal/mol) [3].

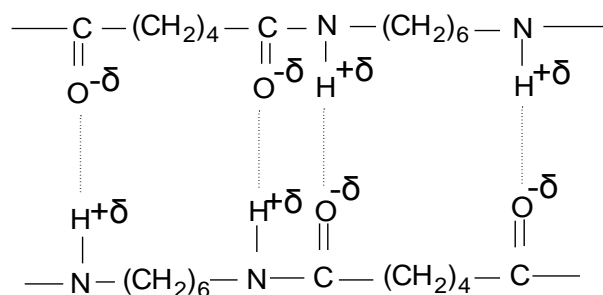
Στις πρωτοταγείς δεσμικές δυνάμεις ανήκουν οι ιοντικοί, μεταλλικοί, ημιπολικό και ομοιοπολικό δεσμοί, με δεσμικό μήκος που κυμαίνεται μεταξύ 0.9 και 2 Å περίπου.

Οι δευτεροταγείς δεσμικές δυνάμεις, που συνήθως ονομάζονται δυνάμεις Van der Waals γιατί σ' αυτές οφείλεται η διόρθωση που γίνεται στην εξίσωση των τελείων αερίων, έχουν δεσμικό μήκος μεταξύ 2.5 και 5 Å περίπου. Στη κατηγορία αυτή ανήκουν οι δεσμοί υδρογόνου και οι δεσμικές δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ: α) διπόλων, β) διπόλων - μη διπόλων εξ' επαγωγής και γ) μη διπόλων λόγω διακυμάνσεων της πυκνότητας του ηλεκτρονιακού νέφους (δυνάμεις London ή δυνάμεις διασποράς).

Τα άτομα ενός μακρομορίου συγκρατώνται συνήθως με ομοιοπολικούς δεσμούς, ενώ μεταξύ των μακρομορίων ή μεταξύ τμημάτων ενός μακρομορίου αναπτύσσονται δυνάμεις Van der Waals. Στις δυνάμεις αυτές οφείλονται κατά κύριο λόγο, οι ιδιαίτερες ιδιότητες των πολυμερών.

Πολλές ιδιότητες πολυμερών (πχ. θερμοκρασία τήξεως T_m , διαλυτότητα, ακαμψία κλπ) εξαρτώνται από το «πακετάρισμα» των μακρομορίων τους, επομένως ισχυρές ενδομοριακές δυνάμεις θα επιδρούν ευνοϊκά στις ιδιότητες αυτές.

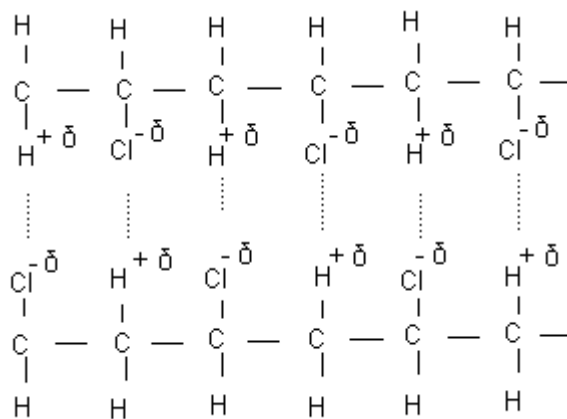
Το υψηλό T_m του nylon 6,6 οφείλεται στις ισχυρές δυνάμεις Van der Waals (δεσμοί υδρογόνου, δεσμοί διπόλων, London).



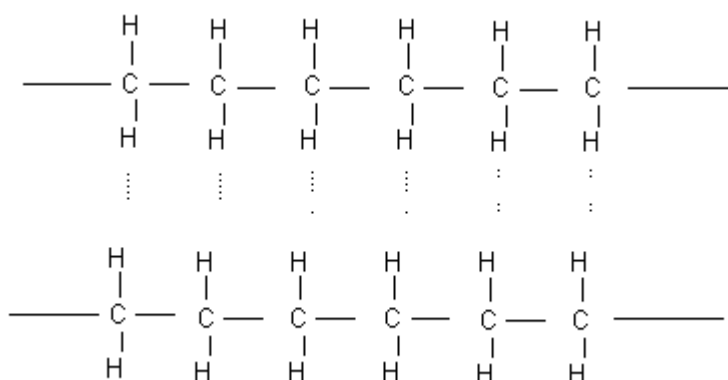
Nylon - 6,6

Σχήμα 2.23 Δεσμοί υδρογόνου μεταξύ μακρομορίων.

Επίσης το μεγαλύτερο T_m και η μεγαλύτερη ακαμψία του πολύ (τερεφθαλικού αιθυλεστέρα) οφείλεται στις ισχυρότερες δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ των αρωματικών δακτυλίων απ' ότι μεταξύ των $-CH_2-$. Ομοίως το μεγαλύτερο T_m και T_g του πολυβινυλοχλωριδίου από το πολυαιθυλένιο οφείλεται στις ισχυρότερες δυνάμεις μεταξύ των μακρομορίων του PVC απ' ότι μεταξύ των μακρομορίων του πολυαιθυλενίου.



Σχήμα 2.24 Πολύ βινυλοχλωρίδιο (PVC) – Δυνάμεις Van Der Waals μεταξύ διπόλων.



Σχήμα 2.25 Πολυαιθυλένιο – Δυνάμεις Van Der Waals, London.

2.4 ΜΙΚΡΟΔΟΜΗ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ

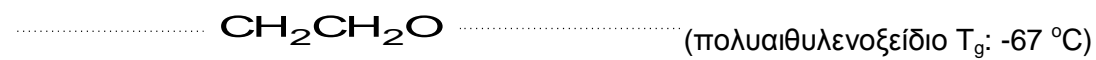
Οι ιδιότητες των πολυμερών δεν εξαρτώνται μόνο από τη χημική τους δομή αλλά και από τη μικροδομή τους. Οι διαφορές στη μικροδομή των πολυμερών οφείλονται:

- A) στη διαφορετική αρχιτεκτονική
- B) στο διαφορετικό προσανατολισμό
- Γ) στη διαφορετική διαμόρφωση

Δ) στη διαφορετική γεωμετρική ισομέρεια των δομικών μονάδων της μακρομοριακής αλυσίδας.

A) Αρχιτεκτονική δομικών μονάδων

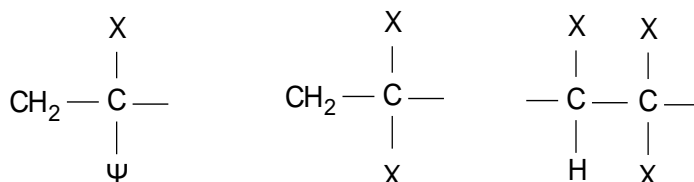
Στη περίπτωση αυτή ανήκουν πολυμερή που οι δομικές τους μονάδες έχουν την ίδια χημική σύσταση αλλά διαφορετική μοριακή αρχιτεκτονική, με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές στις φυσικές τους ιδιότητες.



Σχήμα 2.26 Πολυμερή με διαφορετική μοριακή αρχιτεκτονική.

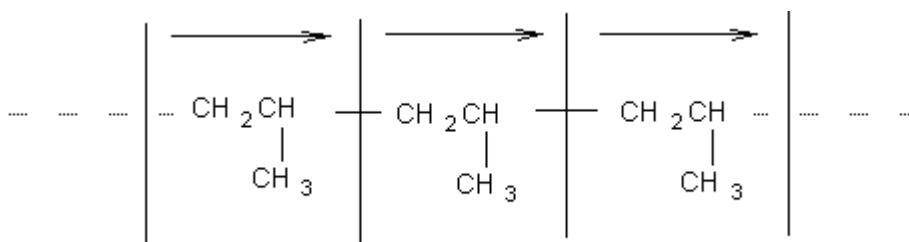
B) Προσανατολισμός δομικών μονάδων

Ενώ στη περίπτωση του πολυαιθυλενίου υπάρχει μία μόνο πιθανότητα προσανατολισμού των δομικών μονάδων, στη περίπτωση του πολυπροπυλενίου και άλλων πολυμερών με ασύμμετρη δομική μονάδα πχ.

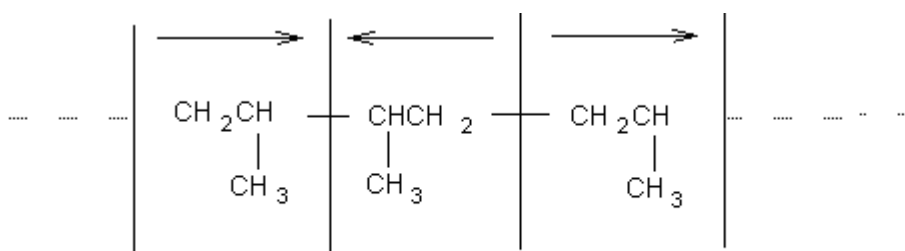


Σχήμα 2.27 Πολυμερή με ασύμμετρη δομική μονάδα

Ο προσανατολισμός των δομικών μονάδων μπορεί να γίνει με δύο τρόπους:

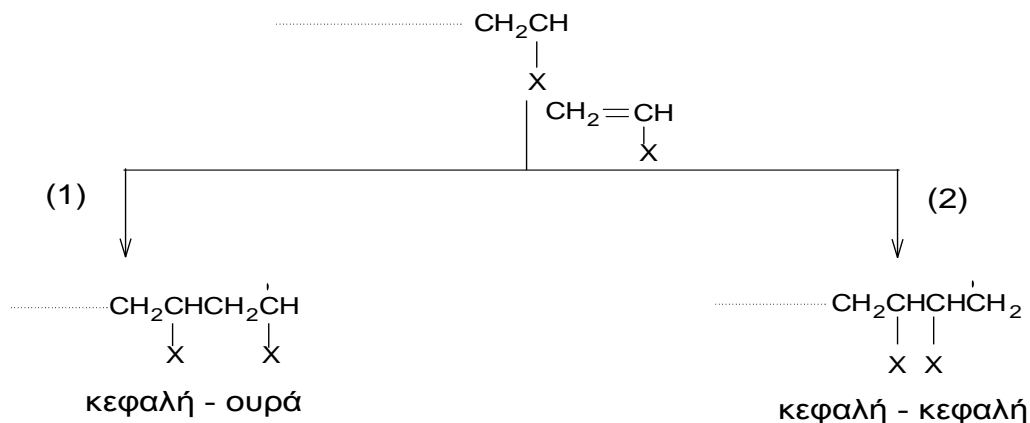


Σχήμα 2.28 Προσανατολισμός δομικών μονάδων κεφαλή – ουρά (head to tail)



Σχήμα 2.29 Προσανατολισμός δομικών μονάδων κεφαλή – κεφαλή , ουρά - ουρά (head to head , tail to tail).

Τα συνθετικά πολυμερή παρουσιάζουν κυρίως τον τρόπο συνδέσεως των δομικών μονάδων κεφαλή – ουρά. Αυτό οφείλεται στο ότι το μονομερές που προστίθεται στην αναπτυσσόμενη πχ. μακρόριζα προτιμά τον τρόπο κεφαλή – ουρά (1) για λόγους μικρότερης στερεοχημική παρεμπόδισης και μεγαλύτερης σταθερότητας της μακρόριζας, λόγω της παρουσίας του υποκαταστάτη Χ.

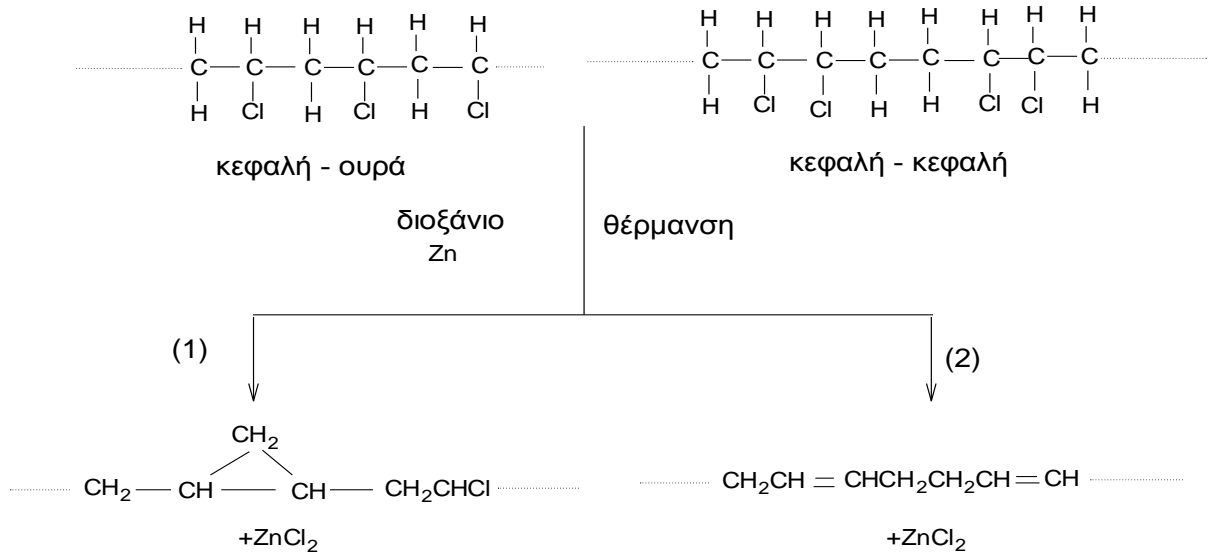


Σχήμα 2.30 Προσανατολισμός δομικών μονάδων στην περίπτωση του πολυ(βινυλοφθοριδίου).

Στη περίπτωση του πολυ(βινυλοφθοριδίου) το ποσοστό των δύο δομών βρίσκεται με τη βοήθεια του μαγνητικού πυρηνικού συντονισμού (NMR). Το –H της ομάδας –CHF– συντονίζεται σε διαφορετική συχνότητα στις δύο δομές, επειδή η γεωμετρία του και επομένως οι μαγνητικές του ιδιότητες είναι διαφορετικές. Έτσι εμφανίζονται δύο κορυφές, μία για κάθε δομή, εμβαδομέτρηση των οποίων δίνει το ποσοστό των δύο δομών.

Στη περίπτωση του πολυβινυλοχλωριδίου εκτός από NMR το ποσοστό των δύο δομών προσδιορίζεται με τη παρακάτω διαδικασία.

Διάλυμα πολυβινυλοχλωριδίου σε διοξάνιο θερμαίνεται με Zn. Αν υπάρχουν και οι δύο δομές στα μακρομόρια του PVC θα γίνουν οι παρακάτω αντιδράσεις:



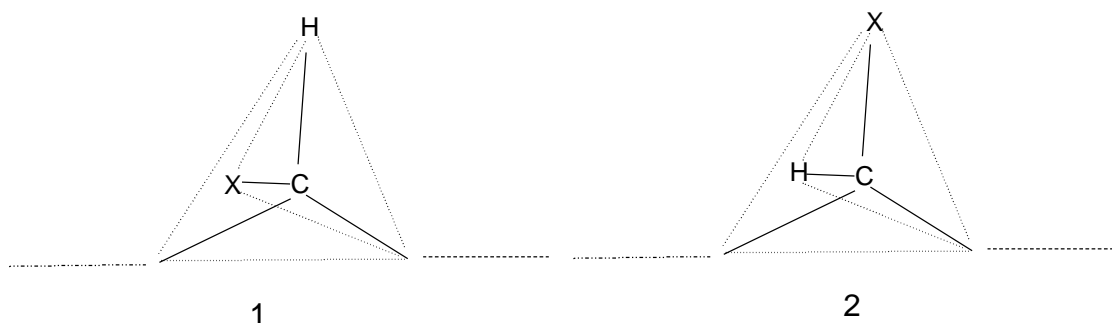
Σχήμα 2.31 Προσανατολισμός δομικών μονάδων στην περίπτωση του πολυ(βινυλοχλωριδίου).

Από στατιστική ανάλυση αποδεικνύεται ότι σύμφωνα με την (1) μόνο το 86,4 % του χλωρίου αντιδρά γιατί η αντίδραση είναι τυχαία. Το 13,6 % του χλωρίου απομονώνεται, δεν αντιδρά με το Zn και έτσι παραμένει στο μακρομόριο. Σύμφωνα με τη (2) το χλώριο απομακρύνεται πλήρως.

Επειδή η παρατεταμένη θέρμανση του PVC σε διάλυμα διοξάνιου με Zn απομακρύνει 84 – 86 % του χλωρίου συμπεραίνεται ότι στο PVC έχουμε ~100% τη δομή κεφαλή – ουρά.

Γ) Διαμόρφωση δομικών μονάδων

Αν η δομική μονάδα ενός πολυμερούς έχει ασύμμετρο άτομο άνθρακα, τότε μπορεί να πάρει τις παρακάτω διαμορφώσεις

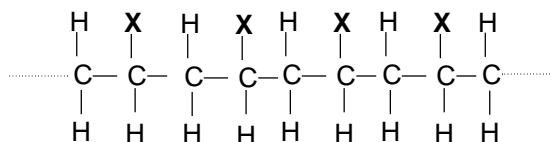


Σχήμα 2.32 Δομική μονάδα πολυμερούς με ασύμμετρο άτομο άνθρακα.

Το στερεοϊσομερές (1) δεν μπορεί να περάσει στο στερεοϊσομερές (2) παρά μόνο με σπάσιμο ομοιοπολικού δεσμού της κύριας αλυσίδας.

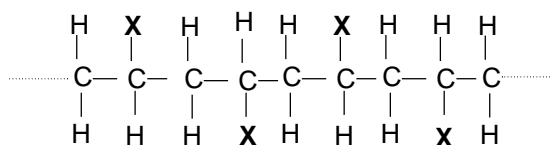
Ένα μακρομόριο λοιπόν μπορεί να εμφανιστεί με τρεις διαφορετικές διαμορφώσεις:

1) Ισοτακτική διαμόρφωση



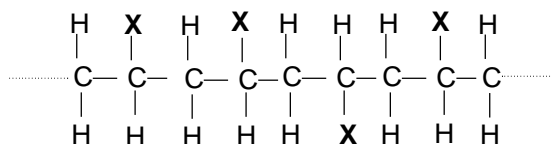
Σχήμα 2.33 Παράδειγμα ισοτακτικής διαμόρφωσης.

2) Συνδιοτακτική διαμόρφωση



Σχήμα 2.34 Παράδειγμα συνδιοτακτικής διαμόρφωσης.

3) Ατακτική διαμόρφωση



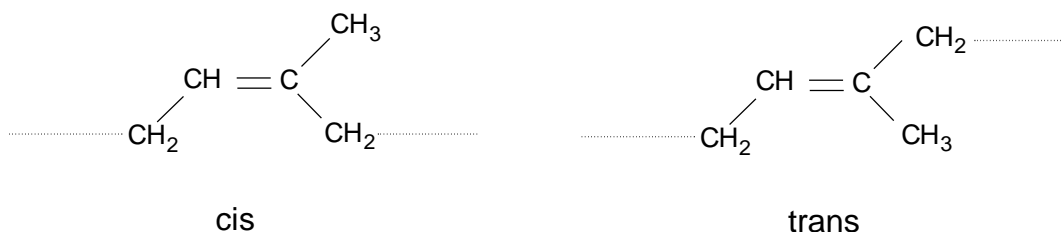
Σχήμα 2.35 Παράδειγμα ατακτικής διαμόρφωσης.

Στη πράξη είναι αδύνατον να παρασκευαστούν πολυμερή 100% ισοτακτικά ή 100% συνδιοτακτικά. Τα συνθετικά πολυμερή χαρακτηρίζονται από μια κατανομή ισοτακτικών, συνδιοτακτικών και ατακτικών διαμορφώσεων. Η τακτικότητα των πολυμερών συνήθως δίνεται σε τριάδες 100% και προσδιορίζεται συνήθως με NMR.

Η τακτικότητα επηρεάζει σημαντικά τις ιδιότητες των πολυμερών πχ. το πολυπροπυλένιο του εμπορίου που έχει μεγάλο ποσοστό ισοτακτικών τριάδων έχει μεγάλο βαθμό κρυσταλλικότητας, μεγάλο σημείο τήξεως ($T_m = 160^\circ \text{C}$), και καλές μηχανικές ιδιότητες, ενώ το ατακτικό πολυπροπυλένιο είναι άμορφο, έχει μικρό σημείο τήξεως ($T_m = 75^\circ \text{C}$) και κακές μηχανικές ιδιότητες (βιομηχανικά άχρηστο υλικό) [4].

Δ) Γεωμετρική ισομέρεια δομικών μονάδων

Όταν η δομική μονάδα ενός πολυμερούς έχει διπλό δεσμό, όπως πχ. στη περίπτωση του πολυισοπρενίου, τότε αυτή μπορεί να πάρει τις παρακάτω δυο ισομερείς μορφές:



Σχήμα 2.36 Γεωμετρική ισομέρεια πολυισοπροπενίου.

Το cis πολυισοπρένιο (καουτσούκ) είναι ελαστομερές, ενώ το trans είναι ημικρυσταλλικό πλαστικό (γουταπέρκα).

Τα συνθετικά πολυμερή που εμφανίζουν το φαινόμενο της γεωμετρικής ισομέρειας χαρακτηρίζονται από μια κατανομή cis και trans δομικών μονάδων. Η κατανομή αυτή μπορεί να προσδιοριστεί με υπέρυθρη φασματοσκοπία (IR) ή καλύτερη με NMR.

2.5 ΜΟΡΙΑΚΑ ΒΑΡΗ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Η σπουδαιότερη ίσως διαφορά μεταξύ των απλών ενώσεων και των πολυμερών είναι ότι τα πολυμερή αποτελούνται από μακρομόρια διαφορετικού μοριακού βάρους ενώ οι απλές ενώσεις από μόρια με το αυτό μοριακό βάρος. Επομένως στη περίπτωση των πολυμερών μιλάμε πάντα για μέσα μοριακά βάρη.

Όταν προσδιορίζεται πχ. το μοριακό βάρος ενός πολυμερούς με μέθοδο που βασίζεται στον αριθμό των μακρομορίων πχ. ωσμωμετρία, τότε το μοριακό βάρος που προκύπτει ονομάζεται μεσομοριακό βάρος κατ' αριθμόν και δίνεται από την εξίσωση :

$$\langle M \rangle_n = \frac{\sum N_i M_i}{\sum N_i} = \frac{N_1 M_1 + N_2 M_2 + N_3 M_3 + \dots}{N_1 + N_2 + N_3 + \dots}$$

όπου N_i είναι ο αριθμός των moles των μακρομορίων i με μοριακό βάρος M_i

Από μετρήσεις σκεδάσεως φωτός, μέθοδος η οποία βασίζεται στο βάρος των μακρομορίων, λαμβάνεται το μέσο μοριακό βάρος κατά βάρος που δίνεται από την εξίσωση:

$$\langle M \rangle_w = \frac{\sum w_i M_i}{\sum w_i} = \frac{w_1 M_1 + w_2 M_2 + w_3 M_3 + \dots}{w_1 + w_2 + w_3 + \dots}$$

όπου W_i το βάρος των μακρομορίων i .

Ένα μέτρο της κατανομής μοριακών βαρών ενός πολυμερούς είναι ο συντελεστής πολυμοριακότητας ή κατανομής μοριακών βαρών I ο οποίος δίνεται από την εξίσωση:

$$I = \frac{\langle M \rangle_w}{\langle M \rangle_n}$$

όσο $I \rightarrow 1$ τόσο το πολυμερές έχει μικρότερη μοριακή διασπορά.

Όλες οι ενδιαφέρουσες ιδιότητες των πολυμερών πχ. αντοχή στον εφελκυσμό και στην κάμψη, ελαστικότητα, T_g κλπ εξαρτώνται από το μοριακό βάρος τους.

Κάτω από ένα κρίσιμο μοριακό βάρος ή βαθμό πολυμερισμού X_c , τα πολυμερή δεν παρουσιάζουν καμιά μηχανική αντοχή. Πάνω από ένα ορισμένο βαθμό πολυμερισμού ~ 600 , η μηχανική αντοχή των πολυμερών μένει σχεδόν αμετάβλητη. Ακόμα και αν έχουμε ένα μικρό κέρδος στην αντοχή όταν το X περνάει την τιμή 600, εντούτοις το ιξώδες γίνεται τόσο μεγάλο, ώστε η κατεργασία των πολυμερών στις διάφορες μηχανές μορφοποίησης είναι σχεδόν αδύνατη

Τα συνήθη πολυμερή του εμπορίου έχουν βαθμό πολυμερισμού 200 έως 600.

2.6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΒΙΒΛΙΑ

- 1) Κ.Δ. Παπασπυρίδης, «*Τεχνολογία Πολυμερών : Απλά προβλήματα κατασκευών από πολυμερή υλικά*», Ε.Μ.Π. (1985)
- 2) Γ.Καραγιαννίδης, Ε.Σιδερίδου, «*Χημεία των Πολυμερών*», Β' Έκδοση, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη (2006).
- 3) Σιμιτζής, «*Τεχνολογία Πολυμερών*», Ε.Μ.Π. (1999)

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΑ ΒΙΒΛΙΑ

- 4) Tim.A.Osswald,George Menges, “*Materials Science of Polymers for Engineers*”, Hanser Publisher, New York.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

3

ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

- 3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ
- 3.2 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ
- 3.3 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ
- 3.4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ
- 3.5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ
ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ
- 3.6 ΝΑΝΟΣΥΝΘΕΤΑ ΠΟΛΥΜΕΡΙΚΑ ΥΛΙΚΑ
- 3.7 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ
- 3.8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διαρκής εξέλιξη της τεχνολογίας σε συνδυασμό με την εξέλιξη της επιστήμης των πολυμερών έχει οδηγήσει, κυρίως τα τελευταία χρόνια σε μια εκρηκτική ανάπτυξη δημιουργίας νέων υλικών. Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν κάνει την εμφάνισή τους υλικά με ιδιαίτερα ενδιαφέρουσες μηχανικές και ηλεκτρικές ιδιότητες. Η ύπαρξη των υλικών αυτών δεν είναι όμως αποκλειστικά επίτευγμα των τελευταίων δεκαετιών. Είναι φανερό ότι ο άνθρωπος γνώριζε πολύ νωρίτερα ότι μπορεί να συνδυάσει δύο ή περισσότερα υλικά για να πετύχει κάποιες ιδιαίτερες ιδιότητες. Οι ιδιότητες αυτές έβρισκαν εφαρμογές στο χώρο των κατασκευών, της ναυσιπλοΐας, της κατασκευής όπλων και της γραφικής ύλης. Από τους προϊστορικούς και πρώτους ιστορικούς χρόνους, όπου τα σπίτια ήταν φτιαγμένα από λάσπη και άχυρο, μέχρι και τον 19ο αιώνα, η κατασκευή και η χρήση των συνθέτων υλικών βασιζόταν σε εμπειρικούς κανόνες και μια στοιχειώδη τεχνογνωσία. Στη Βίβλο αναφέρεται χρήση συνθέτων από τους Βαβυλώνιους από το 4000 π.Χ., ενώ στην Αίγυπτο, το 3000 π. Χ, κατασκευαζόταν ο πρόδρομος των σημερινών πλαστικών σκαφών, από καλάμια εμβαπτισμένα σε πίσσα. Αντίστοιχα, το 1000 π. Χ. οι Ασσύριοι χρησιμοποίησαν σανίδες εμβαπτισμένες σε αδιάβροχη άσφαλτο για να κατασκευάσουν βάρκες, ενώ 500 χρόνια αργότερα οι ελληνικές τριήρεις, όντας πολύ μεγαλύτερες από τις απλές ξύλινες βάρκες, απαιτούσαν τη χρήση συνδυασμού υλικών για να κατασκευαστούν [4]. Εκτός από την ναυσιπλοΐα, υπάρχουν πολλές αναφορές στην κατασκευή όπλων με το συνδυασμό 2 ή περισσότερων υλικών. Η περίοδος άνθισης και επιβολής των Μογγόλων στους γειτονικούς λαούς συνδυάστηκε με την κατασκευή ενός είδος τόξου που ήταν ιδιαίτερα ευλύγιστο και ελαφρύ καθιστώντας το έτσι, πολύτιμο όπλο στα χέρια των ιππέων τους. Το τόξο αυτό ήταν κατασκευασμένο από ένα είδος κεράτου συνδεδεμένο με διάφορες στρώσεις από τένοντες ζώων. Στην αρχαία Ελλάδα χρησιμοποιήθηκαν επίσης σύνθετες κατασκευές για όπλα. Ο Όμηρος στην Ιλιάδα περιγράφει την ασπίδα του Αχιλλέα, λέγοντας ότι την αποτελούσαν επτά εναλλασσόμενες στρώσεις από δέρμα-χρυσό και σίδηρο. Τέλος, στις πανοπλίες και τα ξίφη του Μεσαίωνα γινόταν χρήση αυτής της τεχνικής.

Μια από τις πιο ενδιαφέρουσες ιστορίες ανάπτυξης έχει ένα άλλο φυσικό σύνθετο υλικό, το χαρτί. Ο πάπυρος αποτέλεσε την πρώτη βασική γραφική ύλη στην αρχαιότητα. Το ομώνυμο υδρόφοβο φυτό, αφθονούσε στις όχθες του Νείλου, αλλά και στις αρχαίες Συρακούσες. Φλούδες από τον κορμό του σε μορφή λωρίδων εφαρμόζονταν μεταξύ τους, ώστε να δημιουργείται ενιαία επιφάνεια και μετά από κατάλληλη επεξεργασία, το τελικό προϊόν ήταν έτοιμο να δεχθεί γραφή και μπορούσε να διατηρηθεί για πολύ μεγάλο χρονικό

διάστημα, λόγω της σημαντικής αντοχής του. Στην συνέχεια φαίνεται ότι ήρθε στο προσκήνιο η περγαμηνή το 197 π.Χ. στην Πέργαμο της Μικράς Ασίας, από όπου πήρε και το όνομά της. Η διαδικασία κατασκευής της απαιτούσε την κατεργασία δέρματος, ώστε να γίνει πολύ λεπτό, σαν φύλλο χαρτιού. Λόγω των δυσκολιών κατασκευής της, δημιουργήθηκε η ανάγκη χρήσης νέας γραφικής ύλης και έτσι γύρω στον 8ο αιώνα έγιναν οι πρώτες προσπάθειες κατασκευής χαρτιού από τους Ευρωπαίους. Οι Κινέζοι είχαν ανακαλύψει αυτό το υλικό σχεδόν 11 αιώνες πριν. Ξεκίνησαν με χειροποίητη κατεργασία ινών μπαμπού και συγκόλλησή τους, βελτίωσαν την τεχνογνωσία τους πλέονοντας τις ίνες και βουτώντας αυτές σε μια πολτοποιημένη “ζύμη”. Πειραματίστηκαν ακόμη και με ίνες άλλων φυτών, άχυρα, ξύλα κ.λ.π. Αργότερα οι Άραβες άλλαξαν την πρώτη ύλη, χρησιμοποιώντας αντί των φλοιών των δέντρων, υφαντά από λινάρι και κάνναβη, προμηθύνοντας έτσι τον ερχομό του σύγχρονου χαρτιού [4].

Στις μέρες μας τα υλικά αυτά περιγράφονται με τον όρο σύνθετα υλικά. Σύνθετα υλικά ονομάζονται τα φυσικά αλλά πολύ περισσότερο τα τεχνητά κατασκευασμένα υλικά, που προκύπτουν από δύο ή περισσότερα συστατικά (χημικά ανόμοια) τα οποία αναμιγνύονται με σκοπό να προσδώσουν νέα, με ιδιότητες ανώτερες από τις ιδιότητες των επιμέρους συστατικών τους. Τα επιμέρους υλικά αναμιγνύονται σε μακροσκοπικό επίπεδο και δεν είναι διαλυτά το ένα στο άλλο. Τα σύνθετα υλικά αποτελούνται συνήθως από δύο φάσεις, την μητρική και την φάση ενίσχυσης. Η φάση ενίσχυσης είναι εκείνη που είναι υπεύθυνη να φέρει τα εξασκούμενα μηχανικά φορτία, ενώ η μητρική φάση που αποτελεί συνήθως το μεγαλύτερο ποσοστό του συστήματος παίζει τον ρόλο του μέσου μεταφοράς. Σήμερα, όταν αναφερόμαστε σε σύνθετα υλικά εννοούμε σωματίδια κόκκους, σκόνες, ίνες αλλά και επιστρώματα ενός υλικού τα οποία ξεχωριστά ή και σε συνδυασμούς χρησιμοποιούνται για τον εμπλουτισμό ενός άλλου υλικού.

3.2 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

Τα σύνθετα υλικά αποτελούνται από δύο σαφώς διαχωρίσιμες φάσεις:

- την φάση που καταλαμβάνει το μεγαλύτερο ποσοστό τους συστήματος και ονομάζεται μήτρα και η φύση της εξαρτάται από την εφαρμογή για την οποία προορίζεται
- και την ενισχυτική φάση του μητρικού υλικού που ενσωματώνεται σε αυτό. Τα εγκλείσματα μπορούν να ποικίλουν σε μέγεθος, γεωμετρία και σύσταση.

Τέλος, καθοριστικό ρόλο για την συμπεριφορά του σύνθετου υλικού παίζει η φύση της διεπιφάνειας μεταξύ μήτρας και εγκλεισμάτων.

Μητρική φάση

Το μεγαλύτερο κατ' όγκο ποσοστό των σύνθετων συστημάτων το αποτελούν οι μήτρες και η λειτουργία που επιτελούν είναι να περιβάλλουν τα εγκλείσματα και να μεταφέρουν τις εφαρμοζόμενες τάσεις στο πληρωτικό μέσο, επωμιζόμενες μόνο ένα μικρό μέρος αυτών. Ο ρόλος της μήτρας δεν είναι να αντέχει σε μεγάλες τιμές τάσεων, αλλά να προστατεύει το πληρωτικό μέσο από επιβλαβείς για αυτό περιβαλλοντικές συνθήκες και να μεταβιβάζει σε αυτό τις ασκούμενες στο υλικό τάσεις. Οι μήτρες μπορεί να είναι μεταλλικής, πολυμερικής αλλά και κεραμικής φύσης και η επιλογή του τύπου της μήτρας εξαρτάται από την εφαρμογή για την οποία προορίζεται το υλικό, αλλά και από οικονομικές παραμέτρους.

Εγκλείσματα - πληρωτικά μέσα

Τα σύνθετα υλικά εμπεριέχουν εγκλείσματα τα οποία σύμφωνα με τη γεωμετρία τους κατατάσσονται στις παρακάτω κατηγορίες :

- Ίνες
- Σωματίδια – Σκόνες
- Νιφάδες
- Λεπτά φύλλα – Στρώσεις

Ίνες

Οι ίνες αποτελούν το συνηθέστερο πληρωτικό μέσο των πολυμερικών μητρώων, λόγω των πολύ καλών μηχανικών ιδιοτήτων τους. Οι ίνες μπορεί να είναι από γυαλί, κεραμικές, μεταλλικές ή οργανικές. Οι παράγοντες που οφείλουν οι ίνες την ενισχυμένη μηχανική τους συμπεριφορά είναι κυρίως δύο:

1. Την απουσία ατελειών από τη δομή τους
2. Την υψηλή κρυσταλλικότητα

Ο βαθμός ενίσχυσης τον οποίο συνεισφέρουν οι ίνες στο σύνθετο εξαρτάται από τις μηχανικές τους ιδιότητες, το ποσοστό συμμετοχής τους, το προσανατολισμό τους (κοντές ίνες διατεταγμένες τυχαία, ίνες σε μία κατεύθυνση και ίνες που σχηματίζουν πλέγμα) και το φορτίο που μεταφέρεται μεταξύ ίνας και μήτρας μέσω της διεπιφάνειας ίνας/μήτρας. Οι ίνες επιλέγονται για τις μηχανικές τους ιδιότητες, για την αντοχή και την δυσκαμψία τους και την συμβατότητά τους με τη μήτρα. Η υψηλή συμβατότητα, δηλαδή η καλή πρόσφυση, με την ίνα παρέχει στο υλικό μεγάλη αντοχή στη διεπιφάνεια και έτσι επιτρέπει τη μεταφορά φορτίου μεταξύ ίνας/ μήτρας. Οι διαφορετικοί συνδυασμοί ίνας/μήτρας στα πολυμερικά σύνθετα υλικά, οδηγούν σε συστήματα με ένα μεγάλο εύρος μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων. Το σύνθετο θα εμφανίζει το μέγιστο των ιδιοτήτων του προς την διεύθυνση προσανατολισμού των ινών και αυτό γιατί οι ίνες δεν εμφανίζουν ιστροπική συμπεριφορά, καθώς σε διευθύνσεις κάθετες του κύριου άξονά τους εμφανίζουν ασθενείς μηχανικές ιδιότητες. Η συμπεριφορά αυτή αξιοποιείται με σύνθεση υλικών τα οποία φέρουν στρώματα ινών προσανατολισμένα προς διάφορες διευθύνσεις με συνέπεια την εμφάνιση ενισχυμένου μέτρου ελαστικότητας, τάσης διαρροής κ.λ.π. προς τις κατευθύνσεις που έχουν προσανατολισθεί οι ίνες.

Σωματίδια – Σκόνες

Τα σωματίδια συνήθως εμφανίζουν διασπορά στο σχήμα και το μέγεθος, ενώ μπορούν να κυμαίνονται και σε μεγαλύτερα μεγέθη από τις σκόνες. Οι σκόνες εμφανίζουν σχετική ομοιομορφία στο μέγεθος και στο σχήμα και μπορούν να είναι από ανόργανα ή οργανικά στοιχεία. Το μέγεθος και η φύση των σωματιδίων επηρεάζουν έντονα τη συμπεριφορά των σύνθετων. Οι μεταλλικές σκόνες λεπτής υφής (5 nm - 1 μm) κατασκευάζονται με διεργασίες όπως :

1. Μηχανική τριβή, κατάλληλη για ψαθυρά μέταλλα
2. Διάχυση, κατάλληλη για μέταλλα με χαμηλό σημείο τήξης :Pb, Sn, Zn κ.α

3. Καθίζηση από διάλυμα, κατάλληλη για ευγενή ή καθοδικά μέταλλα

Τέλος, ενδιαφέρουσες εφαρμογές εμφανίζουν οι μικροσφαίρες. Αυτές είναι πολυμερικές σφαίρες συμπαγείς ή κενές που χρησιμοποιούνται για την ελάττωση του κόστους ή της πυκνότητας, εις βάρος των μηχανικών ιδιοτήτων του συστήματος [2].

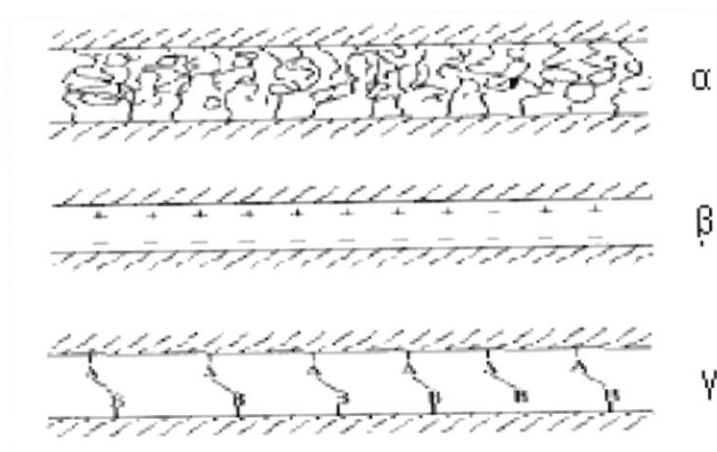
Νιφάδες

Οι νιφάδες βρίσκουν εφαρμογή ως φράγματα ατμών ή υγρών τα οποία θα μπορούσαν να επιφέρουν διάβρωση του σύνθετου. Όταν βρίσκονται σε επαφή μεταξύ τους μπορούν να προσδώσουν ηλεκτρική ή θερμική αγωγιμότητα σε μια πολυμερική μήτρα. Εν' τούτοις ο δύσκολος προσανατολισμός τους και η δομική ανομοιομορφία τους τις καθιστά ακατάλληλες για πλήθος εφαρμογών.

Διεπιφάνεια

Στα σύνθετα υλικά η κοινή επιφάνεια μεταξύ των δύο συστατικών υλικών (ινών – μήτρας ή κόκκων – μήτρας) καθώς και η περιοχή στα σύνορα αυτής της επιφάνειας καλείται διεπιφάνεια και έχει ως ρόλο τη μεταβίβαση των τάσεων από τη ασθενέστερη φάση (μήτρα) στην ισχυρότερη (ίνα). Μοντέλα που έχουν προταθεί για την περιγραφή της πρόσφυσης των εγκλεισμάτων με τη μήτρα είναι:

1. Ενδοδιάχυση (interdiffusion)
2. Ηλεκτροστατικής έλξης (electrostatic attraction)
3. Χημική σύνδεση (chemical bonding)



Σχήμα 3.1 Τρόποι πρόσφυσης μεταξύ των επιμέρους φάσεων του συνθέτου υλικού (α) Ενδοδιάχυση, (β) Ηλεκτροστατική έλξη, (γ) Χημικός δεσμός.

➤ Ενδοδιάχυση

Διάφοροι τύποι διαδικασιών διάχυσης λαμβάνουν χώρα στις ενδοεπιφάνειες. Για παράδειγμα, η ενδοδιάχυση περιγράφει μια διαδικασία κατά την οποία σχηματίζεται δεσμός μεταξύ δύο πολυμερικών επιφανειών από το μοριακό δίκτυο της μιας επιφάνειας σε αυτό της άλλης. Το βασικό χαρακτηριστικό του μηχανισμού της ενδοδιάχυσης είναι ότι πρέπει να υφίσταται θερμοδυναμική ισορροπία ανάμεσα στα δύο συστατικά. Η ισχύς του δεσμού σε σύνθετα με θερμοσκληρυνόμενες πολυμερικές μήτρες εξαρτάται από το ποσοστό των διασταυρώσεων πλέγματος που σχηματίζονται κατά την σκλήρυνση, τον αριθμό των μορίων, την παρουσία διαλυτών καθώς και από την αντοχή των δεσμών ανάμεσα στα μόρια. Η επικάλυψη π.χ. ινών διαφόρων υλικών με πολυμερικά φιλμ αποσκοπεί στην εκμετάλλευση της δημιουργίας τέτοιου είδους δεσμών με τη μήτρα (σχήμα 3.1α). Το φαινόμενο της ενδοδιάχυσης μπορεί να παρατηρηθεί και σε μη πολυμερικά συστήματα, ειδικά αν συνοδεύεται από χημική αντίδραση.

➤ Ηλεκτροστατική έλξη

Εάν οι επιφάνειες φέρουν ένα σύνολο αντίθετων ηλεκτρικών φορτίων, όπως φαίνεται στο (σχήμα 3.1β) τότε εμφανίζονται ελκτικές δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ αντίθετα φορτισμένων επιφανειών. Η ισχύς τέτοιου είδους δεσμών εξαρτάται από την πυκνότητα φορτίου. Οι ηλεκτροστατικές δυνάμεις δεν συνεισφέρουν σημαντικά στην ισχύ του δεσμού μήτρας- εγκλείσματος και μπορούν εύκολα να εξασθενήσουν με την παρουσία, για παράδειγμα, ισχυρού πολικού διαλύτη (π.χ. νερό), ο οποίος προκαλεί εκφόρτιση των επιφανειών. Παρ' όλα αυτά η ηλεκτροστατική έλξη συμβάλλει με τον τρόπο της στη σύνδεση των συστατικών του συνθέτου.

➤ Χημική σύνδεση

Σε αυτόν το μηχανισμό πρόσφυσης, ο δεσμός σχηματίζεται ανάμεσα σε μια χημική ομάδα στην επιφάνεια της ίνας και μια άλλη συζυγή ομάδα στην επιφάνεια της μήτρας. Αυτές οι χημικές αλληλεπιδράσεις, μπορούν να αναπαρασταθούν με τους δεσμούς A-B (σχήμα 3.1γ). Η δημιουργία αυτού του δεσμού, ο οποίος προκύπτει από την πραγματοποίηση χημικών αντιδράσεων αφορά κυρίως τα ινώδη σύνθετα υλικά. Η ισχύς του δεσμού εξαρτάται από τον αριθμό και το είδος των ομάδων. Ο σχηματισμός τους ερμηνεύεται με διεργασίες διατήρησης της θερμοδυναμικής ισορροπίας και όσο χαμηλότερη

είναι η ενέργεια στη διεπιφάνεια τόσο καλύτερη είναι η σύζευξη σωματιδίου-μήτρας. Ωστόσο, οι μηχανικές και οι φυσικές ιδιότητες που έχει η διεπιφάνεια διαφέρουν από αυτές των συστατικών του συνθέτου υλικού και μόνο για λόγους αναλυτικούς θεωρείται μηδενικού πάχους (interface). Παρόλα αυτά κατά τη διάρκεια κατασκευής ενός συνθέτου υλικού απαιτείται να μετατραπεί μια τεράστια ποσότητα επιφάνειας των ινών ενίσχυσης σε διεπιφάνεια για τη δημιουργία διεπιφανειακού δεσμού που έχει ως ρόλο τη μεταφορά των δυνάμεων από τη μήτρα στο ενισχυτικό μέσο. Στη διαδικασία αυτή, επιδρούν πολλοί παράγοντες, ώστε τοπικά να μεταβάλλονται οι ιδιότητες και των δύο επιφανειών των συστατικών, λόγω απορρόφησης, χημικών αντιδράσεων και διάφορων θερμικών φαινομένων. Οι δραστηριότητες αυτές εκτείνονται σε βάθος μέχρι και μερικές εκατοντάδες νανόμετρα, δημιουργώντας έτσι μια μεσόφαση μεταξύ μήτρας και ίνας ή αλλιώς μία διεπιφάνεια πεπερασμένου μεγέθους (interphase).

3.3 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

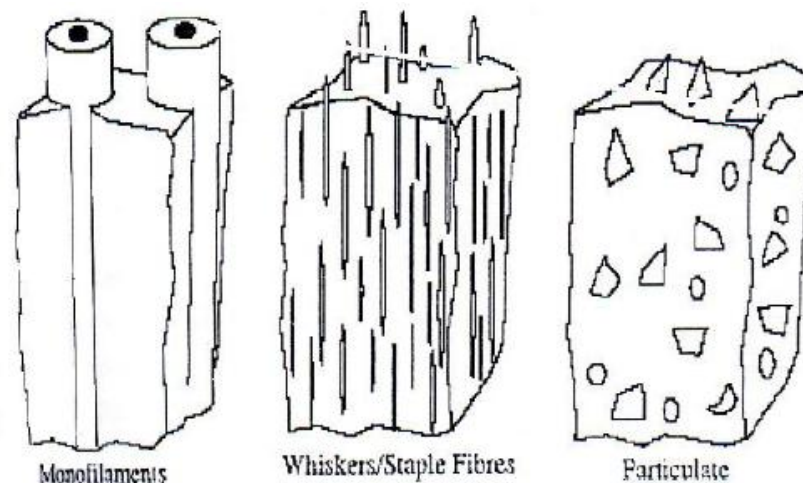
Τα σύνθετα υλικά ταξινομούνται, είτε ως προς το είδος της χρησιμοποιημένης μήτρας, είτε ως προς το υλικό ενίσχυσης. Ανάλογα με τη φύση του μητρικού υλικού διακρίνονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες :

- **Μεταλλικής μήτρας (Metal Matrix Composites, MMC)**
- **Πολυμερικής μήτρας (Polymer Matrix Composites, PMC)**
- **Κεραμικής μήτρας (Ceramic Matrix Composites, CMC)**

Με βάση το υλικό ενίσχυσης τα σύνθετα ταξινομούνται σε κοκκώδη αποτελούμενα από οργανικά και ανόργανα σωματίδια και σε ινώδη αποτελούμενα από ίνες εμποτισμένες μέσα στο υλικό της μήτρας.

Σύνθετα υλικά μεταλλικής μήτρας (Metal Matrix Composites)

Τα σύνθετα μεταλλικών μητρών είναι βαρύτερα από τα (PMC) και κατέχουν την πρώτη θέση σε ονομαστική εφελκυστική αντοχή, ενώ επίσης παρουσιάζουν εξαιρετικές φυσικές ιδιότητες όπως τα πολύ υψηλά σημεία τήξης και η μεγάλη ολκιμότητα. Συνήθεις μεταλλικές μήτρες είναι από αργίλιο ή τιτάνιο, ενώ η φάση ενίσχυσης των MMC μπορεί να αποτελείται από ίνες διαφόρων μεγεθών ή κόκκους.



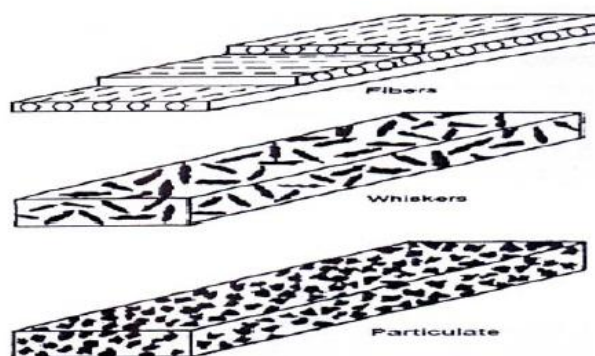
Σχήμα 3.2 Σχηματική αναπαράσταση (από δεξιά προς τα αριστερά) ινωδών, με whiskers (τριχίδια πολύ λεπτές ίνες)και κοκκωδών MMC συνθέτων υλικών .

Τα σύνθετα συστήματα μεταλλικής μήτρας επηρεάζονται από τη μηχανική και θερμική καταπόνηση στο στάδιο της παρασκευής τους, η οποία καθορίζει την μικροδομή των συστημάτων αυτών. Αυτά τα υλικά παρουσιάζουν καλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα, μηδενική απορρόφηση υγρασίας, αντοχή σε κρούσεις και μεγάλη θερμοκρασιακή αντοχή. Τα βασικότερα μειονεκτήματά τους είναι το μεγάλο βάρος τους, το υψηλό κόστος τους και η πολυπλοκότητα της κατασκευής τους.

Σύνθετα υλικά πολυμερικής μήτρας (Polymer Matrix Composites)

Τα σύνθετα υλικά πολυμερικής μήτρας κατέχουν εξέχουσα θέση ανάμεσα στα προηγμένα σύνθετα υλικά. Ως σύνθετα πολυμερικά υλικά χαρακτηρίζονται τα υλικά που αποτελούνται από μια πολυμερική μήτρα και προσθετικά υλικά οργανικά ή ανόργανα σε κοκκώδη ή ινώδη μορφή. Τα PMC μπορούν να διαμορφωθούν σε ποικίλα μεγέθη και μορφές, ενώ αντέχουν σε εφαρμογή μεγάλων φορτίων και εμφανίζουν ισχυρή αντίσταση σε εντόνως διαβρωτικά περιβάλλοντα [3].

Συνήθη μητρικά υλικά είναι τα θερμοσκληρυνόμενα και τα θερμοπλαστικά πολυμερή. Τα θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή είναι σκληρότερα, ανθεκτικότερα στη θέρμανση και πιο εύθραυστα από τα θερμοπλαστικά [1].



Σχήμα 3.3 Σχηματική αναπαράσταση (από πάνω προς τα κάτω) ινωδών, με whiskers και κοκκωδών PMC. (Τα whiskers είναι πολύ λεπτές μεταλλικές και μη ίνες με μέγεθος κάτω των 10 – 6 m, εμφανίζουν εξαιρετική αντοχή στον εφελκυσμό και υψηλό μέτρο ελαστικότητας).

Οι θερμοσκληρυνόμενες πολυμερικές μήτρες πολυμερίζονται σε θερμοκρασίες δωματίου και οι ιδιότητες τους βελτιώνονται στις υψηλές θερμοκρασίες. Οι μήτρες ακόρεστου πολυεστέρα ήταν ο πρώτος τύπος θερμοσκληρυνόμενου πολυμερούς που χρησιμοποιήθηκε και παραμένουν ακόμη και σήμερα ιδιαίτερα δημοφιλείς λόγω του χαμηλού κόστους τους, ειδικά εφόσον ενισχυθούν με ίνες γυαλιού. Ένας άλλος τύπος θερμοσκληρυνόμενου πολυμερούς είναι οι εποξειδικές ρητίνες. Ο όρος εποξειδική ρητίνη αναφέρεται σε μια κατηγορία πολυμερών που παρασκευάζονται από ένα εποξειδικό μονομερές με μια διαδικασία δύο σταδίων. Στο πρώτο στάδιο της διαδικασίας δύο μονομερή, ένα εποξειδικό και ένα μη εποξειδικό, αντιδρούν σχηματίζοντας ένα προπολυμερές χαμηλού μοριακού βάρους, το οποίο έχει μορφή παχύρρευστου υγρού. Στο δεύτερο στάδιο (πολυμερισμός) το προπολυμερές αντιδρά με το τρίτο συστατικό (σκληρυντής) και αποκτά δομή πλέγματος. Οι ρητίνες αυτές δεν απορροφούν νερό, δεν συρρικνώνονται ιδιαίτερα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες θερμοκρασίες. Τέλος, ένας ακόμη τύπος θερμοσκληρυνόμενου πολυμερούς είναι τα πολυιμίδια. Τα πολυιμίδια παρουσιάζουν εξαιρετική θερμοκρασιακή ανθεκτικότητα με κύριο μειονέκτημα την απορρόφηση νερού, η οποία τα καθιστά εύθραυστα. Μερικά παραδείγματα θερμοσκληρυνόμενων πλαστικών είναι η φαινολ-φορμαλδεΐδη, η μελαμίνη-φορμαλδεΐδη, η ουρία-φορμαλδεΐδη, οι εποξικές ρητίνες και μερικοί πολυεστέρες.

Τα θερμοπλαστικά υλικά ανήκουν στην τάξη των πολυμερών συμπύκνωσης και λαμβάνονται γενικά από την αντίδραση δύο μορίων με δύο χαρακτηριστικές ομάδες από μονομερή με ένα διπλό δεσμό. Τα θερμοπλαστικά πολυμερή, σε σχέση με τα θερμοσκληρυνόμενα, παρουσιάζουν μεγαλύτερη μηχανική αντοχή και ανθεκτικότητα σε διαβρωτικό περιβάλλον. Επιπλέον εμφανίζουν μικρότερη ανθεκτικότητα στη θέρμανση και χαρακτηρίζονται από χαμηλή τιμή ιξώδους, η οποία μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Τυπικά θερμοπλαστικά υλικά είναι το πολυαιθυλένιο (PE), το πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC), τα πολυκαρβονικά (PC), ο πολυμεθακρυλικός μεθυλεστέρας (PMMA), το πολυπροπυλένιο (PP) και άλλα.

Σύνθετα υλικά κεραμικής μήτρας (Ceramic Matrix Composites)

Ως κεραμικά υλικά αναφέρονται ανόργανα στερεά, που είναι χημικές ενώσεις μετάλλων και αμέταλλων στοιχείων. Ο όρος κεραμικό υποδηλώνει υλικό που έχει υποστεί κατεργασία σε υψηλές θερμοκρασίες (ψήσιμο), διαδικασία που σηματοδοτεί και την μέθοδο παρασκευής του. Οι κεραμικές μήτρες προσδίδουν στο σύνθετο τις εξής λειτουργίες :

1. Ακαμψία και σταθερότητα στην ενισχυτική φάση (ίνες, whiskers, κλπ.)
2. Προστατεύουν τη φάση ενίσχυσης από μηχανική ή οξειδική φθορά
3. Εξασφαλίζουν την αναγκαία θερμομηχανική ισορροπία στην ενισχυτική φάση ώστε να επιτυγχάνεται έλεγχος των διεπιφανειακών ιδιοτήτων και ενίσχυση της μηχανικής συμπεριφοράς σε κατάσταση φόρτισης ιδιαίτερα θλιπτικής.

Από την φύση τους τα κεραμικά αντέχουν σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, εμφανίζουν υψηλή αντοχή σε διαβρωτικά περιβάλλοντα, παρουσιάζουν ψαθυρότητα και είναι ευαίσθητα σε απότομες θερμοκρασιακές αλλαγές [5]. Μερικά από τα κεραμικά, τα οποία χρησιμοποιούνται ως μήτρες, είναι τα SiC, Si₃N₄, Al₂O₃, ZrO₂ και τα κεραμικά γυαλιά.

3.4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Τα σύνθετα υλικά λόγω των βελτιωμένων ιδιοτήτων τους έχουν αντικαταστήσει παραδοσιακά υλικά σε πολλές και ποικίλες εφαρμογές για αυτό και η παραγωγή τους αυξάνεται ραγδαία. Αυτό, όπως ήδη αναφέρθηκε, οφείλεται στις ελκυστικές τους ιδιότητες, οι οποίες μπορούν να ρυθμιστούν ανάλογα με τις απαιτήσεις των εφαρμογών, αλλά και στις πολύ καλές, ανοιγμένες ανά μονάδα μάζας, ιδιότητες που παρέχουν τη δυνατότητα για μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας και καυσίμων. Τα σύνθετα υλικά αξιοποιούνται κυρίως στην αεροδιαστημική, στις υποβρύχιες χρήσεις και στις μεταφορές. Βρίσκουν επίσης εφαρμογή και ως δομικά υλικά για παράδειγμα το τσιμέντο Portland θεωρείται σπουδαίο υλικό κατασκευών. Παρακάτω αναφέρονται μερικές εφαρμογές των πολυμερικών σύνθετων υλικών.

- Τα σύνθετα πολυμερικά υλικά ενισχυμένα με ίνες γυαλιού (κεραμικές ίνες) χρησιμοποιούνται σε δοχεία αποθήκευσης, σε βιομηχανικά δάπεδα, σε πλαστικούς σωλήνες και σε σκελετούς αυτοκινήτων και πλοίων.

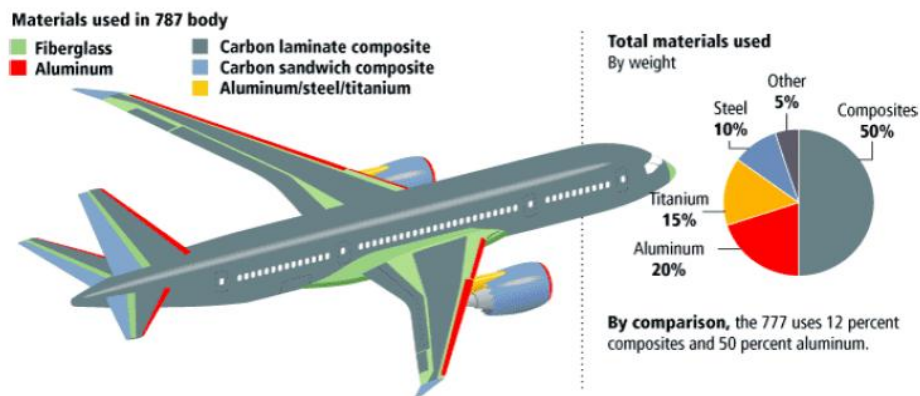
- Τα ενισχυμένα με ίνες άνθρακα (κεραμικές ίνες) σύνθετα πολυμερικά υλικά χρησιμοποιούνται ευρέως σήμερα σε αθλητικό εξοπλισμό και είδη αναψυχής (μπαστούνια γκολφ, καλάμια ψαρέματος), σε δοχεία πίεσης και σε δομικά εξαρτήματα αεροσκαφών και ελικοπτέρων (στο σκελετό, ή τα πτερύγια).

- Τα σύνθετα πολυμερικά υλικά με αγωγή εγκλείσματα χρησιμοποιούνται ως αγωγή συγκολλητικά και στοιχεία κυκλωμάτων στη μικροηλεκτρονική και ως επιστρώσεις μεταλλικών στοιχείων καθώς έχει αναφερθεί ότι κατέχουν αντιδιαβρωτική συμπεριφορά..

- Τα πολυμερικά σύνθετα βρίσκουν εφαρμογές και στην ιατρική, ιδίως τα τελευταία χρόνια η χρήση τους είναι εκτεταμένη. Τα χαρακτηριστικά εκείνα που κάνουν τα πολυμερή ιδανικά για τέτοιες εφαρμογές, είναι τα εξής: α) Το μικρό τους βάρος σε συνδυασμό με την χαμηλή τους πυκνότητα, β) η μη τοξικότητα που παρουσιάζουν πολλά πολυμερικά βιολικά και γ) η ιδιότητα τους να αποσυντίθεται με πολύ αργού ρυθμούς, με αποτέλεσμα να έχουν αντοχή στο χρόνο αλλά και να μην επιβαρύνουν το ανθρώπινο σώμα με υπολείμματα. Εφαρμογές πολυμερικών βιολικών αποτελούν αρτηριακά μοσχεύματα, βηματοδότες, καρδιακές βαλβίδες, καθετήρες, τεχνητές καρδιές, συστήματα μεταφοράς φαρμάκων, τεχνητά μέλη, φακοί επαφής, κ.α. Επιπλέον άλλη μια σημαντική εφαρμογή στον τομέα των βιολικών είναι το τεχνητό δέρμα το οποίο μπορεί να παρασκευαστεί και να αναπυχθεί τεχνητά στο εργαστήριο από πολυμερή. Μάλιστα το τεχνητό δέρμα έχει την ιδιότητα εκτός

του να καλύπτει ατέλειες και πληγές, να απελευθερώνει χημικές ουσίες που ευνοούν την ανάπτυξη του φυσικού δέρματος.

- Τέλος τα σύνθετα κεραμικής μήτρας βρίσκουν εφαρμογές στην αεροδιαστημική καθώς η μεγάλη θερμική αντοχή τους τα καθιστά κατάλληλα για την κάλυψη των εξωτερικών τοιχωμάτων των οχημάτων επαναφοράς στην ατμόσφαιρα. Ιδιαίτερα στην αεροπορική βιομηχανία τα σύνθετα υλικά παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο με το ποσοστό χρήσης τους να ξεπερνά το 45% στα τελευταία μοντέλα των επιβατικών αεροσκαφών, ενώ στα στρατιωτικά αεροσκάφη και στα αεροσκάφη γενικής αεροπορίας σε πολλές περιπτώσεις ξεπερνά το 70% (Σχήμα 3.4) με υπάρχουσες σκέψεις για αεροσκάφος παραγωγής εξ'ολοκλήρου από σύνθετα υλικά.



Σχήμα 3.4 Η κατανομή και το ποσοστό που τα σύνθετα υλικά χρησιμοποιούνται πλέον σε ένα επιβατικό αεροσκάφος. Εδώ στο νεότερο και πιο εξελιγμένο μέλος της εταιρείας Μπόιנג το 787

3.5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ & ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Πλεονεκτήματα

Το ενδιαφέρον των μηχανικών για τα σύνθετα υλικά εστιάζεται κυρίως σε δυο σημεία:

1. Στο συνδυασμό της μικρής πυκνότητας και των καλών μηχανικών ιδιοτήτων, ο οποίος επιτρέπει το σχεδιασμό ελαφρύτερων κατασκευών.
2. Στη μορφοποίηση του τελικού προϊόντος που γίνεται συνήθως σε ένα στάδιο, χωρίς να χρειάζονται ενδιάμεσες κατεργασίες, γεγονός που προσδίδει ευελιξία στο σχεδιασμό προϊόντων.

Κατασκευές χαμηλού βάρους

Τα σύνθετα υλικά που χρησιμοποιούνται στην αεροναυπηγική βιομηχανία παρουσιάζουν πολύ καλύτερη ειδική αντοχή και ειδική δυσκαμψία σε σχέση με τα μεταλλικά υλικά που αντικατέστησαν (χάλυβα, τιτάνιο, κράματα αλουμινίου). Επιπλέον, η συχνή απαίτηση για ενίσχυση της αντοχής ενός εξαρτήματος κατά ορισμένες μόνο διευθύνσεις, ικανοποιείται σε υψηλό βαθμό με τη χρήση ανισότροπων συνθέτων υλικών που σε σύγκριση με τα μεταλλικά υλικά, τα εξαρτήματα που είναι κατασκευασμένα από σύνθετα υλικά είναι 15-45% ελαφρύτερα. Τα σύνθετα υλικά έχουν σε γενικές γραμμές χαμηλή πυκνότητα, πράγμα που τους προσδίδει υψηλές ειδικές ιδιότητες (ως ειδική ιδιότητα προσδιορίζεται ο λόγος της μηχανικής ιδιότητας που μας ενδιαφέρει προς την πυκνότητα του υλικού) όπως το ειδικό μέτρο ελαστικότητας E/ρ , το ειδικό όριο διαρροής σ/ρ και το ειδικό όριο θραύσης σ_f/ρ [5].

Μείωση κόστους

Το κόστος παραγωγής και χρήσης εξαρτημάτων από σύνθετα υλικά, πολλές φορές είναι υψηλό, λόγω του κόστους των επιμέρους υλικών που συνθέτουν το σύνθετο (κυρίως των ινών). Ωστόσο με την απλοποίηση της γεωμετρίας των εξαρτημάτων, που μπορεί να επιτευχθεί λόγω της αξιοποίησης της ανισοτροπίας των υλικών αυτών και της μη αναγκαιότητας περαιτέρω κατεργασίας τους, το συνολικό κόστος της κατασκευής μειώνεται κατά πολύ. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτού του γεγονότος είναι τα κύρια στροφέια των ελικοπτερωτών όπου με την χρήση συνθέτων υλικών ο αριθμός κομματιών και το συνολικό κόστος κατασκευής μειώθηκε κατά 1/3 [6]. Γενικά μπορούμε να πούμε ότι το κόστος

κατασκευής κομματιών από σύνθετα υλικά είναι γενικά μικρότερο των αντίστοιχων μεταλλικών κομματιών.

Ειδικά πλεονεκτήματα συνθέτων υλικών

Άλλα πλεονεκτήματα των συνθέτων υλικών αφορούν κυρίως έναν παράγοντα πολύ σημαντικό για τις αερομεταφορές, την ασφάλεια. Τα σύνθετα που χρησιμοποιούνται στην αεροναυπηγική βιομηχανία είναι κυρίως υλικά με οργανική μήτρα, η οποία δεν είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στη διάβρωση. Τα ΣΥ αυτά έχουν εξαιρετική συμπεριφορά σε κόπωση, ενώ η ινώδης ενίσχυση εξασφαλίζει υψηλή αντοχή και σε αιφνίδιες μεταβολές φορτίου. Γενικά η διάδοση βλαβών είναι βραδεία, ενώ οι πολλαπλοί τρόποι θραύσης που εισάγονται με τη χρήση ΣΥ κάνουν την κατασκευή να λειτουργεί με ανοχή στη βλάβη και να παραμένει ασφαλής μεταξύ δύο προγραμματισμένων ελέγχων.

Τα εξαρτήματα κατασκευασμένα από σύνθετα υλικά επιδέχονται επισκευές. Ωστόσο, το κόστος της επιδιόρθωσης πολλές φορές συναγωνίζεται το κόστος αντικατάστασης του φθαρμένου εξαρτήματος. Τέλος, η χρήση συνθέτων υλικών στην αεροναυπηγική επιτρέπει την κατασκευή τμημάτων πολύπλοκης γεωμετρίας επιτυγχάνοντας έτσι τη βελτιστοποίηση των αεροδυναμικών παραμέτρων [7].

Μειονεκτήματα

Τρεις είναι οι κύριες μορφές αστοχίας των συνθέτων υλικών:

1. Αστοχία των ινών
2. Αστοχία της μήτρας
3. Αποκόλληση των στρώσεων

Αστοχία των ινών

Η αστοχία των ινών μπορεί να προέλθει κυρίως από την υπέρβαση των μηχανικών φορτίων τα οποία μπορεί να φέρει ένα δομικό στοιχείο κατασκευασμένο από σύνθετα υλικά [7].

Αστοχία της μήτρας

Η αστοχία της μήτρας περιγράφεται από ένα σύνθετο μηχανισμό ο οποίος επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Καθώς τα σύνθετα είναι ανισότροπα υλικά, μία από τις κυριότερες αιτίες για την αστοχία της μήτρας είναι η φόρτιση της κατασκευής σε διεύθυνση διαφορετική από αυτήν των ινών. Ένας ακόμη λόγος για την αστοχία της μήτρας είναι η βαθμιαία υποβάθμιση των ιδιοτήτων της λόγω της έκθεσης σε ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες. Τα πολυμερή τα οποία και αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό των μητρών είναι πολύ ευαίσθητα στην απορρόφηση υγρασίας και παρουσιάζουν έντονη βισκοελαστική συμπεριφορά [8].

Αποκόλληση των στρώσεων

Η διαστρωματική αστοχία περιγράφει τη θραύση των ΣΥ παράλληλα στις στρώσεις που αποτελούν τη σύνθετη πολύστρωτη δομή. Ο τύπος αυτός αστοχίας είναι ίσως ο συνηθέστερος στα σύνθετα υλικά και οφείλεται στο γεγονός ότι τα σύνθετα παρουσιάζουν μικρή διαστρωματική αντίσταση στη διάδοση της ρωγμής, η οποία ελέγχεται κυρίως από τις ιδιότητες της μήτρας του υλικού. Η αποκόλληση των στρώσεων μπορεί να εμφανιστεί σε αρκετές περιπτώσεις φόρτισης όπως: ελαφρά υπερφόρτιση κατά τη λειτουργία, κρουστικά φορτία χαμηλής ταχύτητας και χτυπήματα από θραύσματα μικρής μάζας. Γενικότερα εμφανίζεται σε περιπτώσεις όπου μόνο ένα πεπερασμένο ποσό ενέργειας διατίθεται για τη δημιουργία βλάβης [9].

3.6 ΝΑΝΟΣΥΝΘΕΤΑ ΠΟΛΥΜΕΡΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Ορισμένες Ένας συναρπαστικός τομέας της σύγχρονης έρευνας είναι αυτός των νανοσυνθέτων υλικών [10]. Το πεδίο αυτό περιλαμβάνει τη μελέτη των πολυφασικών υλικών, όπου μια ή περισσότερες από τις χωρικές διαστάσεις τους βρίσκονται στην περιοχή των νανομέτρων ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$), τυπικά διαστάσεων μέχρι 100 nm. Αυτό που ξεχωρίζει τα νανοςύνθετα από τα άλλα συμβατικά σύνθετα υλικά είναι η ικανότητα τους να συνδυάζουν ιδιότητες, οι οποίες είναι απαγορευτικές για τα παραδοσιακά υλικά, αλλά και η μεγάλη λειτουργικότητα τους. Όπως ήδη αναφέρθηκε, τα σύνθετα αποτελούνται από δύο φάσεις, τη μήτρα και την ενισχυτική φάση. Ονομάζονται νανοςύνθετα, όταν η ενισχυτική φάση είναι της τάξης του 1 nm σε μια τουλάχιστον από τις διαστάσεις της. Τέτοια υλικά είναι τα φουλερένια, οι νανοσωλήνες άνθρακα, τα στρωματικά άλατα πυριτίου (layered silicate), αλούμινα νανოსωματίδια μετάλλων και τα δενδριμερή (dendrimers) τα οποία τα τελευταία χρόνια παρουσιάζουν ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον.

Τα σύνθετα υλικά αναπτύχθηκαν κυρίως ως δομικά υλικά, με χαρακτηριστικό παράδειγμα τα ενισχυμένα με ίνες άνθρακα πλαστικά, που αναπτύχθηκαν στη δεκαετία του '60. Στη συνέχεια, δόθηκε έμφαση στη βελτίωση της μηχανικής και της θερμικής τους αντοχής, με αποτέλεσμα άλλες φυσικές ιδιότητες ή λειτουργικές συμπεριφορές εν μέρει να αγνοηθούν. Εντούτοις, η εμφάνιση της νανοτεχνολογίας έχει αλλάξει ριζικά την κατάσταση και έχει ανοίξει νέες προοπτικές στην αξιοποίηση των νανοςυνθέτων ως λειτουργικών υλικών και όχι απλά ως δομικών υλικών, μέσω της εκμετάλλευσης των οπτικών, ηλεκτρικών, ηλεκτρονικών, μαγνητικών, χημικών και βιολογικών λειτουργιών τους [11].

Το επιστημονικό και τεχνολογικό ενδιαφέρον που παρουσιάζουν τα νανοςύνθετα, οφείλεται κατά κύριο λόγο στην ικανότητα ελέγχου των ιδιοτήτων τους μέσω της δυνατότητας μεταβολής της διεπιφάνεια μήτρας-εγκλεισμάτων, το βαθμό διασποράς, το ογκομετρικό κλάσμα, το σχήμα και το μέγεθος της ενισχυτικής φάσης. Αυτό όμως που ξεχωρίζει τα νανοςύνθετα από τα παραδοσιακά σύνθετα υλικά είναι το μικρό μέγεθος των εγκλεισμάτων. Το μικρό μέγεθος συνεπάγεται ότι τα σωματίδια δεν δημιουργούν μεγάλες συγκεντρώσεις μηχανικών τάσεων και επομένως η ολκιμότητα του πολυμερούς δεν μειώνεται σημαντικά. Ακόμα απόρροια του μεγέθους της ενισχυτικής φάσης είναι οι μοναδικές ιδιότητες των υλικών αυτών. Στα νανο-σύνθετα δημιουργείται μια μεγάλη διεπιφάνεια λόγω των μικρών ενισχυτών. Η διεπιφάνεια είναι αυτή που καθορίζει το βαθμό αλληλεπίδρασης μεταξύ του ενισχυτικού μέσου και του πολυμερούς και με αυτόν τον τρόπο καθορίζονται οι μηχανικές και ηλεκτρικές ιδιότητες του συστήματος. Στα παραδοσιακά

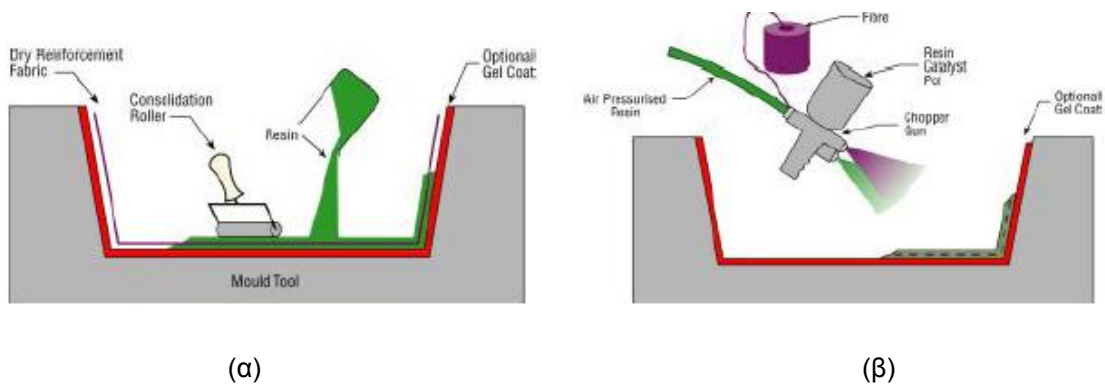
σύνθετα, η διεπιφάνεια είναι η περιοχή που έχει ως αρχή το σημείο εσωτερικά της ίνας στο οποίο οι ιδιότητες διαφέρουν από εκείνες του κύριου όγκου της ενισχυτικής φάσης και τελειώνει στο εσωτερικό σημείο της μήτρας, στο οποίο οι ιδιότητες είναι ίδιες με εκείνες του κύριου όγκου της μήτρας [12].

Η περιοχή αυτή μπορεί να έχει διαφορετική κρυσταλλικότητα, διαφορετικό βαθμό σκλήρυνσης (curing) και οι πολυμερικές αλυσίδες να εμφανίζουν διαφορετική κινητικότητα. Το μέγεθος της διεπιφάνειας είναι της τάξης των 2 nm μέχρι και της τάξης των 50 nm. Αν η διεπιφάνεια είναι πιο εκτεταμένη, τότε η συμπεριφορά της πολυμερικής μήτρας μπορεί να διαφοροποιηθεί για μικρότερα ποσοστά ενισχυτικού μέσου. Επομένως, ελέγχοντας το βαθμό αλληλεπίδρασης της μήτρας με τη νάνο-ενίσχυση μπορούμε και να ελέγξουμε τις ιδιότητες του σύνθετου συστήματος. Πολυάριθμες προσπάθειες έχουν γίνει παγκοσμίως για τη μελέτη των νανοϋλικών μέσων ενίσχυσης, καθώς επίσης και των νανοσυνθέτων υλικών, σε όλους τους τομείς τους όπως στη σύνθεση, την επεξεργασία, τη διασπορά, το χαρακτηρισμό, τη διεπιφανειακή πρόσφυση (μεταξύ μήτρας και ενισχυτικής φάσης), τη μεταφορά μηχανικού φορτίου κ.α. Ο λόγος για τον οποίο τα νανοσύνθετα υλικά πολυμερικής μήτρας PMCs (polymeric matrix composites) είναι τόσο ελκυστικά, ειδικότερα για μηχανικές εφαρμογές, οφείλεται κατά κύριο λόγο στο ότι η μηχανική απόδοση της ενίσχυσης σε νανοκλίμακα (10^{-9} m) υπερέρχει σημαντικά της ενίσχυσης σε μικροκλίμακα (10^{-6} m) [13].

3.7 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ

Ανοικτή μορφοποίηση (open molding)

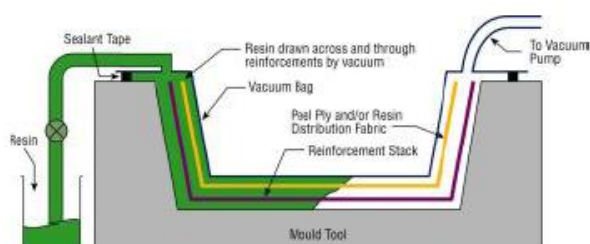
Τα υλικά ενίσχυσης περιλαμβάνουν συνεχείς ίνες σε μορφή υφασμάτων καθώς και κοντές ίνες. Η μήτρα γενικά είναι ρητίνη και μπορεί να εφαρμοστεί με ένα ρολό χεριού, με συσκευή ψεκασμού ή χειρονακτικά. Αυτή η διεργασία γενικά γίνεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και σε ατμοσφαιρική πίεση. Δύο παραλλαγές της μορφοποίησης αυτής είναι η επίστρωση με το χέρι (Hand Lay-up) και η επίστρωση με ψεκασμό (Spray-up).



Σχήμα 3.5 Τεχνικές μορφοποίησης (α) επίστρωσης με το χέρι και (β) επίστρωσης με ψεκασμό.

Μορφοποίηση με ασκό κενού (vacuum bag molding)

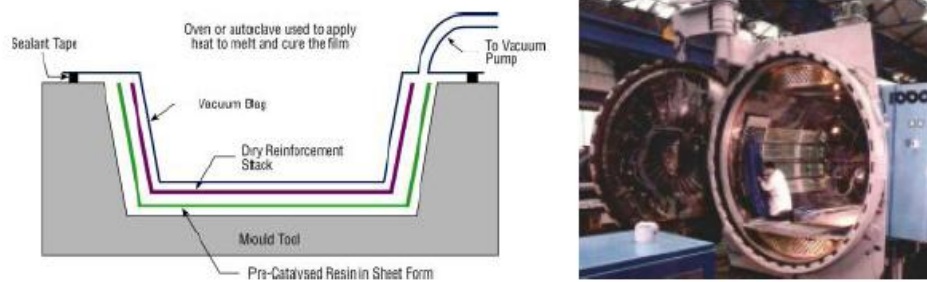
Τα υλικά ενίσχυσης μπορούν να τοποθετηθούν στο κατώτερο τμήμα του καλουπιού γενικά σαν υφάσματα συνεχών ινών. Η μήτρα γενικά είναι μία ρητίνη. Η στρώση των ινών μπορεί να είναι προεμβαπτισμένη στην ρητίνη (prepreg) υφάσματος ή «unidirectional» (παράλληλων ινών μιας διεύθυνσης) υφασμάτων. Επιπλέον, το υγρό μητρικό υλικό εισάγεται στην στρώση των ινών. Έπειτα εφαρμόζεται το κενό στην εσοχή του καλουπιού. Αυτή η διεργασία μπορεί να εφαρμοστεί είτε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος με ατμοσφαιρική πίεση ή υψηλότερη θερμοκρασία με ατμοσφαιρική πίεση να δρα πάνω στον ασκό κενού.



Σχήμα 3.6 Τεχνική μορφοποίησης με ασκό κενού

Μορφοποίηση με αυτόκλειστο φούρνο (autoclave molding)

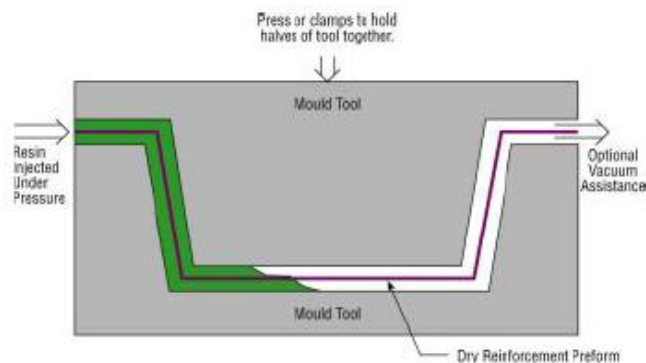
Τα υλικά ενίσχυσης περιλαμβάνουν συνεχείς ίνες σε μορφή υφασμάτων. Σε κάποιες περιπτώσεις, ένα υμένιο ρητίνης τοποθετείται πάνω από το κατώτερο καλούπι και από πάνω τοποθετείται η ξηρή στρώση. Έπειτα, η διάταξη τοποθετείται μέσα στον αυτόκλειστο φούρνο. Η διαδικασία γενικά εφαρμόζεται σε υπερυψωμένη πίεση και θερμοκρασία. Η χρήση της υπερυψωμένης πίεσης διευκολύνει την αύξηση του ογκομετρικού κλάσματος και χαμηλή συγκέντρωση σε ατέλειες για μέγιστη δομική απόδοση .



Σχήμα 3.7 Τεχνική μορφοποίησης με αυτόκλειστο φούρνο

Μορφοποίηση με μεταφορά ρητίνης (resin transfer molding)

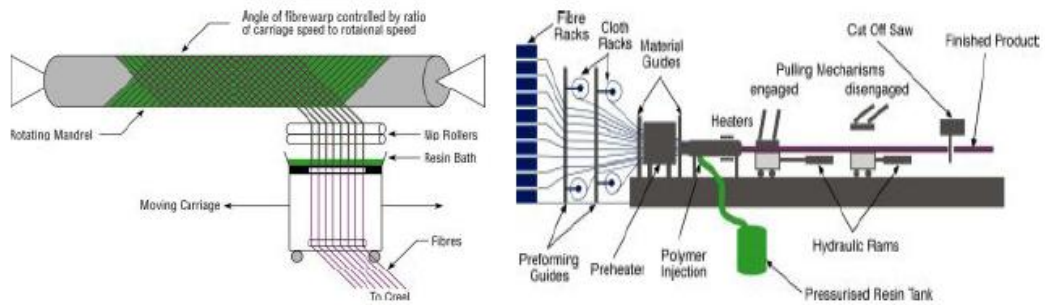
Η ειδοποιός διαφορά της μορφοποίησης με μεταφορά ρητίνης είναι ότι τα υλικά ενίσχυσης τοποθετείται μέσα στην κοιλότητα και το καλούπι κλείνει πριν την εισαγωγή της ρητίνης. Η μορφοποίηση με μεταφορά ρητίνης περιλαμβάνει διάφορες παραλλαγές που διαφέρουν στην τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την εισαγωγή της ρητίνης στην κοιλότητα. Αυτές οι παραλλαγές περιλαμβάνουν τα πάντα από την διάχυση εν κενώ (vacuum infusion) μέχρι την μορφοποίηση μεταφορά ρητίνης υποβοηθούμενη με κενό (vacuum assisted resin transfer molding). Αυτή η διεργασία μπορεί να εφαρμοστεί είτε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος είτε σε υπερυψωμένες θερμοκρασίες.



Σχήμα 3.8 Τεχνικές μορφοποίησης με μεταφορά ρητίνης

Άλλα είδη Μορφοποίησης

Άλλα είδη μορφοποίησης είναι η μορφοποίηση με συμπίεση (compression molding), μορφοποίηση με έλξη (pultrusion), περιέλιξη ινών (filament winding), μορφοποίηση με βυθιστική κέντρωση (centrifugation casting).



Σχήμα 3.9 Τεχνικές μορφοποίησης με περιέλιξη ινών (filament winding) και με έλξη (pultrusion)

3.8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΒΙΒΛΙΑ

- 1) Παναγιώτου Κ., Επιστήμη και Τεχνολογία Πολυμερών, 2η έκδοση, Θεσσαλονίκη (2000)

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΑ ΒΙΒΛΙΑ

- 2) W. D. Callister, JR, «*Επιστήμη και Τεχνολογία των Υλικών*», 5η έκδοση (2004).
- 3) Mel Schwartz editor, *Encyclopedia of Materials*, Wiley-Interscience, volumes 2, 2002
- 4) Hull D., Clyne T.W.: «*An Introduction to Composite Materials*», Cambridge University Press (1996).
- 5) M. G. Bader, “The Composites Market”, In *Comprehensive Composite Materials*, 6.01, (2000), Elsevier Science Ltd
- 6) P.C. Le Baron, A. Wang, T.J. Pinnavaia, *Appl. Clay Sci.*, 15, 11 (1999).
- 7) M. Sumita, Y. Tsukumo, K. Miyasaka, K. Ishikawa, *J. Mater. Sci.*, 18, 1758 (1983).
- 8) P.B. Messersmith, E.P. Giannelis, *Chem. Mater.*, 6, 1719 (1994)
- 9) S. Iijima, *Nature*, 354, 56 (1991).
- 10) N.G. McCrum, B.E. Read and G. Williams, “Anelastic and Dielectric Effects in Polymeric Solids” (Wiley, London, 1967) pp 108-111
- 11) T. Tanaka, G.C. Montanari, R. Mülhaupt. «*Polymer Nanocomposites as dielectrics and electrical insulation-perspectives for processing technologies, material characterization and future application*». Vol11 No %, 2004

- 12)** Dang Zhi-Min, Xu Hai-Ping, Wang Hai-Yan “Significantly enhanced lowfrequency dielectric permittivity in the BaTiO₃/ poly(vinylidene fluoride) nanocomposite” Applied Physics Letters (2007).
- 13)** H. Daniel Wagner and Richard Vaia, “*Nanocomposites, issues at the interface*” , Materialstoday 38-42 (2004).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

4

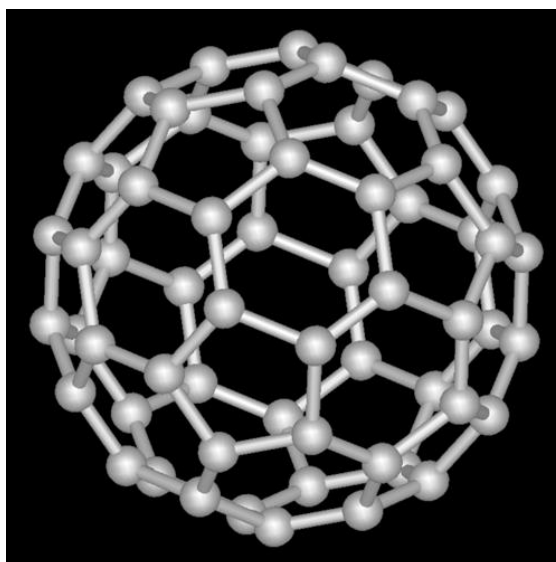
**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ
ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΣΤΟΥΣ
ΝΑΝΟΣΩΛΗΝΕΣ ΑΝΘΡΑΚΑ**

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

- 4.1 ΓΕΝΙΚΑ
- 4.2 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ
- 4.3 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η ιστορία των νανოსωλήνων άνθρακα (ΝΣΑ), σε αντίθεση με ότι πιστεύει η πλειοψηφία της ακαδημαϊκής κοινότητας και η ευρεία επιστημονική βιβλιογραφία που αποδίδει την ανακάλυψή τους στον S.Iijima (της εταιρείας NEC) το 1991 [1], ξεκινά από τους L.V. Radushkevich και M. Lukyanovich που το 1952 δημοσίευσαν στο **Soviet Journal of Physical Chemistry** καθαρές φωτογραφίες νανοςωλήνων άνθρακα διαμέτρου 50nm. Επίσης πριν το 1991, αρκετοί επιστήμονες έχουν παρουσιάσει νανοςωλήνες άνθρακα που έχουν παραχθεί με διάφορες μεθοδολογίες και σε διαφορετικές συνθήκες (1976 Oberlin, Endo and Koyama, 1979 J. Abrahamson, 1981 σοβιετικοί επιστήμονες με δημοσίευσή τους στο *Investiya Akademii Nank SSSR*, 1987 G.H. Tennent). Εδώ θα πρέπει σημειωθεί πως ο S.Iijima βασίστηκε στην αρχική παρατήρηση των φουλερενίων το 1985 από τον H. Kroto [2] στον οποίο απονεμήθηκε και το βραβείο Νόμπελ Χημείας το 1996 για την εργασία του πάνω στα φουλερένια .



Σχήμα 4.1 Δομή φουλουρενίου.

4.2 ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Οι ΝΣΑ είναι μακριά, λεπτά σωληνωτά δίκτυα των οποίων τα τοιχώματα απαρτίζονται από άτομα άνθρακα που έχουν εξαγωνική δομή και συχνά είναι καλυμμένα σε κάθε άκρη. Όλες οι παραπάνω ιδιότητες-χαρακτηριστικά μπορούν να μετρηθούν πάνω σε ένα μόνο νανοσωληνίσκο [3]. Η καθαρότητα της δομής των ΝΣΑ οδηγεί στις εκπληκτικές τιμές του μέτρου ελαστικότητας (1 Tera Pa!) και εκπληκτική αντοχή (δεκάδες GPa), ενώ ταυτόχρονα εμφανίζουν παραμόρφωση θραύσης της τάξης του 20% [4]. Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι νανοσωληνίσκων άνθρακα οι ΜΤΝΣΑ (ΜονοΤοιχωματικοί ΝανοΣωληνίσκοι Άνθρακα ή Single-Wall Carbon Nanotubes - SWCNTs) οι ΔΤΝΣΑ (ΔυΤοιχωματικοί ΝανοΣωληνίσκοι Άνθρακα ή Double-Wall Carbon Nanotubes - DWCNTs) και οι ΠΤΝΣΑ (Πολύ-Τοιχωματικοί ΝανοΣωληνίσκοι Άνθρακα ή Multi-Walled Carbon Nanotubes - MWCNTs). Το επιστημονικό και ερευνητικό ενδιαφέρον επικεντρώνεται στην εξερεύνηση της δομής τους και στους νόμους που τη διέπουν αλλά και στις μελλοντικές εφαρμογές τους. Οι πιο ενδιαφέρουσες ιδιότητες αυτών των δομών είναι τα ηλεκτρικά-ηλεκτρονικά, μηχανικά και χημικά χαρακτηριστικά τους τα οποία ανοίγουν το δρόμο για μελλοντική χρήση τους.

Από τα παραπάνω γίνεται άμεσα αντιληπτό ότι δεν είναι τυχαίο που οι ΝΣΑ βρίσκονται στην κορυφή της λίστας του ενδιαφέροντος των απανταχού ερευνητών. Λίγο μετά την έναρξη της νέας χιλιετίας το ενδιαφέρον των ερευνητών επικεντρώθηκε και στη χρήση τους ως ενισχυτική φάση σε πολυμερή συστήματα και η διερεύνηση των φυσικών, μηχανικών και χημικών ιδιοτήτων των πολυμερών που προέκυπταν. Μεγάλο μέρος επίσης της έρευνας αφορούσε και αφορά την καλύτερη δυνατόν κατανομή/διασπορά των ΝΣΑ στα πολυμερή καθώς και οι τρόποι βελτιστοποίησης της [5].

Ο Allaoui και οι συνεργάτες του [6] συνέθεσαν πολυμερή νανوسύνθετα εποξικής ρητίνης με ενίσχυση ΠΤΝΣΑ. Για την παρασκευή της μήτρας του νανοσύνθετου απαιτήθηκε η χρήση ελαστομερούς εποξικής μήτρας και εξέτασαν διάφορες περιεκτικότητες ΝΣΑ κατά βάρος. Όπως παρατηρήθηκε το μέτρο ελαστικότητας και η τάση θραύσης διπλασιάστηκαν και τετραπλασιάστηκαν για νανοσύνθετα με περιεκτικότητες 1 και 4% κ.β. αντίστοιχα.

Ο Bai και η ομάδα του [7] διερεύνησαν την επίδραση του μήκους των ΠΤΝΣΑ και του μεγέθους των συσσωματωμάτων τους στις ηλεκτρικές και στις μηχανικές ιδιότητες νανοπολυμερών, που προκύπτουν από την ανάμιξη εποξικής ρητίνης βισφαινόλης Α-επιχλωριδίνης με ΠΤΝΣΑ. Στην περίπτωση των μηχανικών ιδιοτήτων η προσθήκη ΠΤΝΣΑ

παρατήρησαν πως αυξάνει το μέτρο ελαστικότητας E και μειώνει την παραμόρφωση θραύσης του νανοπολυμερούς. Επίσης για την παρασκευή ενός νανοπολυμερούς με υψηλό αποτέλεσμα βελτίωσης της μηχανικής συμπεριφοράς του ένας συμβιβασμός του μεγέθους των συσσωματωμάτων και του λόγου μήκους/διαμέτρου των νανοσωληνίσκων άνθρακα δίνει πολύ καλύτερα αποτελέσματα.

Ο Gojny [8] και οι συνεργάτες του συνέθεσαν νανοπολυμερή βασισμένα στο σύστημα μιας τροποποιημένης DGEBA-εποξικής ρητίνης (L135i) και ενός σκληρυντή αμίνης (H137i). Ως φάση ενίσχυσης χρησιμοποιήθηκαν τρεις τύποι νανοσωληνίσκων άνθρακα με τα εξής χαρακτηριστικά: α) MTNΣΑ μέσης διαμέτρου μικρότερη από 2nm και μήκους μερικών μικρομέτρων, β) τροποποιημένοι ΠΤΝΣΑ (-NH₂) απαλλαγμένοι από τυχόν ακαθαρσίες με μέση εξωτερική διάμετρο 15 nm και μήκος μεγαλύτερο των 50 μm και γ) τροποποιημένοι ΔΤΝΣΑ (-NH₂) μέσης εξωτερικής διαμέτρου 2.8 nm και μήκους μερικών μικρομέτρων. Επίσης μελετήθηκε και η συμπεριφορά νανοσύνθετων του ίδιου συστήματος μήτρας/σκληρυντή με φάση ενίσχυσης σωματίδια carbon black Printex XE2-Degussa/ Germany (CB) εξαιρετικά υψηλής αγωγιμότητας, έτσι ώστε να εκτιμηθεί η επίδραση της γεωμετρίας του σωματιδίου στις βελτιώσεις σχετικά με τις μηχανικές ιδιότητες. Κατά τη μελέτη των αποτελεσμάτων βρέθηκε μια συσχέτιση μεταξύ της προσφερόμενης ειδικής επιφάνειας των νανοσωληνίσκων και της ικανότητας διασπορά τους στην έκταση της μήτρας, οπότε παρατηρήθηκε πως η ικανότητα της διασποράς φθίνει με την αύξηση της ειδικής επιφάνειας. Από την άλλη η τροποποίηση της επιφάνειας των νανοσωληνίσκων διευκολύνει τη διασπορά τους σε κάθε περίπτωση και σταθεροποιεί τα αιωρήματα των νανοσωληνίσκων μειώνοντας έτσι την επανασυσσωμάτωσή τους. Το ενδεχόμενο οι νανοσωληνίσκοι άνθρακα να προκαλούν βελτίωση στην αντοχή και στη δυσκαμψία των νανοσύνθετων δοκιμίων συσχετίζεται με τις ειδικές μηχανικές ιδιότητες, τον λόγο μήκους/διαμέτρου καθώς και την ειδική επιφάνεια των νανοσωματιδίων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, η εκμετάλλευση της προσφερόμενης ειδικής επιφάνειας να παίζει σημαντικό ρόλο στη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων του πολυμερούς. Παρατηρήθηκε επίσης πως η διασπορά και η ενδοεπιφανειακή πρόσφυση των νανοσωματιδίων στην εποξική πολυμερή μήτρα αποτελεί κλειδί στην ανάπτυξη των νανοσύνθετων. Στο πλαίσιο της απαίτησης μια καλής πρόσφυσης σημειώνεται πως σύμφωνα με τα αποτελέσματα η χημική τροποποίηση της επιφάνειας των νανοσωληνίσκων δεν διευκολύνει μόνο τη διασπορά τους αλλά ταυτόχρονα ενισχύει τους δεσμούς τους με την εποξική μήτρα επιτυγχάνοντας ισχυρότερη πρόσφυση. Τέλος όσον αφορά στην παράμετρο της περιεκτικότητας των νανοσύνθετων δοκιμίων παρατηρήθηκε πως μικρά ποσοστά νανοσωληνίσκων άνθρακα είναι ικανά να

επιφέρουν αύξηση των μηχανικών ιδιοτήτων. Ενδεικτικά αναφέρεται πως σύμφωνα με τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μελέτης και υπό τις ισχύουσες προϋποθέσεις οι τροποποιημένοι ΔΠΤΝΣΑ (-NH₂) παρουσιάζουν τις πιο σημαντικές βελτιώσεις στην αντοχή σε εφελκυσμό (+10%), στη δυσκαμψία (+15%) και ειδικότερα στην αντοχή θραύσης (+43%) των νανοσύνθετων δοκιμίων για περιεκτικότητες μόλις 0.5% κ.β ΔΠΤΝΣΑ (-NH₂).

Ο Breton [9] και η ομάδα του στην ερευνά τους παρασκεύασαν νανοπολυμερή εποξικής ρητίνης χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικούς καταλυτικά αναπτυσσόμενους τύπους ΠΤΝΣΑ ως φάση ενίσχυσης. Οι ΠΤΝΣΑ στη γενικότητα αποτελούν καλή φάση ενίσχυσης για την αύξηση της ελαστικής συμπεριφοράς του νανοσύνθετου. Ωστόσο στην παρούσα έρευνα αυξάνει η ψαθυρότητα του νανοσύνθετου ως αποτέλεσμα του ισοτροπικού προσανατολισμού των ΠΤΝΣΑ στο εσωτερικό της μήτρας. Όπως προτείνεται από τους ερευνητές για την αποφυγή αυτού του φαινομένου θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως φάση ενίσχυσης της πολυμερούς μήτρας ευθυγραμμισμένοι νανοσωληνίσκοι άνθρακα, οι οποίοι παρουσιάζουν μικρή ειδική επιφάνεια που βοηθά σε μια αποτελεσματική εμπότιση. Με άλλα λόγια οι ευθυγραμμισμένοι ΝΣΑ είναι πολύ πιο εύκολο να γίνει η διασπορά τους μέσα στο υλικό της μήτρας.

Ο F.H. Gojny [10] και οι ερευνητές του παρασκεύασαν νανοπολυμερή μήτρας εποξικής ρητίνης και φάσης ενίσχυσης ΔΤΝΣΑ κάνοντας χρήση της τεχνικής “*calandring*”. Οι χρησιμοποιούμενοι νανοσωληνίσκοι άνθρακα εξωτερικής διαμέτρου 2.8 nm και μήκους μερικών μικρομέτρων της εταιρείας Nanocyl αναμείχθηκαν είτε με τη μορφή στην οποία παρελήφθησαν, είτε ύστερα από χημική τροποποίησή τους με ένα σύστημα τροποποιημένης εποξικής ρητίνη Βισφαινόλης Α και ενός σκληρυντή τύπου αμίνης. Για τη μελέτη των μηχανικών ιδιοτήτων των νανοσύνθετων τα δοκίμια υποβλήθηκαν σε μονοαξονικό εφελκυσμό. Από τη μελέτη των αποτελεσμάτων προκύπτει πως η προσθήκη μιας μικρής ποσότητας νανοσωληνίσκων άνθρακα της τάξης του 0.1% κ.β έχει ως αποτέλεσμα τη βελτίωση του μέτρου ελαστικότητας της πολυμερούς μήτρας. Γενικά τα νανοσύνθετα εποξικής ρητίνης/ ΔΤΝΣΑ παρουσιάζουν αυξημένη μηχανική αντοχή σε εφελκυσμό καθώς και υψηλότερο μέτρο ελαστικότητας διατηρώντας την ολκιμότητά τους. Σημειώνεται πως μεταξύ των δύο τύπων νανοσωληνίσκων άνθρακα οι τροποποιημένοι δίνουν εμφανώς καλύτερα αποτελέσματα. Τέλος όσον αφορά στην βελτίωση της μηχανικής αντοχής θραύσης παρατηρήθηκε αύξηση ανεξάρτητα του είδους των νανοσωματιδίων της φάσης ενίσχυσης. Τα πειραματικά αποτελέσματα που προέκυψαν επαληθεύθηκαν και θεωρητικά μέσω των σχέσεων *Halpin-Tsai*.

Ο Yeh [11] και οι συνεργάτες του διερεύνησαν τη μεταβολή των μηχανικών ιδιοτήτων δύο διαφορετικών τύπων νανοπολυμερών ως προς την φάση ενίσχυσης μήτρας φαινολικής ρητίνης PF- 650. Για την ενίσχυση της μήτρας χρησιμοποιήθηκαν α) ΠΤΝΣΑ-πλέγματος, οι οποίοι βρίσκονται έτσι μεταξύ τους ώστε να σχηματίζουν ένα πλέγμα, έτσι όπως ακριβώς λαμβάνονται μετά από τη διαδικασία CVD και β) διασπαρμένοι-ΠΤΝΣΑ, οι οποίοι προκύπτουν μετά από διαδικασία άλεσης, σε μορφή συσσωματωμάτων φέροντας κάποια σωματίδια άμορφου άνθρακα. Οι δύο παραπάνω τύποι ΠΤΝΣΑ παρουσιάζουν μέσα μήκη 17.57 nm και 3.07 nm αντίστοιχα. Τα νανοσύνθετα φαινολικής ρητίνης/ΠΤΝΣΑ-πλέγματος και φαινολικής ρητίνης/ διασπαρμένων-ΠΤΝΣΑ, που προέκυψαν, υποβλήθηκαν σε δοκιμές εφελκυσμού οπότε υπολογίστηκαν οι μηχανικές τους ιδιότητες. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων έδειξαν πως τα νανοσύνθετα με φάση ενίσχυσης ΠΤΝΣΑ-πλέγματος παρουσίασαν καλύτερες μηχανικές ιδιότητες από αυτές των νανοσύνθετων των διασπαρμένων-ΠΤΝΣΑ, γεγονός το οποίο οφείλεται στο μεγαλύτερο μήκος των νανοσωληνίσκων της πρώτης περίπτωσης καθώς επίσης και στην καλύτερη διασπορά τους στην έκταση της μήτρας.

Ο Liu [12] και η ομάδα του εξέτασαν την επίδραση που επιφέρει η διασπορά χημικώς τροποποιημένων ΠΤΝΣΑ στις μηχανικές ιδιότητες μιας ελαστομερούς και μιας ψαθυρής εποξικής ρητίνης οι οποίες ως γνωστόν παρουσιάζουν τελείως διαφορετική μηχανική συμπεριφορά. Για τις ανάγκες των πειραμάτων οι νανοσωληνίσκοι άνθρακα τροποποιήθηκαν χημικώς πριν την προσθήκη τους στην πολυμερή μήτρα με αποτέλεσμα την δημιουργία νανοσωληνίσκων άνθρακα που φέρουν στα άκρα τους ομάδες καρβοξυλίων (ΠΤΝΣΑ-COOH). Τα δοκίμια των νανοσύνθετων των δύο τύπων ρητίνης με φάση ενίσχυσης τροποποιημένους και μη ΠΤΝΣΑ υποβάλλονται σε μονοαξονικό εφελκυσμό. Στην περίπτωση του ελαστομερούς συστήματος περιεκτικότητας 1% ΠΤΝΣΑ-COOH παρατηρήθηκε αύξηση του μέτρου ελαστικότητας κατά 28% σε σχέση με την καθαρή ελαστομερή εποξική ρητίνη. Αντίθετα για τα δοκίμια με μήτρα ψαθυρή εποξική ρητίνη σημειώθηκε μόνο οριακή αύξηση του μέτρου ελαστικότητας σε περιεκτικότητα 1% κ.β. ΠΤΝΣΑ-COOH, που μπορεί να χαρακτηριστεί έως και ασήμαντη. Η διαφορά στην αύξηση του μέτρου ελαστικότητας μεταξύ των δύο τύπων νανοσύνθετων οφείλεται κατά κύριο λόγο στην ποιότητα της διασποράς των νανοσωληνίσκων στην έκταση της πολυμερούς μήτρας, που στην περίπτωση της ελαστομερούς μήτρας όπως έχει προαναφερθεί είναι πολύ καλύτερη. Όσον αφορά στη βελτίωση της αντοχής κρούσης των δοκιμίων σημαντική αύξηση έως 50% σε σχέση με την καθαρή μήτρα παρατηρήθηκε στα νανοσύνθετα της ψαθυρής εποξικής ρητίνης.

Ο Thostenson [13] χρησιμοποίησε την τεχνική “calandring” για τη διασπορά ΠΤΝΣΑ αναπτυσσόμενων με διαδικασία CVD διαμέσου ισχυρής διατμητικής μίξης. Για τη μελέτη της εξέλιξης της μικροδομής και νανοδομής κατά τη διάρκεια της διαδικασίας παρασκευής χρησιμοποιήθηκε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο οπότε εκτιμήθηκαν και οι βέλτιστες συνθήκες της διαδικασίας για την παραγωγή νανοσύνθετων υψηλής διασποράς. Μετά από τον προσδιορισμό της διαδικασίας παρασκευής, ακολούθησε η προετοιμασία νανοπολυμερών με νανοσωληνίσκους άνθρακα και εποξική ρητίνη βισφαινόλης-f επιχλωριδίνης με τη χρήση ενός αρωματικού σκληρυντή τύπου δια-αμίνης σε διάφορες περιεκτικότητες ΠΤΝΣΑ. Στα οποία εκτιμήθηκε η αντοχή θραύσης καθώς και οι ηλεκτρικές και θερμικές τους ιδιότητες. Από τη μελέτη των αποτελεσμάτων παρατηρήθηκε πως τα εν λόγω νανοσύνθετα παρουσιάζουν σημαντική αύξηση της αντοχής θραύσης σε μικρές περιεκτικότητες νανοσωληνίσκων. Ο υψηλός λόγος μήκους/ διαμέτρου των χρησιμοποιούμενων ΠΤΝΣΑ έχει ως αποτέλεσμα τη δυνατότητα σχηματισμού αγωγίμων διηθημένων δικτύων στην έκταση της μήτρας σε συγκεντρώσεις μικρότερες από το 0.1% κ.β. ΠΤΝΣΑ. Όσον αφορά στη θερμική αγωγιμότητα των νανοσύνθετων, παρουσιάζει γραμμική αύξηση με την αύξηση της συγκέντρωσης νανοσωληνίσκων φτάνοντας μια μέγιστη τιμή 60% σε περιεκτικότητα 5% κ.β ΠΤΝΣΑ.

Ο Mottaghitalab [14] και η ομάδα του παρασκεύασαν νανοπολυμερή πολυανιλίνης/ MTNΣΑ ίνας μέσω μιας διαδικασίας υγρής περιστροφής (wet spinning process). Η βελτίωση των ιδιοτήτων είναι αποτέλεσμα της συνεργίας των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των MTNΣΑ ακιτης πολυανιλίνης σε σχέση πάντα με την καθαρή πολυανιλίνη. Επίσης από ρεολογικές μελέτες και φασματοσκοπία Raman εξάγεται το συμπέρασμα πως οι βελτιωμένες ιδιότητες των νανοσύνθετων οφείλονται στις ισχυρές αλληλεπιδράσεις μεταξύ της πολυανιλίνης και των MTNΣΑ.

Ο Paiva και οι συνεργάτες του [15] εξέτασαν τις μηχανικές ιδιότητες νανοπολυμερών με τροποποιημένους και μη νανοσωληνίσκους άνθρακα σε πολυβύνιλο-αλκολική μήτρα (PVA). Οι νανοσωληνίσκοι πριν την προσθήκη τους στην πολυμερή μήτρα τροποποιήθηκαν μέσω χημικής διαδικασίας με PVA μικρού μοριακού βάρους. Στη συνέχεια οι υδατοδιαλυτοί τροποποιημένοι νανοσωληνίσκοι άνθρακα, που προέκυψαν, διασκορπίστηκαν στη μήτρα της PVA με μια μέθοδο υγρής χύτευσης, με αποτέλεσμα την δημιουργία νανοσύνθετων φιλμ PVA/ νανοσωληνίσκων, που χαρακτηρίζονται από ομοιογενή διασπορά της φάσης ενίσχυσης στην έκταση της μήτρας. Για λόγους σύγκρισης των αποτελεσμάτων κατασκευάστηκαν επίσης φιλμ PVA/μη τροποποιημένων νανοσωληνίσκων και καθαρής

PVA. Τα φιλμ και των τριών τύπων υποβλήθηκαν σε πειράματα εφελκυσμού. Όπως παρατηρήθηκε από την πειραματική διαδικασία τα νανοσύνθετα ανεξαρτήτως του είδους της φάσης ενίσχυσης παρουσίασαν σημαντική βελτίωση του μέτρου ελαστικότητας σε σύγκριση την καθαρή PVA. Στην περίπτωση των νανοσύνθετων φιλμ των τροποποιημένων νανοσωληνίσκων άνθρακα παρατηρήθηκε πως η χημική τροποποίηση επιτρέπει καλή κατανομή των νανοσωληνίσκων στην έκταση της μήτρας, έχοντας ως αποτέλεσμα τη σημαντική αύξηση της αντοχής νανοσύνθετου ως προς την αντοχή των φιλμ της καθαρής πολυμερούς μήτρας. Αντίθετα τα νανοσύνθετα με φάση ενίσχυσης τους μητροποποιημένους νανοσωληνίσκους άνθρακα παρουσιάζουν μείωση της αντοχής τους ως προς την καθαρή PVA. Ο M. D. Frogley [16] διερεύνησαν τις μηχανικές ιδιότητες νανοσύνθετων βασισμένων σε ελαστομερή πολυμερή μήτρα σιλικόνης (RTV) που φέρουν ως ενίσχυση είτε MTNΣΑ είτε Νανοίνες (NIA) άνθρακα υψηλού ποσοστού γραφίτη (PolygrafIII, Applied Sciences Inc., USA), με μήκη μεγαλύτερα κάποιων εκατοντάδων μικρομέτρων και διαμέτρους περίπου 200 nm. Από τα πειράματα μονοαξονικού εφελκυσμού παρατηρήθηκε δραματική αύξηση του μέτρου ελαστικότητας των νανοσύνθετων συναρτήσει της περιεκτικότητας της φάσης ενίσχυσης ανεξαρτήτως του είδους του νανοεγκλείσματος. Το φαινόμενο αυτό και για τους δύο τύπους δοκιμίων συνοδεύεται από μια μείωση των ιδιοτήτων θραύσης (τάση και παραμόρφωση θραύσης). Όσον αφορά στη βελτίωση του μέτρου ελαστικότητας των δοκιμίων οποιασδήποτε περιεκτικότητας βρέθηκε πως η παρατηρούμενη αύξησή του είναι συνάρτηση της παραμόρφωσης του δοκιμίου για ποσοστά έως και 10 με 20%, παραμόρφωση περαιτέρω του ποσοστού αυτού δεν οδηγεί πλέον σε ενίσχυση του μέτρου ελαστικότητας του νανοσύνθετου. Η συμπεριφορά αυτή σύμφωνα με τους ερευνητές οφείλεται στο φαινόμενο «ψευδό-διαρροής», που λαμβάνει χώρα σταν νανοσύνθετα πολυμερούς ελαστομερούς μήτρας και κατά το οποίο συμβαίνει απελευθέρωση ελαστομερούς μήτρας που είναι εγκλωβισμένη στα συσσωματώματα των νανοσωματιδίων των οποίων σε αυτό το σημείο επέρχεται η αποδόμηση.

Ο Ci μαζί με τον Bai [17] ελέγχοντας τις συνθήκες πολυμερισμού ενός συστήματος εποξικής ρητίνης και αμινικού καταλύτη κατασκεύασαν ρητίνες με διαφορετική δισακαμψία. Οι παραπάνω ρητίνες αναμείχθηκαν με ΠΤΝΣΑ σε περιεκτικότητα 0.5 % κατά βάρος και ελέχθησαν ως προς το μέτρο ελαστικότητας τους και ως προς τους μηχανισμούς ενίσχυσης λόγω της παρουσίας των ΝΣΑ. Οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι η ενισχυτική επίδραση των ΝΣΑ μειώνεται βαθμιαία όσο το μέτρο ακαμψίας της υπό εξέταση ρητίνης αυξάνεται. Με άλλα λόγια σε όλκιμες και μαλακές ρητίνες η ενισχυτική επίδραση των ΝΣΑ είναι

περισσότερο εμφανής. Ο κύριος λόγος για την ανωτέρω συμπεριφορά είναι η διαφορά στους μηχανισμούς μεταφοράς του φορτίου στη διεπιφάνεια μεταξύ ρητίνης και ΝΣΑ.

Ο Eitan και οι συνάδελφοι του [18] διερεύνησαν την επίδραση ΠΤΝΣΑ σε εποξική ρητίνη βισφαινόλης Α και πολυκαρβονιδίου. Χρησιμοποίησαν τους ΠΤΝΣΑ στη αρχική τους μορφή καθώς και τροποποιημένους χημικά σε ποσοστά 2 και 5 % κατά βάρος και τους ανάδεδυσαν στη ρητίνη με τη χρήση υπερήχων. Τα δοκίμια που προέκυψαν τα εξέτασαν σε εφελκυσμό με παράλληλη χρήση της φασματοσκοπικής μεθόδου Raman. Παρατήρησαν σημαντική αύξηση στο μέτρο ελαστικότητας καθώς και στη τάση αστοχίας θραύσης σε σχέση με τη απλή ρητίνη. Η φασματοσκοπία Raman απέδωσε αυτή τη διαφορά στην ύπαρξη πολυμερών αλυσίδων που λόγω της παρουσίας των ΠΤΝΣΑ δεν μπορούσαν να κινηθούν κατά την εφαρμογή του μηχανικού φορτίου οδηγώντας έτσι σε αύξηση των μηχανικών ιδιοτήτων του νανοπολυμερούς σε σχέση με το απλό πολυμερές.

Αφού διερεύνησαν την παραγωγή ΠΤΝΣΑ με διαμέτρους 25-300 νανόμετρα με τη χρήση της χημικής εναπόθεσης με τη βοήθεια C_2H_2/NH_2 ο Bright και η ομάδα του [19], συνέχεια χρησιμοποίησαν αυτούς τους ΝΣΑ στην αρχική τους μορφή καθώς και σε διάλυμα αιθανόλης ως ενισχυτική φάση σε εποξικό πολυμερές. Διαπίστωσαν πως και στις δύο περιπτώσεις των ΠΤΝΣΑ το νανοπολυμερές είχε καλύτερη μηχανική συμπεριφορά. Πιο συγκεκριμένα οι ΠΤΝΣΑ με αιθανόλη αύξησαν το μέτρο ελαστικότητας, την τάση θραύσης και την παραμόρφωση θραύσης κατά 27%, 44% και 18% αντίστοιχα κάτι το οποίο απέδωσαν στην καλύτερη διασπορά των ΝΣΑ με τη βοήθεια της αιθανόλης. Η ερευνητική ομάδα του Yaring [20] εξέτασε την επίδραση απλών ΠΤΝΣΑ και τροποποιημένων με αμίνες ΠΤΝΣΑ σε διάφορα ποσοστά κατά βάρος σε πολυμερή μήτρα εποξικής ρητίνης. Οι μηχανικές ιδιότητες που υπολόγισαν ήταν το μέτρο ελαστικότητας σε κάμψη και η απορρόφηση ενέργειας σε κρούση χαμηλής ταχύτητας. Αναλύοντας τα αποτελέσματα των πειραμάτων τους κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το βέλτιστο ποσοστό %κ.β. ΝΣΑ είναι το 0.6%. Πιο συγκεκριμένα σε αυτό το ποσοστό διαπίστωσαν αύξηση κατά 58% στο μέτρο ελαστικότητας σε κάμψη, αύξηση κατά 100% στην αντοχή σε κάμψη και τέλος διπλασιασμό στην αντοχή σε κρούση. Από την άλλη πλευρά η ερευνητική ομάδα του Li [21] μελέτησε την επίδραση ΜΤΝΣΑ σε ποσοστά 0, 1, 3, 5 % κατά βάρος σε εποξική ρητίνη. Η μελέτη των ιδιοτήτων των νανοπολυμερών έγινε με τη χρήση νανοακίδας (nanoidenter). Συγκεκριμένα μετρήθηκε το μέτρο ελαστικότητας, η αντοχή στη φθορά και η σκληρότητα των πολυμερών με τη χρήση της νανοακίδας ενός μικροσκοπίου ατομικών δυνάμεων (Atomic Force Microscope tip). Τα αποτελέσματα της ερευνάς τους κατέληξαν πως οι παραπάνω ιδιότητες

αυξήθηκαν με την εισαγωγή των ΜΤΝΣΑ στη μήτρα και πιο συγκεκριμένα το ποσοστό 5% κ.β ΜΤΝΣΑ ήταν ικανό για αύξηση κατά 75% του μέτρου ελαστικότητας και προέκυψε υλικό κατά 30% σκληρότερο από την απλή ρητίνη. Τέλος προτείνουν την χρήση νανοακίδας ως μία αποτελεσματική πειραματική μέθοδο για τη διερεύνηση των υπό ανάπτυξη νανοπολυμερών.

Το γκρουπ του Gryshchuk [22] ερεύνησε την επίδραση των ΝΣΑ στις μηχανικές και ηλεκτρικές ιδιότητες σε θερμοσκληρινόμενα πολυμερή (thermoset) όπως σε βινυλεστέρα, σε βινυλεστέρα-ουρεθάνη και σε βινυλεστέρα-εποξική ρητίνη, σε ποσοστά έως 2 % κατά βάρος. Οι ΝΣΑ που χρησιμοποιήθηκαν ήταν πολυτοιχωματικοί και είχαν φτιαχτεί με τη μέθοδο την χημικής εναπόθεσης. Οι ερευνητές διαπίστωσαν πως ο μεγάλος λόγος μήκους/διαμέτρου (aspect ratio) των ΝΣΑ, τους επιτρέπει να ενισχύσουν τις μηχανικές ιδιότητες θραύσης μόνο σε συστήματα που είναι όλκιμα όπως στη προκειμένη περίπτωση το σύστημα βινυλεστέρα-εποξική ρητίνης. Επίσης υπογραμμίζουν το γεγονός ότι ο μεγάλος λόγος μήκους/διαμέτρου είναι και υπεύθυνος για την ύπαρξη συσσωματωμάτων στα παραπάνω συστήματα κάτι που επαληθεύθηκε και με τη χρήση ηλεκτρονικού μικροσκοπίου. Τέλος επισημαίνεται ότι η εισαγωγή των ΝΣΑ επηρέασε θετικά τις ηλεκτρικές και θερμικές ιδιότητες όλων των θερμοσκληρινόμενων υλικών. Στην ερευνά του ο Chen [23] οξείδωσε ΠΤΝΣΑ και τους εισήγαγε σε ίνες από πολυουρεθάνη σε ποσοστά 5.6, 9.3 και 17.7 % κατά βάρος. Στη συνέχεια χρησιμοποίησε τις ίνες αυτές για την κατασκευή νανοςύνθετου υλικού με πολυουρεθανική μήτρα. Διαπίστωσε ότι οι ίνες με ΝΣΑ είχαν μεγαλύτερο μέτρο ελαστικότητας καθώς και αντοχή στη θραύση διατηρώντας ταυτόχρονα τις μεγάλες παραμορφώσεις της πολυουρεθάνης κατά τη θραύση. Ενδιαφέρουσα έρευνα αποτελεί και αυτή του Kim [24] ο οποίος με τη χρήση υπερήχων ντοπάρισε εποξική μήτρα με μη-τροποποιημένους ΠΤΝΣΑ και τροποποιημένους ΠΤΝΣΑ με αμίνη ή με πλάσμα (αέριο στο οποίο βρίσκονται σε ελεύθερη μορφή ηλεκτρικά φορτισμένα ατομικά σωματίδια) σε ποσοστό 1% κ.β. Η ρεολογική συμπεριφορά των ρητινών με τροποποιημένους ΝΣΑ έδειξε πως έχουν υψηλότερο ιξώδες λόγω της ομοιόμορφης διασποράς τους καθώς και της ισχυρής αλληλεπίδρασης με την εποξική μήτρα. Επιπλέον λόγω των παραπάνω ιδιοτήτων οι μηχανικές ιδιότητες αυξήθηκαν αξιοσημείωτα με ταυτόχρονη αύξηση του μέτρου ελαστικότητας και της παραμόρφωσης σε θραύση. Οι ΝΣΑ με τροποποίηση με πλάσμα να δίδουν τα καλύτερα αποτελέσματα.

Ο Ren [25] ήταν από τους πρώτους που εξέτασε την επίδραση των ΜΤΝΣΑ σε πολυμερή δοκίμια σε συνθήκες εφελκυστικής κόπωσης. Οι ΝΣΑ ήταν σε μορφή σχοινιού

(torque) με μήκη μέχρι 100mm και πριν τοποθετηθούν στην εποξική μήτρα φορτίστηκαν σε τάση έτσι ώστε να έχουν φορά την φορά του φορτίου. Τα διαγράμματα κόπωσης (s-N curves) έδειξαν αύξηση των κύκλων ζωής των δοκιμών με ΝΣΑ κάτι που οφείλεται στη γεφύρωση των ρωγμών της μήτρας που εμφανίζονται κατά την κόπωση.

Ο Guzman de Valoria και οι συνεργάτες του [26] πειραματίστηκαν με ΜΤΝΣΑ που μετά τον καθαρισμό τους με υπεροξείδιο του υδρογόνου. Χρησιμοποίησαν αιθανόλη και μπάνιο υπερήχων για τη διασπορά τους σε εποξική ρητίνη βισφαινόλης Α και σκληρυντή πολυαιθυλενίου. Οι ερευνητές χρησιμοποίησαν τους ΝΣΑ σε ποσοστό 0.1% κατά βάρος και χώρισαν το μίγμα σε δύο ξεχωριστά μίγματα, τα οποία και πολυμέρισαν με διαφορετικό κύκλο. Ο ένας κύκλος περιλάμβανε 24 ώρες σε θερμοκρασία δωματίου και έπειτα σκλήρυνση στους 60°C για δύο ώρες ενώ ο δεύτερος περιλάμβανε 48 ώρες σε θερμοκρασία δωματίου και έπειτα σκλήρυνση στους 60°C για 24 ώρες. Με τον παραπάνω τρόπο προέκυψαν δύο πολυμερή όπου το πρώτο είχε όλκιμες ιδιότητες και το δεύτερο ψαθυρές. Έτσι τα δοκίμια που προέκυψαν εξετάστηκαν ως προς τις εφελκυστικές τους ιδιότητες. Αυτό που προέκυψε ήταν βελτιωμένες ιδιότητες και στις δύο περιπτώσεις σε σχέση με την καθαρή ρητίνη. Σε απευθείας όμως σύγκριση των ιδιοτήτων με τους δύο διαφορετικούς κύκλους πολυμερισμού σημειώνεται πως το όλκιμο πολυμερές (λιγότερος χρόνος πολυμερισμού) κατείχε και καλύτερες μηχανικές ιδιότητες κάτι που επιβεβαιώθηκε και από την εξέταση των επιφανειών θραύσης με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Η διαφορά αυτή οφείλεται σύμφωνα με τους ερευνητές στην διαφορετική σύμφυση (adhesion) των ΝΣΑ με τη ρητίνη κάθε φορά. Πρόσφατα ο Yeh και οι συνεργάτες του [27] εξέτασαν την επίδραση ΠΤΝΣΑ και κοντών ινών άνθρακα (1mm) καθώς και το συνδυασμό τους σε διάφορα ποσοστά, στις μηχανικές ιδιότητες φαινολικής ρητίνης. Διαπίστωσαν πως το μεγαλύτερο ποσοστό ενίσχυσης επιτεύχθηκε με τη χρήση μόνο των ΠΤΝΣΑ, στη συνέχεια με τις κοντές ίνες άνθρακα και τέλος με τον συνδυασμό των δύο προηγούμενων. Το παραπάνω οφείλεται στις μηχανικές ιδιότητες των ΠΤΝΣΑ καθώς κατά το συνδυασμό των δύο εγκλεισμάτων η επίδραση των ΠΤΝΣΑ είναι αμελητέα, λόγω κλιμακας, και επιπλέον οι νανοσωληνίσκοι επέδειξαν την τάση να συσσωματώνονται μειώνοντας έτσι την επίδραση τους στη ρητίνη.

Οι εκπληκτικές ιδιότητες των ΝΣΑ οδήγησαν τους ερευνητές του πανεπιστημίου του Σίδνεϊ, Αυστραλίας [28] να εξετάσουν και τις ιδιότητες τους στην φθορά (wear). Έτσι κατασκευάστηκαν πολυμερικοί πείροι με διαφορετικό εμβαδό καλυπτόμενο από ΠΤΝΣΑ, (Rc/m) α) μεγαλύτερο από 25% και β) μικρότερο από 25%. Τα τεστ έγιναν σε έναν μεταλλικό δίσκο διαμέτρου 80mm και σκληρότητας H_{MV}=720 που περιστρέφεται με

σταθερή ταχύτητα, και οι πείρου πιέζονται εκατέρωθεν της επιφάνειας του δίσκου με σταθερή δύναμη έτσι ώστε να φθείρεται η επιφάνεια τους κατά την περιστροφή του δίσκου. Καταγράφηκε ο όγκος της φθοράς μετρώντας την απώλεια μάζας με ηλεκτρονικούς ζυγούς υψηλής ακρίβειας. Τα αποτελέσματα των παραπάνω μετρήσεων έδειξαν ότι για $Rc/m > 25\%$ ο ρυθμός φθοράς μπορεί να μειωθεί και ως 5.5 φορές όπως επίσης ο συντελεστής τριβής μεταξύ του πείρου και του δίσκου μειώθηκε αξιοσημείωτα. Τα παραπάνω οφείλονται στο γεγονός ότι οι ΝΣΑ κατά το φαινόμενο της τριβής καλύπτουν την πολυμερή ρητίνη, μειώνοντας σημαντικά έτσι τη μάζα της που φθείρεται.

Οι φύση των ΝΣΑ τους χρίζει ως υλικά κατάλληλα για την ενίσχυση όλων των τύπων των σύνθετων υλικών έτσι, η ομάδα του Ye [29] εξέτασε την επίδραση ΠΤΝΣΑ σε κεραμικά υλικά με μήτρα βαρίου-αλουμινοπυριτίου (BAS) σε 5, 10 και 15 % κατά βάρος κατασκευασμένα με τη μέθοδο συμπίεσης εν θερμώ (hot pressing). Τα υλικά που προέκυψαν εξετάστηκαν σε κάμψη τριών σημείων και θραύση. Τα κεραμικά με ΠΤΝΣΑ έδειξαν εκπληκτικές ιδιότητες 192% αύξηση στο μέτρο ελαστικότητας σε κάμψη και 143% αύξηση στην αντοχή σε θραύση, ιδιότητες που οφείλονται στο σπάσιμο, τράβηγμα και γεφύρωση (bridging) που οι ΝΣΑ επιβάλλουν στα όρια των ρηγματώσεων.

Από τις πρόσφατες έρευνες στους ΝΣΑ είναι και αυτή των Esawi & Borady [30] που εξέτασαν την επίδραση ΠΤΝΣΑ σε σύνθετα υλικά μεταλλικής μήτρας και πιο συγκεκριμένα μήτρας αλουμινίου με ποσοστά 0.5, 1 και 2 % ΝΣΑ κατά βάρος χρησιμοποιώντας ένας αναδευτήρ/μίξερ σε μορφή μύλου. Τα δοκίμια που προέκυψαν χαρακτηρίστηκαν σε εφελκυσμό και συγκρίθηκαν με αλουμίνιο χωρίς ΝΣΑ. Βρέθηκε πως το ποσοστό ΝΣΑ 0.5% παρουσίασε τις καλύτερες ιδιότητες με μεγαλύτερο μέτρο ελαστικότητας, μεγαλύτερη τάση θραύσης καθώς και υψηλότερο όριο διαρροής σε σχέση με το απλό αλουμίνιο καθώς και με τα υπόλοιπα ποσοστά. Οι εξετάσεις των δοκιμίων στο Ηλ. Μικροσκόπιο φανέρωσε μεγάλα συμπλέγματα (clusters) ΝΣΑ, τα οποία όμως όπως προτείνουν οι δύο επιστήμονες μπορούν αν όχι να εξαλειφθούν, τουλάχιστον να περιοριστούν σημαντικά με την αλλαγή των συνθηκών ανάδευσης.

Ο Li και οι συνεργάτες του [31] εξέτασαν την επίδραση των ΝΣΑ σε τυπικό τσιμέντο. Χρησιμοποίησαν έτσι τσιμέντο τύπου Πόρτλαντ και ΜΤΝΣΑ τους οποίους είτε δεντροποποίησαν ή τροποποίησαν χημικά με τη χρήση θειικού και νιτρικού οξέος. Τα δοκίμια έγιναν με τυπική ανάδευση και οι ΝΣΑ ήταν σε ποσοστό 2% κ.β. Τα υλικά που προέκυψαν εξετάστηκαν σε κάμψη τριών σημείων και σε θλίψη. Συγκρίνοντας τα

αποτελέσματα, οι ΝΣΑ ενίσχυσαν σημαντικά τις παραπάνω ιδιότητες με τους τροποποιημένους ΝΣΑ να έχουν καλύτερη συμπεριφορά από τους μη-τροποποιημένους. Η ανωτέρω ερευνητική ομάδα επίσης διαπίστωσε ότι η χρήση ΝΣΑ μείωσε την το μέγεθος και το πλήθος των πόρων των δειγμάτων. Τέλος υπογραμμίζεται πως η ύπαρξη στοιχείων όπως θείο, υδρογόνο και οξειδία του ασβεστίου ενισχύουν την πρόσφυση των ΝΣΑ με το τσιμέντο οδηγώντας με αυτό τον τρόπο στις βελτιωμένες ιδιότητες.

Οι Meguid και Sun [32] διερεύνησαν την επίδραση ΜΤΝΣΑ ως υλικό ενίσχυσης σε νανοσύνθετα με ίνες άνθρακα που χρησιμοποιείται στην αεροδιαστημική βιομηχανία για συγκολλητικό ενώσεων σύνθετων και το σύγκρινε με νανοσύνθετο με κόκκους αλουμινίου στη ναοκλιμακα και με το απλό σύνθετο. Τα δύο νανοεγκλείσματα χρησιμοποιήθηκαν σε ποσοστά 1.5, 5, 7.5, 10, 12.5 και 15% κατά βάρος σε εποξική ρητίνη και κατασκευάστηκαν αρχικά με τη χρήση αναδευτήρα και στη συνέχεια προστέθηκε η ινώδης ενίσχυση. Το τελικό στάδιο παραγωγής των συνδέσεων έλαβε χώρα σε έναν αυτόκλειστο φούρνο (autoclave). Τα δοκίμια κόπηκαν και εξετάστηκαν σε εφελκυσμό και διάτμηση. Τα αποτελέσματα έδειξαν την αύξηση των μηχανικών ιδιοτήτων για τα μικρά ποσοστά ενώ για τα μεγαλύτερα παρουσιάστηκε μείωση των ιδιοτήτων σε σχέση με το απλό σύνθετο. Η θετικότερη επίδραση των ΝΣΑ σε σχέση με νανοεγκλείσματα αλουμινίου οφείλεται στο μεγάλο λόγο μήκους/διαμέτρου που εμποδίζει (interlocking) τη ρητίνη να διαρρεύσει και να αστοχήσει εύκολα.

Από τις λίγες έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί για νανοσύνθετα είναι και αυτή της ερευνητικής ομάδας του Πανεπιστημίου του Αμβούργου υπό τον υπό τον K. Schulte [33]. Σε πρόσφα με ίνες γυαλιού κατασκευασμένα με τη μέθοδο έγχυσης ρητίνης σε καλούπι (Resin Transfer Moulding). Έτσι προέκυψαν δύο διαφορετικές σύνθετες πλάκες με 37% και 50% κατ'όγκο ίνες γυαλιού. Και στις δύο περιπτώσεις οι ΝΣΑ ήταν σε περιεκτικότητα 0.3 % κατά βάρος. Στα παραπάνω υλικά έγιναν δοκιμές σε διάτμηση, θραύση τύπου 1 και θραύση τύπου 2 καθώς και στις ηλεκτρικές ιδιότητες. Οι ερευνητές παρατήρησαν αύξηση των μηχανικών ιδιοτήτων μόνο στη διάτμηση ενώ στη θραύση η αύξηση των ιδιοτήτων λόγω της ύπαρξης των ΝΣΑ κρίθηκε αμελητέα. Επίσης αναφέρεται ότι το υψηλό ιξώδες της ρητίνης λόγω των ΝΣΑ δυσκόλεψε την παραγωγική διαδικασία και πως τα σύνθετα με ισχυρή διεπιφάνεια μεταξύ ίνας και μήτρας θα είναι και αυτά που θα επωφεληθούν τα μέγιστα με την ενσωμάτωση των ΝΣΑ στη μήτρα. Τέλος υπογραμμίζεται ότι η παρουσία των ΝΣΑ στα νανοσύνθετα πέραν της βελτίωσης των μηχανικών τους ιδιοτήτων συμβάλλει και στην

ανάπτυξη του πολυλειτουργικού τους χαρακτήρα με την μετατροπή τους από μονωτές σε σχετικά ηλεκτρικά αγώγιμα λόγω της παρουσίας των ΝΣΑ.

Ο Seyhan [34] κατασκεύασε νανοσύνθετα με ενισχυτική φάση ίνες γυαλιού (E- glass) και πολυεστερική μήτρα με 0.1 % κ.β. τροποποιημένους ΠΤΝΣΑ με $-NH_2$ (αμίνη) με τη μέθοδο έγχυσης ρητίνης σε καλούπι με τη βοήθεια κενού (VARTM). Τα δοκίμια που προέκυψαν εξετάστηκαν σε θραύση τύπου I και II. Οι ερευνητές διαπίστωσαν αύξηση των ενεργειών θραύσης GIC και GIIC σε σχέση με το απλό σύνθετο, λόγω των μηχανισμών αστοχίας των ΠΤΝΣΑ (fibre pull-out, fibre breakage & fibre bridging) που επιβεβαιώθηκαν με την εξέταση των επιφανειών θραύσης στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Ο Sotiriadis et al. [35] κατασκεύασε με τη μέθοδο της υγρής έγχυσης ρητίνης σύνθετα με 1% κ.β. ΠΤΝΣΑ σε βινυλεστερική μήτρα και ίνες γυαλιού E. Τα δοκίμια που προέκυψαν τα υπέβαλε σε εφελκυσμό και σε εφελκυστική κόπωση.

Διαπίστωσε πως μπορεί η αύξηση του μέτρου ελαστικότητας σε σχέση με το απλό σύνθετο να ήταν της τάξης του 5%, τα νανοσύνθετα όμως είχαν να επιδείξουν πολύ μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Τα δοκίμια εξετάστηκαν στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο και διαπιστώθηκε πως οι επιφάνειες θραύσης του νανοσύνθετου είχαν πλήθος ΝΣΑ να εξέχουν από το υλικό της μήτρας δηλώνοντας έτσι τον κύριο μηχανισμό που είναι υπεύθυνος για την αύξηση των μηχανικών ιδιοτήτων.

Ο Veedu και οι συνεργάτες του [36] ανέπτυξαν μία διαφορετική προσέγγιση για τη χρήση των ΝΣΑ σε σύνθετα υλικά. Χρησιμοποίησαν τυπικά υφάσματα καρβιδίου του πυριπίου SiC πλέξης δύο διαστάσεων (twill 2/2) όπου πάνω τους *ανέπτυξαν* κάθετους και ευθυγραμμισμένους ΝΣΑ κατά τη διάσταση του πάχους δημιουργώντας έτσι μία τρισδιάστατη πλέον ενισχυτική φάση. Οι ερευνητές ονόμασαν αυτή τη προσέγγιση ως ενίσχυση των νημάτων SiC με τη χρήση *δασών ΝΣΑ* (CNT forest). Κατόπιν κατασκεύασαν σύνθετα υλικά με εποξική ρητίνη και την τρισδιάστατη ενισχυτική φάση και τη συνέκριναν με τη δισδιάστατη αντίστοιχα σε ποικίλα μηχανικά τεστ. Διαπίστωσαν αύξηση της ενέργειας θραύσης σε φορτίσεις τύπου I και II της τάξης 348% (!) και 54% αντίστοιχα. Ενώ η αντοχή σε κάμψη αυξήθηκε κατά 240% και το μέτρο ελαστικότητας σε κάμψη κατά 105%. Τέλος τα νέα νανοσύνθετα είχαν να επιδείξουν καλύτερα δυναμικά χαρακτηριστικά καθώς και θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα κατά το πάχος. Οι ερευνητές απέδωσαν τις εντυπωσιακές αυξήσεις στο μηχανισμό *εμπλοκής-κλειδώματος* (interlocking) των ινών με τη μήτρα διαμέσου των ΝΣΑ. Σε παράλληλες γραμμές κινήθηκε και η έρευνα του Mathur [36] όπου με τη

μέθοδο της χημικής εναπόθεσης ανέπτυξαν ΝΣΑ σε διάφορα ποσοστά σε ανθρακονήματα τα οποία μετέπειτα χρησιμοποιήθηκαν ως ενισχυτική φάση για την κατασκευή σύνθετων υλικών με φαινολική μήτρα. Τα νανοσύνθετα που προέκυψαν εξετάστηκαν σε κάμψη και διαπιστώθηκε αξιολογη αύξηση του ορίου κάμψης και του μέτρου ελαστικότητας σε κάμψη σε σχέση με το κανονικό σύνθετο και συγκεκριμένα όσο μεγαλύτερο το ποσοστό των ΝΣΑ τόσο μεγαλύτερη και η εν λόγω αύξηση.

Οι χρήσεις των ΝΣΑ επεκτείνονται εκτός από τις μηχανολογικές και τις ηλεκτρονικές εφαρμογές και στη βιολογία, τη φαρμακευτική και την ιατρική. Ο Williams [38] προσπάθησε να συνδυάσει τις ιδιότητες των ΜΤΝΣΑ με τις ικανότητες που έχει το DNA να αναγνωρίζει συγκεκριμένα μόρια. Έτσι με διάφορες πολύπλοκες βιοχημικές διεργασίες κατάφερε να ενώσει στα άκρα των ΜΤΝΣΑ με νουκλεϊκό πεπτιδίο δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο έναν βιο-αισθητήρα θερμικά σταθερό που αντιδρά ή επικάθεται μόνο σε συγκεκριμένα μόρια. Ερευνητές από το Πανεπιστήμιο του Harvard, ΗΠΑ [39] επέλεξαν ΜΤΝΣΑ διαμέτρου 10nm, παρόμοιο του μεγέθους του DNA, και τους συνένωσαν με DNA τύπου B. Διαπίστωσαν πως είναι εφικτό οι ΝΣΑ με DNA να σχετιστούν με την αποκωδικοποίηση του DNA χρησιμοποιώντας την αγωγιμότητα των ΝΣΑ. Διαφορετικά είδη DNA έχουν διαφορετική δομή και επομένως διαφορετική αγωγιμότητα. Έτσι οι ΝΣΑ με DNA θα απωθήσουν ή θα ελκύσουν μόνο συγκεκριμένα μόρια DNA. Τα πειραματικά τους αποτελέσματα τα επιβεβαίωσαν και με δυναμικά μοριακά μοντέλα (Molecular Dynamics). Άλλοι ερευνητές [40 - 42] εστίασαν την ερευνά τους στην τροποποίηση των άκρων ΜΤΝΣΑ με DNA για χρήση τους είτε σε εξελιγμένα ηλεκτρονικά ή για εφαρμογές στην βιοϊατρική. Υπογραμμίζοντας πως οι ΝΣΑ με DNA μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εξελιγμένες θεραπείες με φάρμακα όπου ο ΝΣΑ θα είναι ο κομιστής της φαρμακευτικής ουσίας και θα την απελευθερώνει μόνο όταν έρθει σε επαφή με τα ασθενή κύτταρα ή μύες του οργανισμού.

Το ερευνητικό γκρουπ του Smart [43] διερεύνησε τη βιοσυμβατότητα των ΝΣΑ και το ποιές συνθήκες πρέπει να πληρούν έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ασφάλεια. Οι ερευνητές καταλήγουν πως η επιστημονική κοινότητα θα πρέπει να αντιμετωπίσει τους ΝΣΑ με συγκρατημένη αισιοδοξία για τη βιοσυμβατότητά τους, καθότι έχει βρεθεί πως οι ΝΣΑ είναι τοξικοί και εντός και εκτός σώματος (in vivo & in vitro). Επιπλέον έχει διαπιστευθεί πως έκθεση σε μεγάλες ποσότητες μη- τροποποιημένων ΝΣΑ οδηγούν σε συνθήκες τοξικότητας στα κύτταρα. Η χημική τροποποίηση των ΝΣΑ τους χρίζει κατάλληλους για παράδοση-απελευθέρωση φαρμάκων στον ανθρώπινο οργανισμό αφού οι

έρευνες ως τώρα δεν έχουν δείξει να είναι τοξικοί. Οι ερευνητές προτείνουν ότι θα πρέπει συνεχισθεί η έρευνα για τη βιοσυμβατότητα των ΝΣΑ πριν αυτοί αρχίσουν να χρησιμοποιούνται ευρέως σε οποιαδήποτε είδους εφαρμογή με ασφάλεια, διότι όπως έχει έχει αναφερθεί [44], η εισπνοή ΝΣΑ οδηγεί σε φλεγμονές που με τη σειρά τους μπορεί να οδηγήσουν σε καρκίνο του πνεύμονα.

Από τις ιδιαίτερες εφαρμογές των ΝΣΑ είναι και αυτή που προτείνει ο Baughman [45] για την κατασκευή ισχυρών διάφανων φύλλων ή λεπτών φιλμ (transparent sheets). Η κατασκευή τέτοιων φύλλων είναι δυνατή σε ΝΣΑ που έρχονται σε μορφή “σχοινιών” όπου η συλλογή και περιστροφή τρισεκατομμυρίων τέτοιων σχοινιών μπορεί να οδηγήσει σε κάθετες προσανατολισμένες δομές (forest) κατασκευάζοντας διάφανα φιλμ. Τέτοια φύλλα με τη χρήση αεροζέλ καταλήγουν σε διάφανα φύλλα πάχους 50nm με μηχανικές ιδιότητες u963 στην κάθετη διεύθυνση σαν και αυτές του χάλυβα και μεγάλη ηλεκτρική αγωγιμότητα. Τέτοια φύλλα είναι δυνατόν να βρουν εφαρμογή σε εύκαμπτα ηλεκτρόδια, σε πολωτές του φωτός και στην κατασκευή εύκαμπτων διόδων.

Πρόσφατα το ενδιαφέρον των ερευνητών έχει προσελκύσει το πως η παρουσία ΝΣΑ στα διάφορα υλικά θα επηρεάσει την ανακύκλωση των προϊόντων και ποια θα είναι τα μέτρα εκείνα που θα πρέπει να ληφθούν έτσι ώστε από τη μία πλευρά να μεγιστοποιηθεί το ποσοστό του ανακυκλώσιμου υλικού και από την άλλη οι ΝΣΑ να μην είναι επιβλαβής για τον άνθρωπο και το περιβάλλον. Έχουν εξεταστεί διάφορα σενάρια και περιπτώσεις και κατέληξαν στο ότι οι ΝΣΑ είναι δυνατόν να απελευθερωθούν στο περιβάλλον όχι μόνο κατά την κατασκευή του προϊόντος αλλά και κατά τη χρήση του.

Έτσι προτείνεται οι χρήστες αυτών των προϊόντων να είναι προσεκτικοί αφού οι συνέπειες των ΝΣΑ στον άνθρωπο και το περιβάλλον είναι ακόμα υπό διερεύνηση. Τέλος προτείνουν την καύση των αποβλήτων που εμπεριέχουν ΝΣΑ σε θερμοκρασίες άνω των 850° C [46,47].

4.3 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΑ ΒΙΒΛΙΑ

- 1) Iijima S, (1991) Helical microtubules of graphitic carbon. *Nature*: 354: 56–58.
- 2) Kroto HW, Heath JR, O'Brien SC, Curl RF, Smalley RE, (1985) C₆₀:Buckminsterfullerene. *Nature*; 318:162–163.
- 3) Dresselhaus MS, Dresselhaus G, Avouris P (Eds.), (2001) *Carbon Nanotubes*, Springer, Berlin, Germany.
- 4) Ebbesen TW, (2000) *Carbon Nanotubes. Preparation and Properties*, CRC Press, New York.
- 5) Thostenson ET, Ren Z, Chou T-W, (2001) Advances in the science and technology of carbon nanotubes and their composites: a review, *Composites Science and Technology*: 61: 1899-1912.
- 6) Allaoui A, Bai S, Cheng HM, Bai JB, (2002) Mechanical and electrical properties of a MWNT/epoxy composite, *Composite Science and Technology*: 62: 1993- 1998
- 7) Bai JB, Allaoui A, (2003) Effect of length and the aggregate size of MWNTs on the improvement efficiency of the mechanical and electrical properties of nanocomposites-experimental investigation, *Composites: Part A*: 34: 689-694.
- 8) Gonjny F, Wichmann MHG, Fiedler B, Schulte K, (2005) Influence of different carbon nanotubes on the mechanical properties of epoxy matrix composites – A comparative study. *Composites Science and Technology*: 65: 2300-23015.
- 9) Breton Y, Desarmot G, Salvétat JP, Delpeux S, Sinturel C, Beguin F, (2004) Mechanical properties of multiwall carbon nanotubes/epoxy composites: influence of network morphology. *Carbon*: 42: 1027-1030.

- 10) Gojny FH, Wichmann MHG, Kopke U, Fiedler B, Schulte K, (2004) Carbon nanotube-reinforced epoxy-composites: enhanced stiffness and fracture toughness at low nanotube content. *Composites Science and Technology*: 64: 2363–2371
- 11) Yeh M-K, Tai N-H, Liu J-H, (2006) Mechanical behavior of phenolic-based composites reinforced with multi-walled carbon nanotubes. *Carbon*: 44: 1-9.
- 12) Liu L, Wagner HD, (2005) Rubbery and glassy epoxy resins reinforced with carbon nanotubes. *Composites Science and Technology*: 65: 1861–1868
- 13) Thostenson ET, Chou T-W, (2006) Processing-structure-multi-functional property relationship in carbon nanotube/epoxy composites. *Carbon*: 8 : 6223.
- 14) Mottaghitlab V, Xi B, Spinks G, Wallace GG, (2006) Polyaniline fibres containing single walled carbon nanotubes: Enhanced performance artificial muscles. *Synthetic Metals*: 379 : 6779.
- 15) Paiva MC, Zhou B, Fernando KAS, Lin Y, Kennedy JM, Sun Y-P (2004), Mechanical and morphological characterization of polymer-carbon nanocomposites from functionalized carbon nanotubes. *Carbon*: 8 : 6223.
- 16) Frogley MD, Ravich D, Wagner HD, (2003) Mechanical properties of carbon nanoparticle-reinforced elastomers. *Composites Science and Technology*: 63: 1647–1654.
- 17) Ci L, Bai J B, (2006) The reinforcement role of carbon nanotubes in epoxy composites with different matrix stiffness. *Composites Science and Technology*: 66: 599-603.
- 18) Eitan A, Fischer FT, Andrews R, Gibson LC, Schadler LS, (2006) Reinforcement mechanisms in MWCNT-filled polycarbonate. *Composites Science and Technology*: 66: 1162-1173.
- 19) Bright I, Koutsos V, Li Q, Cheung R, (2006) Carbon nanotubes for integration into nanocomposite materials. *Microelectronic Engineering*

- 20)** Yaping Z, Aibo Z, Qinghua C, Jiaoxia Z, Rongchang N, (2006) Functionalised effect on carbon nanotube/epoxy nano-composites. *Materials Science and Engineering A*: 435: 145-149.
- 21)** Li X, Gao H, Scrivens W, Fei D, Xu X, Sutton M, Reynolds A, Myrick A, (2004) Nanomechanical characterization of single-wall carbon nanotubes reinforced epoxy composites. *Nanotechnology*: 15: 1416-1423.
- 22)** Gryshchuk O, Karger-Kocsis J, Thomann R, Konya Z, Kirisci I, (2006) Multiwall carbon nanotubes modified vinylester and vinylester-based hybrid resins. *Composites Part A*: 37: 1252-1259.
- 23)** Chen W, Tao X, Liu Y, (2006) Carbon Nanotube-reinforced polyurethane composites. *Composites Science and Technology*: 66: 3029-3034.
- 24)** Kim JA, Seong D G, Kang TJ, Youn JR, (2006) Effects of surface modification on rheological and mechanical properties of CNT/epoxy composites. *Carbon*: 44: 1898-1905.
- 25)** Ren Y, Li F, Cheng HM, Liao K (2003) Tension-tension fatigue behaviour of unidirectional single-walled carbon nanotubes reinforced composite. *Carbon*: 41: 2177-2179.
- 26)** Guzman de Valoria R, Miravete A, Cuartero J, Chiminelli A, Tolosana N, (2006) Mechanical properties of SWCNT/epoxy composites using two different curing cycles. *Composites Part B*: 37: 273-277.
- 27)** Yeh MK, Tai NH, Lin YJ, (2008) Mechanical properties of phenolic-based nanocomposites reinforced by multi wall carbon nanotubes and carbon fibres. *Composites Part A*: 39: 677-684.
- 28)** Zhang LC, Zarudi I, Xiao KQ, (2006) Novel behaviour of friction and wear of epoxy composites reinforced by nanotubes. *Wear*

- 29)** Ye F, Liu L, Wang Y, Zhou Y, Peng B, Meng Q, (2006) Preparation and mechanical properties of carbon nanotubes reinforced barium aluminosilicate glass-ceramic composites. *Scripta Materialia*: 55: 911-914.
- 30)** Esawi AMK, Borady MA, (2008) Carbon nanotubes-reinforced aluminium strips. *Composites Science and Technology*: 68: 486-492.
- 31)** Li GY, Wang PM, Zhao X, (2005) Mechanical behaviour and microstructure of cement composites incorporating surface treated multi walled carbon nanotubes. *Carbon*: 43: 1239-1245.
- 32)** Meguid SA, Sun Y, (2004) On the tensile and shear strength of nano-reinforced composite interfaces. *Materials and Design*: 25: 289-296.
- 33)** Wichman MHG, Sumfleth J, Gojny FH, Quaresimin M, Fiedler B, Schulte K, (2006) Glass-fibre reinforced composites with enhanced mechanical and electrical properties- Benefits and limitations of a nanoparticle modified matrix. *Engineering Fracture Mechanics*: 73: 2346-2359.
- 34)** Seyhan TA, Gojny FH, Tanoglu M, Schulte K, (2007) Mode I and Mode II fracture toughness of E-glass fiber/carbon nanotubes modified vinyl ester-polyester based composites. *CNTNET 07 Conference Proceedings*, Trinity College, University of Cambridge, 10th-12th September, UK.
- 35)** Sotiriadis G, Tsotra P, Kostopoulos V, Paipetis A, (2007) Stiffness degradation monitoring of carbon nanotube doped glass/vinylester composites via resistance measurements. *Journal of Nanostructured Polymers and Nanocomposites*: 3: 90- 95.
- 36)** Veedu VP, Cao A, Li X, Ma K, Soldano C, Kar S, Ajayan PM, Ghasemi-Nejhad MN, (2006) Multifunctional composites using reinforced laminae with carbon nanotubes forests. *Nature Materials*: 5: 457-462
- 37)** Mathur RB, Chatterjee S, Singh BP, (2008) Growth of carbon nanotubes on carbon fibre substrates to produce hybrid/phenolic composites with improved mechanical properties. *Composites Science and Technology*: 68: 1608-1615.

- 38)** Williams KA, Veenhuizen PTM, Torre BG, Eritja R, Dekker C, (2002) Carbon nanotubes with DNA recognition. *Nature*: 420: 761.
- 39)** Lu G, Maragakis P, Kaxiras E, (2005) Carbon nanotube interaction with DNA. *Nanoletters*: 5: 897-900.
- 40)** Dwyer C, Guthold M, Falvo M, Washburn S, Superfine R, Erie D, (2002) DNAfunctionalised single-wall carbon nanotubes. *Nanotechnology*: 13: 601-604.
- 41)** Lu Y, Yang X, Ma Y, Du F, Liu Z, Chen Y, (2005) Self-assembled branched nanostructures of single-walled carbon nanotubes with DNA linkers. *Chemical Physical Letters*: 419: 390-393.
- 42)** Jeng ES, Moll AE, Roy AC, Gastala JB, Strano MS (2006) Detection of DNA hybridization using the near-infrared band-gap fluorescence of single-walled carbon nanotubes, *Nano Letters*: 6: 371-375.
- 43)** Smart SK, Cassidy AI, Lu GQ, Martin DJ, (2006) The biocompatibility of carbon nanotubes. *Carbon*: 44: 1034-1047.
- 44)** Muller J, Huaux F, Lison D, (2006) Respiratory toxicity of carbon nanotubes: How worried should we be? *Carbon*: 44: 1048-1056.
- 45)** Zhang M, Fang S, Zakhidov AA, Lee SB, Aliev AE, Williams CD, Atkinson KR, Baughman RH, (2005) Strong Transparent Multifunctional Carbon Nanotube Sheets. *Science*: 309: 1215-1219.
- 46)** Bauer C, Buchgeister J, Hischer R, Poganietz WR, Schebek L, Warsen J, (2008) Towards a framework for life cycle thinking in the assessment of nanotechnology. *Journal of Cleaner Production*: 16: 910-926.
- 47)** Köhler AR, Som C, Helland A, Gottschalk F (2008) Studying the potential release of carbon nanotubes throughout the application life cycle. *Journal of Cleaner Production*: 16: 927-937.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

5

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΥΣ ΝΑΝΟΣΩΛΗΝΕΣ ΑΝΘΡΑΚΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

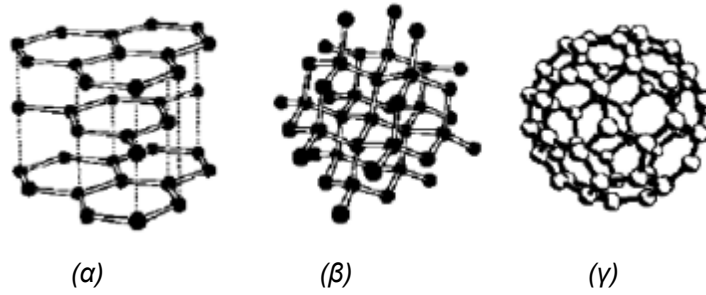
- 5.1 ΟΙ ΑΛΛΟΤΡΟΠΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ
- 5.2 ΔΟΜΗ – ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΝΑΝΟΣΩΛΗΝΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ
- 5.3 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΝΑΝΟΣΩΛΗΝΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ
- 5.4 ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗΣ
ΝΑΝΟΣΩΛΗΝΩΝ
- 5.5 ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΠΟΛΥΜΕΡΙΚΗΣ
ΜΗΤΡΑΣ
- 5.6 ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΝΑΝΟΣΩΛΗΝΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ
- 5.7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

5.1 ΟΙ ΑΛΛΟΤΡΟΠΙΚΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

Ο άνθρακας συναντάται στην φύση σε δύο αλλοτροπικές κρυσταλλικές μορφές (allotropic crystalline form), ως **γραφίτης** και ως **διαμάντι**. Ο γραφίτης (graphite) έχει δυσδιάστατη δομή αποτελούμενος από παράλληλα επίπεδα ατόμων άνθρακα τοποθετημένα σε εξαγωνικό πλέγμα. Τα άτομα συγκρατούνται στο πλέγμα με υβριδικούς sp^2 δεσμούς, σχηματίζοντας τη χαρακτηριστική δομή του σχήματος (5.1α). Οι δεσμοί μεταξύ των ατόμων άνθρακα που βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο (απόσταση 5.42 Å) είναι ισχυροί και άκαμπτοι, κάνοντας έτσι ένα υλικό που μπορεί να παραμείνει σε στερεά κατάσταση (απουσία οξυγόνου) μέχρι και τους 3300 °C. Οι δεσμοί αντίθετα που ενώνουν άτομα άνθρακα μεταξύ δύο επιπέδων (απόσταση 3.35 Å) είναι ασθενείς τύπου *van der Waals* και άρα παρουσιάζουν χαμηλή αντίσταση στη διάτμηση.

Στο διαμάντι κάθε άτομο άνθρακα ενώνεται με τα γειτονικά του μέσω υβριδικών sp^3 δεσμών ισοδύναμα άκαμπτων και με μεγάλη αντοχή (σχήμα 5.1β), σχηματίζοντας ένα κανονικό τετράεδρο με ίσες μεταξύ τους γωνίες των 109 μοιρών. Τα άτομα ισαπέχουν μεταξύ τους με μήκος δεσμού 5.54 Å και ενέργεια 711 kJ/mol. Είναι ικανό να αντέξει μέχρι τους 1800 °C πέραν των οποίων μετατρέπεται σε γραφίτη, λόγω της μεγάλης ενεργειακής σταθερότητας της sp^2 κατάστασης πέρα από αυτή τη θερμοκρασία⁵. Επιπλέον, η πυκνότητα του, ίση με 3.52 g/cm³, είναι μεγαλύτερη από αυτή του γραφίτη, που κυμαίνεται μεταξύ 5.09-5.23 g/cm³.

Ο γραφίτης και το διαμάντι όμως δεν είναι οι μόνες αλλοτροπικές κρυσταλλικές μορφές του άνθρακα. Το 1985 κατά την εκπομπή μιας δέσμης laser σε γραφίτη κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, δημιουργήθηκε μια νέα αλλοτροπική μορφή του άνθρακα γνωστή ως **φουλλερένιο** (fullerene). Τα άτομα άνθρακα ενώνονται μεταξύ τους με υβριδικούς sp^2 δεσμούς και το μήκος του δεσμού είναι 5.44 Å. Τα μόρια των φουλλερενίων απαρτίζονται από ένα δίκτυο ατόμων άνθρακα σε πεντάγωνα και εξαγωνα με αποτέλεσμα να σχηματίζουν ένα σφαιρικό μόριο. Το πιο κοινό μόριο φουλλερενίων είναι αυτό που απαρτίζεται από 60 άτομα άνθρακα (C₆₀) και φαίνεται στο σχήμα 5.1γ, αλλά υπάρχουν και αυτά με 70,76 και 84 άτομα άνθρακα. Η πυκνότητά τους είναι 5.72 g/cm³, μικρότερη απ' αυτές του γραφίτη και του διαμαντιού.



Σχήμα 5.1 (α) Γραφίτης, (β) Διαμάντι, (γ) Φουλλερένιο

Το 1991 και κατά τη διάρκεια της διεξαγωγής ερευνών για τα φουλλερένια ανακαλύφθηκε και μια άλλη νέα αλλοτροπική μορφή του άνθρακα, οι **νανοσωλήνες άνθρακα** (carbon nanotubes). Οι νανοσωλήνες είναι δομές σχετικές με τα φουλλερένια και είναι φτιαγμένοι από γραφίτικά επίπεδα που έχουν περιστραφεί για να δημιουργήσουν κυλίνδρους των οποίων τα άκρα στη συνέχεια κλείνονται από ημισφαιρικά φουλλερένια (σχήμα 5.2). Η διάμετρος των νανοσωλήνων καθορίζει ποιο από τα φουλλερένια θα χρησιμοποιηθεί για να κλείσουν τα άκρα αυτών. Η δομή τους περιγράφεται αναλυτικά στην επόμενη ενότητα, καθώς όλα τα συστήματα που μελετήθηκαν στην παρούσα διατριβή περιείχαν ως εγκλείσματα νανοσωλήνες άνθρακα.



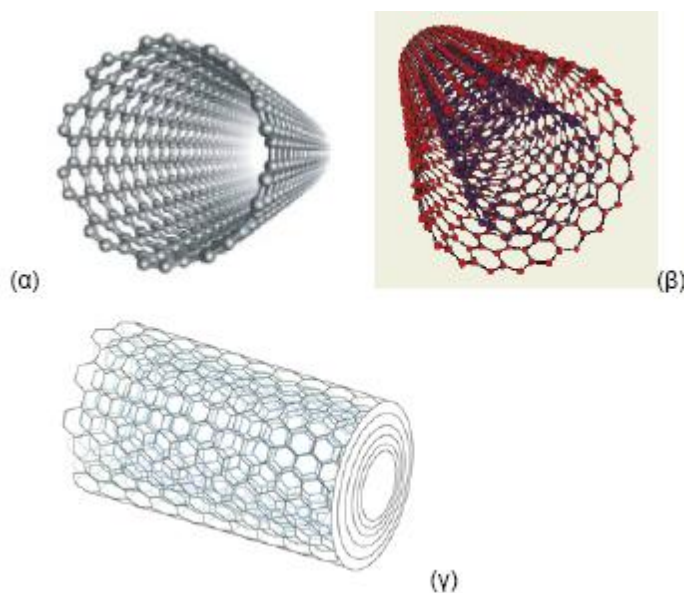
Σχήμα 5.2 Άκρο νανοσωλήνα άνθρακα

5.2 ΔΟΜΗ – ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΝΑΝΟΣΩΛΗΝΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ

Υπάρχουν τρεις βασικές κατηγορίες νανοσωλήνων άνθρακα (σχήμα 5.3) α) Οι νανοσωλήνες **μονού τοιχώματος**, SWCNT (Single-Walled Carbon Nanotubes), β) οι νανοσωλήνες **διπλού τοιχώματος**, DWCNT (Double-Walled Carbon Nanotubes) και γ) οι νανοσωλήνες **πολλαπλών τοιχωμάτων**, MWCNT (Multi-Walled Carbon Nanotubes).

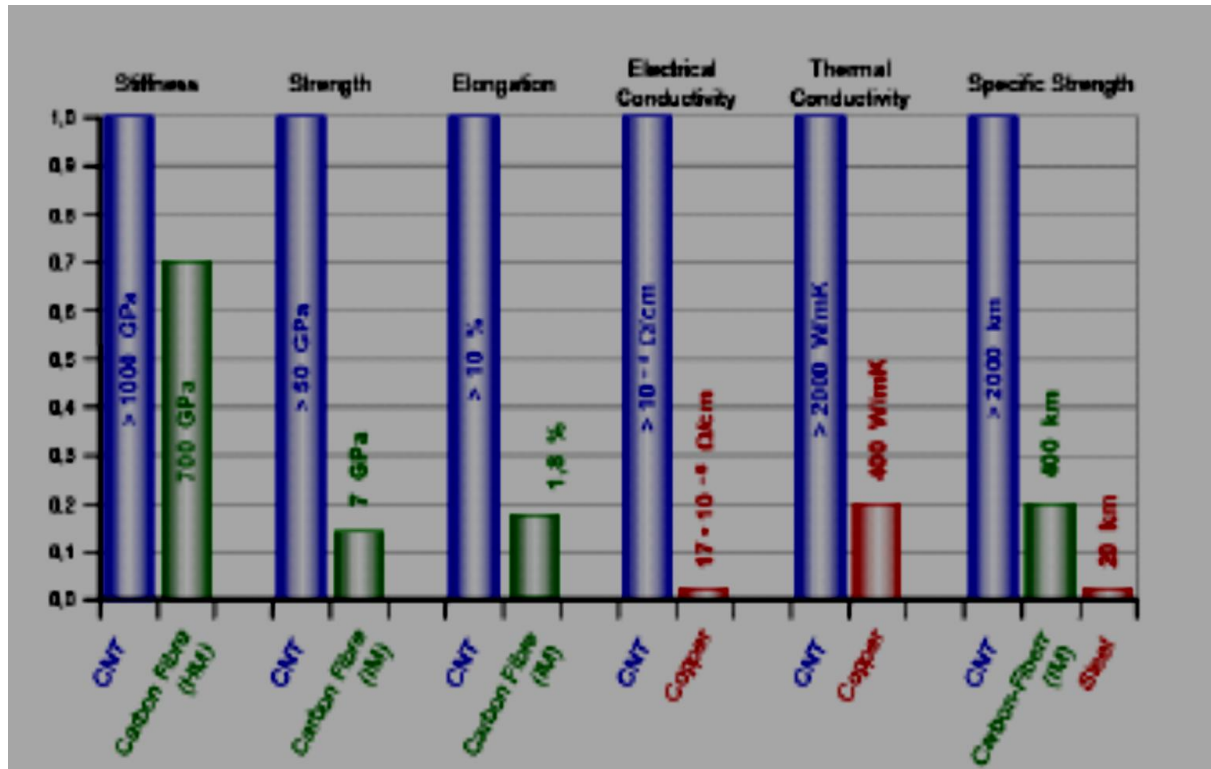
Ένας νανοσωλήνας άνθρακα (carbon nanotube, CNT) μπορεί να περιγραφεί σαν ένα γραφιτικό φύλλο (graphene) τυλιγμένο σε σχήμα κυλίνδρου με διάμετρο 1-3 nm και μήκος 3-50 μm. Αποτελεί επομένως μονοδιάσταση νανοδομή ενώ και ο λόγος μήκους προς διάμετρο μπορεί να ξεπερνά το 10000. Το μήκος δεσμού C-C είναι 5.44 Å, όμοιο με αυτό του φουλλερενίου, ενώ η πυκνότητα ποικίλει² από 0.8-5.2 g/cm³.

Οι νανοσωλήνες άνθρακα πολλαπλών τοιχωμάτων αποτελούνται συνήθως από 3-30 ομόκεντρα γραφιτικά φύλλα και έχουν εξωτερική διάμετρο 3-50 nm, ανάλογα με τον αριθμό των γραφιτικών φύλλων που διαθέτουν. Η απόσταση μεταξύ των γραφιτικών φύλλων είναι περίπου 0.34 nm. Έχουν ένα ευρύ φάσμα ηλεκτρικών, θερμικών και μηχανικών ιδιοτήτων που τους δίνει τη δυνατότητα να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλές τρέχουσες και μελλοντικές εφαρμογές.



Σχήμα 5.3 Νανοσωλήνες άνθρακα (α) μονού τοιχώματος, (β) διπλού τοιχώματος και (γ) πολλαπλών και ομόκεντρων τοιχωμάτων.

Κύριο χαρακτηριστικό τους είναι η ιδιαίτερη σωληνοειδής δομή τους καθώς και οι πολύ καλές ιδιότητες (θερμικές, ηλεκτρικές, μηχανικές) που εμφανίζουν συγκριτικά με τα συμβατικά υλικά που χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα (σχήμα 5.4). Αυτές εξαρτώνται από τη χειραλικότητα, το μήκος και τη διάμετρο των νανოსωλήνων [1-5].

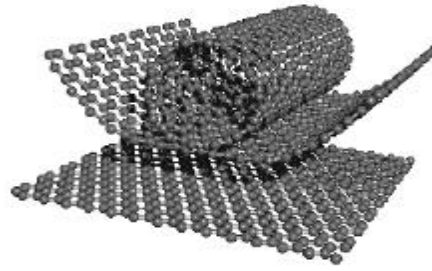


Σχήμα 5.4 Οι εξαιρετικές ιδιότητες των νανοςωλήνων σε σύγκριση με αυτές των ινών άνθρακα, του χαλκού και του χάλυβα.

Για την περιγραφή της δομής ενός νανοςωλήνα μπορεί να χρησιμοποιηθεί η έννοια του χειραλικού διανύσματος \vec{C}_h (chiral vector). Θεωρώντας το νανοςωλήνα σαν αποτέλεσμα δίπλωσης ενός γραφίτικού δυσδιάστατου φύλλου (σχήμα 5.5), το διάνυσμα υποδεικνύει την διεύθυνση της δίπλωσης αυτής. Κατά αυτόν τον τρόπο, μετά τη δίπλωση, το άτομο στην αρχή και το τέλος του διανύσματος συμπίπτουν³. Ορίζεται ως

$$\vec{C}_h = n\vec{a} + m\vec{b} \quad (5.1)$$

όπου \vec{a} και \vec{b} τα μοναδιαία διανύσματα του εξαγωνικού πλέγματος του γραφίτη (τα οποία σχηματίζουν μεταξύ τους γωνία $\pi/3$) και n, m ακέραιοι (σχήμα 5.6).



Σχήμα 5.5 Νανοςωλήνας άνθρακα ως προϊόν δίπλωσης γραφίτικού φύλλου

Επιπλέον για τη χειραλική γωνία θ (chiral angle) μεταξύ \vec{C}_h και \vec{a} θα ισχύει

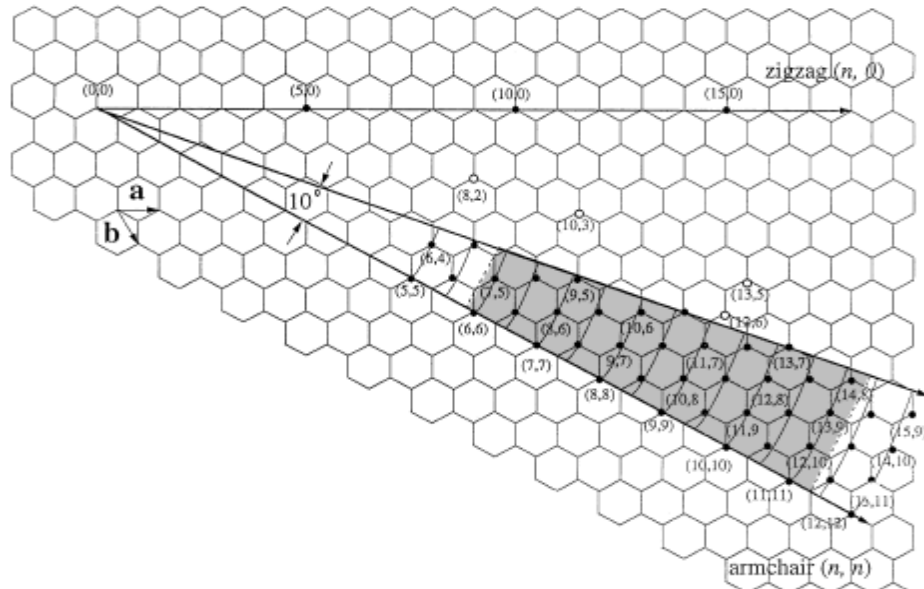
$$\cos \theta = \frac{\vec{C}_h \cdot \vec{a}}{|\vec{C}_h| \cdot |\vec{a}|} = \frac{2n + m}{2\sqrt{n^2 + m^2 + nm}} \quad (5.2)$$

Η περίμετρος L και η διάμετρος d του νανοςωλήνα δίνονται από τις σχέσεις

$$L = |\vec{C}_h| = a\sqrt{n^2 + nm + m^2} \quad (5.3)$$

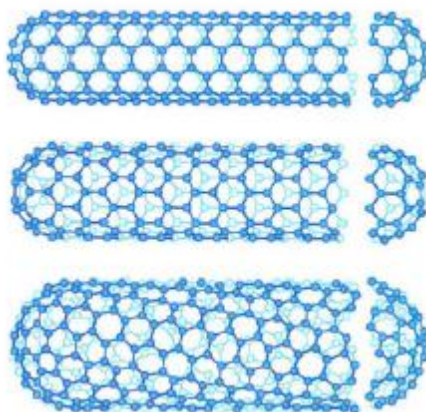
$$d = L/\pi \quad (5.4)$$

όπου a το μήκος του μοναδιαίου διανύσματος ($a = \sqrt{3} a_{C-C}$, με a_{C-C} το μήκος δεσμού C-C).



Σχήμα 5.6 Επίπεδο πλέγμα γραφίτη και καθορισμός των χειραλικών διανυσμάτων

Χειραλικοί ονομάζονται οι νανοσωλήνες όπου έχουν τέτοια δομή ώστε η κατοπτρική τους εικόνα να μην μπορεί να ταυτιστεί με κανέναν τρόπο με την αρχική. Όσοι νανοσωλήνες δεν εμπίπτουν σε αυτή τη κατηγορία ονομάζονται μη χειραλικοί. Αν ισχύει $n=m$ (και επομένως $\theta = 30^\circ$) ο νανοσωλήνας είναι τύπου «armchair». Αν πάλι ισχύει $n = 0, m \neq 0$ ή $n \neq 0, m = 0$ (κι επομένως $\theta = 0^\circ$) ο νανοσωλήνας είναι τύπου «zigzag». Και τα δύο παραπάνω ανήκουν στην κατηγορία των μη χειραλικών (achiral) νανοσωλήνων. Οποιαδήποτε άλλη τιμή της γωνίας θ χαρακτηρίζει νανοσωλήνες χειραλικούς [3], [4] (σχήμα 5.7). Ανάλογα με τον τύπο του νανοσωλήνα διαφορετική τιμή παίρνει και η απόσταση μεταξύ των διαδοχικών στρωμάτων άνθρακα στους νανοσωλήνες πολλαπλών τοιχωμάτων. Για (n,n) και $(n,0)$ νανοσωλήνες αυτή είναι αντίστοιχα 3.38 Å και 3.41 Å.



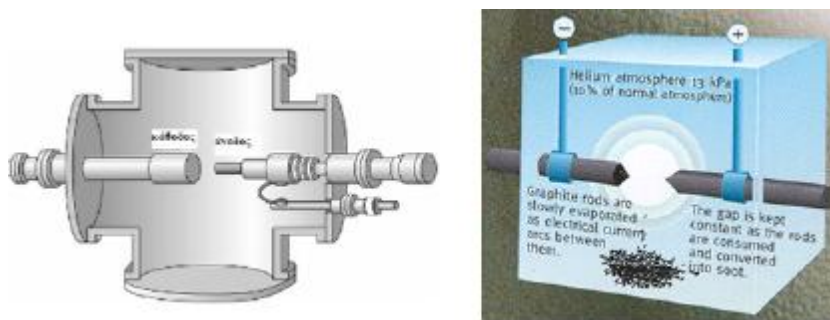
Σχήμα 5.7 Από πάνω προς τα κάτω, νανοσωλήνας τύπου «armchair», «zigzag» και τυχαίου χειραλικού

5.3 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΝΑΝΟΣΩΛΗΝΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ

Από τότε που ανακαλύφθηκαν οι νανοσωλήνες άνθρακα περίπου πριν μια εικοσαετία, έχουν αναπτυχθεί πολλές τεχνικές παραγωγή τους. Ο Iijima [8] πρώτος παρατήρησε νανοσωλήνες πολλαπλού τοιχώματος, και οι Iijima [9] και Bethune [10] ανεξάρτητα ανέφεραν την σύνθεση των νανοσωλήνων μονού τοιχώματος λίγα χρόνια αργότερα. Οι πρωταρχικές μέθοδοι σύνθεσης νανοσωλήνων άνθρακα μονού και πολλαπλού τοιχώματος περιλαμβάνουν την τεχνική ηλεκτρικής εκκένωσης τόξου (arc-discharge) [9], [11], την τεχνική εξάχνωσης γραφίτη με χρήση δεσμών laser (laser ablation) [12], την καταλυτική ανάπτυξη αέριας φάσης από μονοξειδίο άνθρακα HiPCO [13], και την χημική εναπόθεση με ατμό (chemical vapor deposition, CVD) από υδρογονάνθρακες [14-18]. Οι διαδικασίες αέριας φάσης τείνουν να παράγουν νανοσωλήνες με λιγότερες προσμίξεις και είναι ιδανικές για παραγωγή μεγάλης κλίμακας. Οι τεχνικές αέριας φάσης ανάπτυξης νανοσωλήνων, όπως η CVD, προσφέρουν το μεγαλύτερο δυναμικό για την αύξηση παραγωγής των νανοσωλήνων και χρήση τους σε σύνθετα υλικά. Σε αυτή την ενότητα, περιγράφουμε τις κύριες τεχνικές παραγωγής νανοσωλήνων και μερικά από τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της κάθε τεχνικής.

Τεχνική Ηλεκτρικής εκκένωσης τόξου (Arc-discharge)

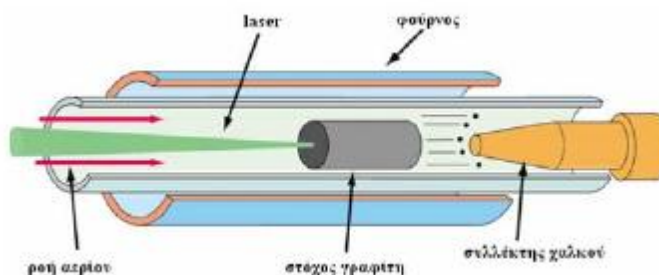
Ο Iijima [5] πρώτος παρατήρησε τους νανοσωλήνες που παράγονται με την τεχνική ηλεκτρικής εκκένωσης τόξου. Όπως φαίνεται σχηματικά στο σχήμα 5.8, αυτή η τεχνική, γενικά περιέχει την χρήση δύο υψηλής καθαρότητας γραφιτικών πόλων ως ανόδου και καθόδου. Οι πόλοι πλησιάζουν ο ένας τον άλλο υπό ατμόσφαιρα ηλίου και εφαρμόζεται μια τάση, μέχρι να επιτευχθεί ένα σταθερό ηλεκτρικό τόξο (arc). Η ακριβής διαδικασία ποικίλει ανάλογα το μέγεθος των γραφιτικών πόλων. Καθώς καταναλώνεται η άνοδος, ένα σταθερό κενό μεταξύ της ανόδου και της καθόδου διατηρείται προσαρμόζοντας την θέση της ανόδου. Το υλικό έπειτα εναποτίθεται πάνω στην κάθοδο για να σχηματίσει μία ανάπτυξη (build-up) που αποτελείται από ένα εξωτερικό κέλυφος από τηγμένο υλικό και ένα μαλακότερο ινώδη πυρήνα που περιέχει νανοσωλήνες και άλλα σωματίδια άνθρακα. Για να παραχθούν νανοσωλήνες άνθρακα, τα ηλεκτρόδια εμποτίζονται με μια μικρή ποσότητα από σωματίδια μεταλλικού καταλύτη [9-10], [16].



Σχήμα 5.8 Σχηματική αναπαράσταση της μεθόδου arc-discharge [16].

Η Τεχνική Εξάχνωσης γραφίτη με χρήση δεσμών laser (Laser Ablation)

Η τεχνική εξάχνωσης γραφίτη με χρήση δεσμών laser αρχικά χρησιμοποιήθηκε για την σύνθεση φουλλερενίων. Έπειτα από χρόνια, η τεχνική έχει βελτιωθεί για να επιτρέπει την παραγωγή νανοσωλήνων απλού τοιχώματος [12], [17]. Σε αυτήν την τεχνική, ένα laser χρησιμοποιείται για να εξαερώνει ένα γραφίτικό στόχο που συγκρατείται σε ένα φούρνο ελεγχόμενης ατμόσφαιρας σε θερμοκρασίες κοντά στους 1200 °C. Η διάταξη αυτής της τεχνικής φαίνεται στο σχήμα 5.9. Για να παραχθούν νανοσωλήνες μονού τοιχώματος, ο γραφίτικός στόχος εμποτίζεται με καταλύτη κοβάλτιο και νικέλιο [12]. Το συμπυκνωμένο υλικό έπειτα συλλέγεται πάνω σε ένα υδρόψυκτο στόχο.



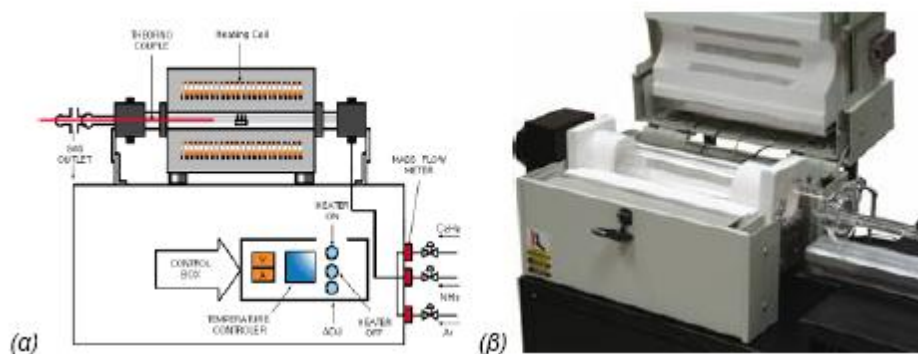
Σχήμα 5.9 Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας laser ablation.

Και οι δύο προηγούμενες τεχνικές περιορίζονται από τον όγκο του δείγματος που μπορούν να παράγουν σε σχέση με το μέγεθος της πηγής άνθρακα (η άνοδος στη ηλεκτρικής εκκένωσης τόξου και ο στόχος στη τεχνική εξάχνωσης γραφίτη με χρήση δεσμών laser). Επιπρόσθετα, απαιτούνται επιπλέον βήματα καθαρισμού για να

διαχωρίσουμε τους νανοσωλήνες από ανεπιθύμητα παρα-προϊόντα. Αυτοί οι περιορισμοί έχουν υποκινήσει την ανάπτυξη των τεχνικών αέριας φάσης, όπως τη μέθοδο χημικής εναπόθεσης με ατμό (chemical vapour deposition (CVD)), όπου οι νανοσωλήνες σχηματίζονται από την αποσύνθεση ενός αερίου που περιέχει άνθρακα. Οι τεχνικές αέριας φάσης είναι αποδεκτές για συνεχείς διαδικασίες αφού η πηγή άνθρακα αντικαθίσταται συνεχώς από ρέον αέριο. Επί πρόσθετα, η τελική καθαρότητα των νανοσωληνών που παράγονται μπορεί να είναι αρκετά υψηλή, ελαχιστοποιώντας έτσι τα επιπλέοντα βήματα καθαρισμού.

Η Τεχνική Χημικής Εναπόθεσης Ατμών (CVD-Chemical Vapour Deposition)

Οι τεχνικές αέριας φάσης χρησιμοποιούν αέριους υδρογονάνθρακες ως πηγή άνθρακα για την παραγωγή και των νανοσωληνών άνθρακα μονού και πολλαπλού τοιχώματος μέσω της CVD [18], [19] (σχήμα 5.10). Ο Nikolaev και οι συνεργάτες του [13] συμπέραναν ότι οι υδρογονάνθρακες πυρολύονται γρήγορα πάνω σε επιφάνειες γύρω στους 600-700 °C. Ως συνέπεια αυτού, οι νανοσωλήνες που αναπτύσσονται από υδρογονάνθρακες μπορούν να έχουν ουσιαστικά αποθέματα άμορφου άνθρακα πάνω στην επιφάνεια των σωληνών και θα απαιτούσαν περισσότερα βήματα καθαρισμού. Παρόλο που η αδράνεια των υδρογονανθράκων σε χαμηλές θερμοκρασίες επιδρά στην καθαρότητα των παραγόμενων νανοσωληνών, η χαμηλότερη θερμοκρασία επεξεργασίας ενεργοποιεί την ανάπτυξη νανοσωληνών άνθρακα σε μια ποικιλία υποστρωμάτων, περιλαμβανομένου και του γυαλιού.



Σχήμα 5.10 (α) Σχέδιο και (β) φωτογραφία διάταξης CVD για την παρασκευή νανοσωληνών άνθρακα.

Η Τεχνική μετατροπής CO με υψηλή πίεση (HiPCO)

Οι Nikolaev [13] περιγράφουν την ανάπτυξη αέριας φάσης των νανοσωλήνων μονού τοιχώματος με το μονοξείδιο του άνθρακα ως πηγή άνθρακα. Αυτοί ανέφεραν την παρασκευή νανοσωλήνων μονού τοιχώματος σε υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις (1200 °C και 10 atm). Οι νανοσωλήνες HiPCO (high-pressure conversion of carbon monoxide) είναι ιδιαίτερα προσεγγμένοι και έχουν εμπορευματοποιηθεί από την Carbon Nanotechnologies Inc (Houston, TX) η οποία ασχολείται με την παραγωγή μεγάλης κλίμακας νανοσωλήνων άνθρακα μονού τοιχώματος υψηλής καθαρότητας.

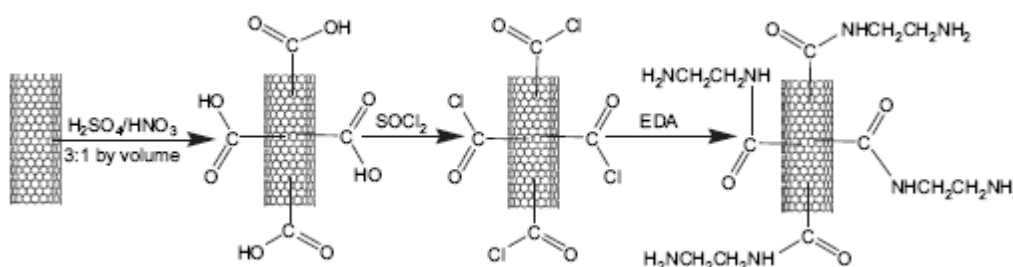
5.4 ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗΣ ΝΑΝΟΣΩΛΗΝΩΝ

Οι νανοσωλήνες άνθρακα έχουν κινήσει το ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια εξαιτίας των ασυνήθιστων ηλεκτρικών και μηχανικών ιδιοτήτων τους. Για κάποιες από τις εφαρμογές τους απαιτείται το υλικό να είναι υψηλής καθαρότητας. Σημαντικά προβλήματα που πρέπει να υπερνικηθούν για την παρασκευή σύνθετου υλικού είναι η χημική αδράνεια του γραφιτικού δικτύου και η τάση των νανοσωλήνων άνθρακα να 'μπλέκονται' και να δημιουργούν συσσωματώματα, εξαιτίας των δυνάμεων van der Waals που αναπτύσσονται μεταξύ τους. Όταν συμβαίνει αυτό, συσσωματώματα δηλαδή των νανοσωλήνων και όχι καλή διασπορά, παρατηρείται υποβάθμιση των ιδιοτήτων (μηχανικών και ηλεκτρικών) του νανοςύνθετου πολυμερικού υλικού σε σχέση με τις τελικά επιδιωκόμενες [19-24].

Για τους παραπάνω λοιπόν λόγους πολλές φορές κρίνεται απαραίτητη η χρήση χημικών αντιδραστηρίων ικανών να τροποποιήσουν την επιφάνεια των νανοσωλήνων, και με αυτό τον τρόπο να βελτιώσουν:

- α) την διασπορά των νανοσωλήνων στη μήτρα,
- β) τη συμβατότητά τους (χημική συγγένεια) με τη μήτρα,
- γ) τις αλληλεπιδράσεις μήτρας/εγκλείσματος και
- δ) την διεπιφανειακή πρόσφυση μεταξύ μήτρας και νανοσωλήνων (δηλαδή την βελτίωση μεταφοράς μηχανικών τάσεων από την μήτρα στους νανοσωλήνες).

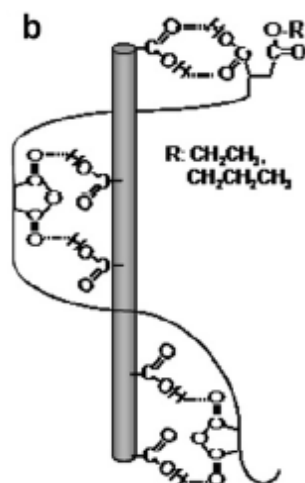
Το συνηθέστερα χρησιμοποιούμενα αντιδραστήρια για τη χημική τροποποίηση των νανοσωλήνων είναι είτε κάποιο οξύ (π.χ. HNO_3 , H_2SO_4), είτε οξύ και εν συνεχεία SOCl_2 και αιθυλενοδιαμίνη, που έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση δραστικών ομάδων (COOH , NH_2) στην επιφάνεια αυτών [24-30] (σχήμα 5.11). Σημαντικό κριτήριο στην επιλογή του κατάλληλου αντιδραστηρίου παίζει η πολυμερική μήτρα και η όσο το δυνατόν μεγαλύτερη συνάφεια μεταξύ των φάσεων.



Σχήμα 5.11 Χημική τροποποίηση νανοσωλήνων [26]

5.5 ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΠΟΛΥΜΕΡΙΚΗΣ ΜΗΤΡΑΣ

Εκτός από τη χημική τροποποίηση της επιφάνειας των νανοσωλήνων, ένας επιπλέον τρόπος για να βελτιώσουμε τη διασπορά των νανοσωλήνων στη μήτρα, τη συμβατότητά τους (χημική συγγένεια) με τη μήτρα, τις αλληλεπιδράσεις μήτρας/εγκλείσματος και τη διεπιφανειακή πρόσφυση μεταξύ μήτρας και νανοσωλήνων, είναι και η τροποποίηση της πολυμερικής μήτρας. Αυτή επιτυγχάνεται με την προσθήκη κατάλληλων αντιδραστηρίων (π.χ. μηλεϊνικού ανυδρίτη) [31-33] που βελτιώνουν τη συνάφεια μήτρας/εγκλείσματος. Περισσότερο αναγκαία είναι η τροποποίηση πολυμερικής μήτρας μη πολικών πολυμερών (π.χ. πολυπροπυλενίου) που η χημική τους συγγένεια με τους νανοσωλήνες είναι ελάχιστη. Πολλές φορές για το καλύτερο παραγόμενο αποτέλεσμα είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί τροποποίηση τόσο των νανοσωλήνων όσο και της πολυμερικής μήτρας [34-36] (σχήμα 5.12).



Σχήμα 5.12 Σχηματικό διάγραμμα δεσμών υδρογόνου μεταξύ χημικά τροποποιημένου νανοσωλήνα και πολυπροπυλενίου τροποποιημένου με μηλεϊνικό ανυδρίτη [34]

5.6 ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΝΑΝΟΣΩΛΗΝΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ

Οι νανοσωλήνες υπό την μορφή συνόλων βρίσκουν εφαρμογή:

- α) σε σύνθετα υλικά ως φάση ενίσχυσης με βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες και
- β) σε ήλεκτρο/ μηχανολογικούς εκκινήτες.

Επίσης έχει προταθεί η χρήση μαζικών ποσοτήτων νανοσωλήνων ως μέσα αποθήκευσης υδρογόνου υψηλής χωρητικότητας. Όσον αφορά στους μεμονωμένους νανοσωληνίσκους είναι δυνατόν να βρουν εφαρμογή:

- α) ως πηγές πεδίων εκπομπής (field emission sources)
- β) ως άκρα σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο μετάδοσης (TEM),
- γ) ως νανολαβίδες (nano-tweezers) ακόμα και
- δ) ως χημικοί αισθητήρες.

Τέλος επισημαίνεται πως οι νανοσωληνίσκοι θα αποτελέσουν τα κεντρικά στοιχεία των μελλοντικών μικροσκοπικών ηλεκτρονικών συσκευών.

Αποθήκευση Ενέργειας

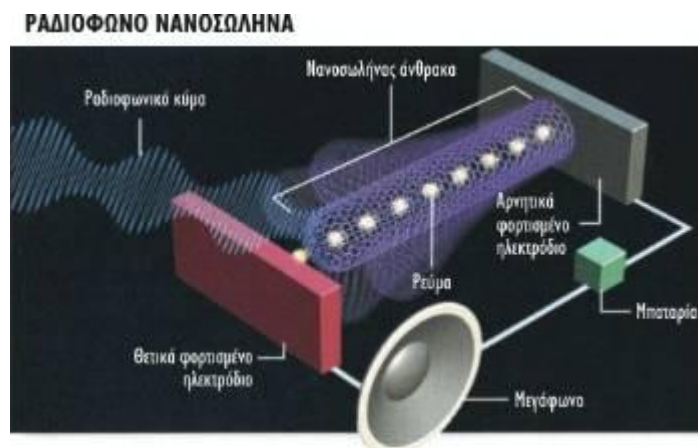
Ο γραφίτης, τα ανθρακούχα υλικά και τα ηλεκτρόδια από ίνες άνθρακα χρησιμοποιούνται συχνά στα κελιά καυσίμου (fuel cells), στις μπαταρίες και σε άλλες ηλεκτρομηχανικές εφαρμογές. Τα πλεονεκτήματα των νανοσωληνίσκων όσο αναφορά την αποθήκευση ενέργειας είναι οι μικρές τους διαστάσεις, η λεία επιφάνεια, και η τέλεια γνώση της δομής της επιφάνειας. Η αποτελεσματικότητα των κελιών καυσίμου καθορίζεται από τον ρυθμό μεταφοράς των ηλεκτρονίων στα ηλεκτρόδια του άνθρακα, κάτι που είναι ταχύτερο στους νανοσωληνίσκους σύμφωνα με την αρχή του Nernstian .

Συσκευές Εκπομπής Πεδίου

Ο ιδανικός πομπός για τέτοιου είδους συσκευές πρέπει να έχει διάμετρο της τάξεως των νανομέτρων, δομική ακεραιότητα, υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα, μικρή διασπορά ενέργειας και μεγάλη χημική σταθερότητα. Οι νανοσωληνίσκοι άνθρακα πληρούν όλες αυτές τις προϋποθέσεις. Παρόλα αυτά τροχοπέδη στη χρησιμοποίηση των ΝΣΑ σε τέτοιου είδους εφαρμογές είναι η εξάρτηση της αγωγιμότητας των σωληνίσκων από τη διαδικασία παραγωγής .

Τρανσίστορς

Ένας διακόπτης τριών θέσεων μπορεί να κατασκευαστεί από ένα και μόνο ημιαγώγιμο ΜΤΝΣ. Εφαρμόζοντας τάση σε ένα ηλεκτρόδιο εισόδου ο νανοσωληνίσκος μπορεί να μετατραπεί από αγώγιμος σε μη αγώγιμος. Τέτοια μικρά τρανσίστορς από ΝΣΑ αν ενωθούν μαζί μπορούν να δουλέψουν ως λογικοί διακόπτες οι οποίοι είναι το βασικό συστατικό των υπολογιστών. Ένας νανοσωληνας άνθρακα μπορεί να λειτουργήσει ως ραδιοφωνικός δέκτης, αλλά και πομπός.



Σχήμα 5.13 Νανοσωληνας άνθρακα ως ραδιοφωνικός δέκτης

Το ραδιόφωνο νανοσωληνα άνθρακα που εφηύραν το 2007 ο φυσικός Αλεξ Ζετλ και οι συνάδελφοί του στο Πανεπιστήμιο Μπέρκλεϊ της Καλιφόρνια πετυχαίνει κάτι εκπληκτικό και απρόσμενο: Ένας και μόνο νανοσωληνας συντονίζεται στο ηλεκτρομαγνητικό σήμα που εκπέμπει κάποιος ραδιοφωνικός σταθμός, το ενισχύει, το μετατρέπει σε ηχητικό σήμα (το αποδιαμορφώνει) και το στέλνει σε ένα μεγάφωνο όπου μπορεί να ακουστεί καθαρά. Σύμφωνα με τους κατασκευαστές του, το νανοραδιόφωνο μπορεί να γίνει η βάση για πολλές εφαρμογές στην καθημερινότητα, όπως βοηθήματα για τη βαρηκοΐα, κινητά τηλέφωνα και ραδιόφωνα που να χωράνε ολόκληρα μέσα στον ακουστικό πόρο. Ένα απλό ραδιόφωνο χαμηλής πιστότητας αποτελείται από τέσσερα βασικά μέρη: Μια κατάλληλη κεραία που να συλλαμβάνει τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα των ραδιοφωνικών σταθμών, ένα σύστημα συντονισμού σε κάποιο συγκεκριμένο σταθμό, έναν ενισχυτή που αυξάνει την ένταση του σήματος και έναν αποδιαμορφωτή, που διαχωρίζει το ηχητικό σήμα από το φέρον κύμα μέσω του οποίου μεταδίδεται. Το ηχητικό σήμα (με μορφή ηλεκτρικού κύματος) μεταφέρεται σε κάποιο μεγάφωνο, όπου τελικά παράγεται ο ήχος που εκπέμφθηκε από το σταθμό. Ο νανοσωληνας άνθρακα που είναι ο πυρήνας του νανοραδιοφώνου, αποδείχτηκε συνδυασμός τέτοιων εξαιρετικά ευνοϊκών χημικών, γεωμετρικών και ηλεκτρικών ιδιοτήτων,

ώστε όταν τοποθετήθηκε ανάμεσα σε δύο ηλεκτρόδια, αυτό το μικροσκοπικό στοιχείο πέτυχε και τις τέσσερις λειτουργίες που απαιτεί ένας ραδιοφωνικός δέκτης. Δεν χρειάστηκε κανένα άλλο εξάρτημα!

Ο Ζετλ και οι συνάδελφοί του κατασκεύασαν ένα πολυστρωματικό νανοσωλήνα στην άκρη ενός ηλεκτροδίου, μια διάταξη όπου ο νανοσωλήνας μοιάζει με ιστό σημαίας στην κορυφή ενός λόφου. Επέλεξαν πολυστρωματικό νανοσωλήνα επειδή μπορούσε να είναι μεγαλύτερος από άλλα είδη νανοσωλήνων και ήταν ευκολότερο να προσαρμοστεί στην επιφάνεια του ηλεκτροδίου. Ο νανοσωλήνας που χρησιμοποίησαν αρχικά είχε μήκος 500 νανόμετρα και διάμετρο 10 (περίπου όσο και ένας βιολογικός ιός). Σε μικρή απόσταση από την ελεύθερη άκρη του τοποθέτησαν κοίλο ηλεκτρόδιο, ώστε εφαρμόζοντας μικρή διαφορά δυναμικού και αξιοποιώντας ένα κβαντομηχανικό φαινόμενο να πετύχουν ροή ηλεκτρονίων μέσα από το διάκενο ανάμεσα στην άκρη του νανοσωλήνα και το κοίλο ηλεκτρόδιο. Σε ένα κανονικό ραδιόφωνο, τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα επάγουν ένα ασθενές ηλεκτρικό ρεύμα μέσα στην κεραία, η οποία παραμένει σταθερή. Οι νανοσωλήνες, όμως, είναι τόσο ευαίσθητοι και ελαφριοί, ώστε τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που πέφτουν πάνω τους μπορούν να τους προκαλέσουν μηχανική ταλάντωση. Στο νανοκόσμο η βαρύτητα και η δύναμη της αδράνειας παίζουν ασήμαντο ρόλο, ενώ κυριαρχούν οι ηλεκτρομαγνητικές αλληλεπιδράσεις. Η ταλάντωση του νανοσωλήνα μεταβάλλει την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος εκπομπής πεδίου, κατά το οποίο ακόμα και μια μικρή διαφορά δυναμικού προκαλεί μεγάλη ροή ηλεκτρονίων από μια ακίδα σε κοντινό αντιηλεκτρόδιο. Έτσι ο νανοσωλήνας εκτός από κεραία λειτουργεί και ως ενισχυτής. Στα συμβατικά ραδιόφωνα, η αποδιαμόρφωση, δηλαδή ο διαχωρισμός από το φέρον κύμα, του ενσωματωμένου σ' αυτό κύματος με τη μεταφερόμενη πληροφορία, γίνεται από ένα κύκλωμα ανόρθωσης και φιλτραρίσματος, με τη βοήθεια κατ' ελάχιστον μιας διόδου και ενός πυκνωτή. Όμως η ανόρθωση είναι ένα από τα χαρακτηριστικά του κβαντομηχανικού φαινομένου της εκπομπής πεδίου, που σημαίνει ότι αυτόματα η ηλεκτρική διακύμανση που προκαλείται από την ταλάντωση του νανοσωλήνα αντιστοιχεί μόνο στο ηχητικό τμήμα του ραδιοφωνικού σήματος. Τέλος, ο συντονισμός σε κάποιο σταθμό που στα κανονικά ραδιόφωνα γίνεται με τη βοήθεια ενός μεταβλητού πυκνωτή, στο νανοραδιόφωνο πετυχαίνεται με το τέντωμα του νανοσωλήνα - κάτω από την επίδραση διαφορετικής ισχύος ηλεκτρικού πεδίου - σα να ήταν χορδή κιθάρας. Με κάποιες τροποποιήσεις, οι ερευνητές πέτυχαν τελικά να χρησιμοποιήσουν το νανοραδιόφωνο και ως πομπό με εμβέλεια αρκετών μέτρων.

Σύνθετα Υλικά

Λόγω της υψηλής αντοχής και δυσκαμψίας τους οι νανοσωληνίσκοι άνθρακα είναι ιδανικοί για δομικές εφαρμογές. Για παράδειγμα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως ενίσχυση σε υψηλής αντοχής και χαμηλού βάρους σύνθετα υλικά.

Θεωρητικά οι ΜΤΝΣ έχουν μέτρο ελαστικότητας 1 ΤΡα. Οι ΠΤΝΣ είναι πιο αδύνατοι αφού οι διάφοροι κύλινδροι από τους οποίους αποτελούνται ολισθαίνουν ο ένας σε σχέση με τον άλλο. Σχοινιά αποτελούμενα από ΜΤΝΣ έχουν επίσης μικρότερη αντοχή. Αυτό συμβαίνει γιατί ο κάθε σωληνίσκος μπορεί να αποτραβηχτεί λόγω διάτμησης και τελικά το όλο σχοινί θα σπάσει. Οι νανοσωληνίσκοι μπορούν να υπομείνουν μεγάλες παραμορφώσεις λόγω εφελκυσμού χωρίς να δείξουν σημάδια θραύσης. Σε άλλες διευθύνσεις οι νανοσωληνίσκοι είναι εξαιρετικά ευλύγιστοι.

Βασιζόμενοι στις ιδιότητες τους μπορούμε να πούμε ότι οι νανοσωληνίσκοι άνθρακα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ενισχύσεις στα σύνθετα υλικά. Παρόλα αυτά δεν έχουν υπάρξει πολλά επιτυχημένα πειράματα που να δείχνουν ότι οι νανοσωληνίσκοι είναι καλύτερα υλικά ενίσχυσης από τις παραδοσιακές ίνες άνθρακα. Το κύριο πρόβλημα είναι η δημιουργία μιας καλής διεπιφάνειας ανάμεσα στους νανοσωληνίσκους και την πολυμερή μήτρα. Αυτό οφείλεται στην πολύ λεία επιφάνεια των νανοσωληνίσκων καθώς και στην πολύ μικρή τους διάμετρο η οποία είναι σχεδόν ίση με τη διάμετρο την πολυμερισμένης αλυσίδας. Επίσης τα συσσωματώματα των νανοσωληνίσκων, τα οποία σχηματίζονται κατά την ανάμιξη τους με την πολυμερή μήτρα, συμπεριφέρονται διαφορετικά στις φορτίσεις απ' ότι οι μεμονωμένοι νανοσωληνίσκοι. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα τα συσσωματώματα θα πρέπει να σπάσουν και να διασκορπιστούν ή να δεθούν μεταξύ τους τα διάφορα μόρια για να αποφευχθεί η ολίσθηση και να έχουμε ομαλή μεταφορά των φορτίων. Το κύριο πλεονέκτημα που αναμένεται με τη χρησιμοποίηση νανοσωληνίσκων άνθρακα στα σύνθετα υλικά πολυμερής μήτρας είναι η αύξηση της αντοχής τους σε κρούση. Οι νανοσωληνίσκοι θα απορροφήσουν μεγάλο ποσοστό της ενέργειας λόγω της πολύ καλής ελαστικής συμπεριφοράς τους και της εξαιρετικής ευλυγισίας που διαθέτουν.

Άλλα πλεονεκτήματα στη χρησιμοποίηση νανοσωληνίσκων στα σύνθετα υλικά είναι η χαμηλή πυκνότητα, η αυξημένη ηλεκτρική αγωγιμότητα και η καλύτερη συμπεριφορά στα θλιπτικά φορτία και στην τριβολογία. Ο επόμενος πίνακας συνοψίζει τις θεωρητικές και πειραματικές ιδιότητες των ΝΣΑ και επίσης παρατίθενται και οι ιδιότητες του γραφίτη για άμεση σύγκριση.

Property	CNTs	Graphite
Specific gravity	0.8 g/cm ³ for SWCNT; 1.8 g/cm ³ for MWCNT (theoretical)	2.26 g/cm ³
Elastic modulus	~1 TPa for SWCNT; ~0.3–1 TPa for MWCNT	1 TPa (in-plane)
Strength	50–500 GPa for SWCNT; 10–60 GPa for MWCNT	
Resistivity	5–50 μΩ cm	50 μΩ cm (in-plane)
Thermal conductivity	3000 W m ⁻¹ K ⁻¹ (theoretical)	3000 W m ⁻¹ K ⁻¹ (in-plane), 6 W m ⁻¹ K ⁻¹ (c-axis)
Magnetic susceptibility	22 × 10 ⁶ EMU/g (perpendicular with plane), 0.5 × 10 ⁶ EMU/g (parallel with plane)	
Thermal expansion	Negligible (theoretical)	-1 × 10 ⁻⁶ K ⁻¹ (in-plane), 29 × 10 ⁻⁶ K ⁻¹ (c-axis)
Thermal stability	>700 °C (in air); 2800 °C (in vacuum)	450–650 °C (in air)
Specific surface area	10–20 m ² /g	

Ιατρική & Βιολογία

Από το 2002 και έπειτα αρκετοί ερευνητές ενασχολήθηκαν με την συνένωση ΝΣΑ και μορίων DNA και την τροποποίηση των ΝΣΑ με διάφορους τύπους DNA. Συγκεκριμένα οι ΜΤΝΣΑ έχουν μέγεθος παρόμοιο αυτού του DNA και έτσι είναι εφικτό στα άκρα των ΜΤΝΣΑ να “αγκιστρωθούν” μόρια DNA καθώς και άλλες βιοχημικές ουσίες. Ο παραπάνω τρόπος καθιστά εφικτό οι ΝΣΑ με DNA να σχετιστούν με την αποκωδικοποίηση του DNA χρησιμοποιώντας την αγωγιμότητα των ΝΣΑ. Διαφορετικά είδη DNA έχουν διαφορετική δομή και κατά προέκταση διαφορετική αγωγιμότητα έτσι οι ΝΣΑ με DNA θα απωθήσουν ή θα ελκύσουν μόνο συγκεκριμένα μόρια DNA. Επίσης λόγω της παραπάνω ιδιότητας οι ΝΣΑ με DNA μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εξελιγμένες θεραπείες με φάρμακα ή αντιβιοτικά όπου ο ΝΣΑ θα είναι ο κομιστής της φαρμακευτικής ουσίας και θα τη απελευθερώνει μόνο όταν έρθει σε επαφή με τα ασθενή κύτταρα ή μύες του οργανισμού αυξάνοντας έτσι την απόδοση των φαρμάκων και μειώνοντας ταυτόχρονα τον χρόνο θεραπείας .

Χρήσεις της Νανοτεχνολογίας και των ΝΣΑ σε Στρατιωτικές Εφαρμογές

Ο Altman ανέλυσε τις πιθανές χρήσεις της ΝανοΤεχνολογίας (NT), των ΝΣΑ και της μοριακής νανοτεχνολογίας για εφαρμογές στο στρατό και στην πολεμική τεχνολογία. Οι τομείς που υπάρχει δυναμικό για τη χρήση της NT είναι οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές, ηλεκτρονικές συσκευές και αισθητήρες, όπου η μείωση του μεγέθους και βάρους (από 60kgf που είναι τώρα όλος ο εξοπλισμός ενός στρατιώτη σε 20 kgf τα επόμενα 15χρόνια σύμφωνα με το Αμερικάνικο Πανεπιστήμιο MIT) αυτών των συσκευών με ταυτόχρονη αύξηση των δυνατοτήτων είναι δυνατή. Τα νέα αυτά αυτόνομα συστήματα θα είναι ικανά να προσαρμόζονται επάνω στη στολή του στρατιώτη δίνοντας του έτσι επιπλέον δυνατότητες

όπως συνεχής ροή πληροφοριών και την εικόνα του πεδίου μάχης σε πραγματικό χρόνο. Επίσης τα διοικητικά κέντρα θα έχουν τη δυνατότητα απεικόνισης του πεδίου μάχης σε εικονικό περιβάλλον σε πραγματικό χρόνο. Οι νέες στολές των στρατιωτών θα έχουν τη δυνατότητα να παρακολουθούν τις ζωτικές ενδείξεις του στρατιώτη και σε περίπτωση που αυτός πληγωθεί να αλλάξει σχήμα έτσι ώστε να σταματήσει την αιμορραγία ή ακόμα να του χορηγήσει φάρμακα ή ηρεμιστικά και ορμόνες και να διατηρεί σταθερή τη θερμοκρασία του σώματος σταθερή. Η εφαρμογή των παραπάνω μπορούν να γίνουν και στις στολές των πιλότων βοηθώντας τους έτσι να αυξήσουν τις αντοχές και να μειώσουν το χρόνο αντίδραση τους στις υπερβολικές επιταχύνσεις τις βαρύτητας που αναπτύσσονται σε κάποια αερομαχία.

Η κατασκευή των νανορομπότ (nanobot) θα δώσει άλλη διάσταση στο σύγχρονο πεδίο μάχης αφού θα είναι ικανά να διεισδύουν πίσω από τις γραμμές του εχθρού και όχι μόνο να παρέχουν αναγνώριση και πληροφορίες, αλλά και να πλήττουν αυτόνομα τις κρίσιμες εγκαταστάσεις και μονάδες του εχθρού. Επίσης είναι εφικτό τα nanobot να μπαίνουν στον οργανισμό των στρατιωτών και να τους εξουδετερώνουν ή ακόμα να εκτοξεύονται στο διάστημα και να πλήττουν δορυφόρους του αντίπαλου στρατοπέδου.

Σε αυτές τις γραμμές κινείται και η τεχνολογία όπλων με τη χρήση της NT όπου θα αλλάξει τα δεδομένα των συρράξεων αφού θα είναι εφικτή η κατασκευή όπλων με μεγαλύτερη ακρίβεια, μεγαλύτερη εμβέλεια και τη δυνατότητα να πλήττουν επιλεκτικά συγκεκριμένες ομάδες πληθυσμού ή μεμονωμένα άτομα ενώ ταυτόχρονα να μην πλήττουν τους συμπολεμιστές και συμμάχους. Το τελευταίο είναι πιθανό αφού τα νανο- όπλα θα μπορούν να διακρίνουν τις πληθυσμιακές ομάδες ανάλογα με τα γενετικά τους χαρακτηριστικά όπως π.χ. φύλλο, ηλικία, DNA.

Τέλος αναφέρεται πως η ανάπτυξη των τεχνολογιών αυτών θα είναι ώριμη για εφαρμογές στα επόμενα 15-20 χρόνια ενώ κρίνεται απαραίτητη η ανάπτυξη, συγγραφή και υπογραφή διεθνών συμβάσεων και πρωτοκόλλων.

5.7 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΒΙΒΛΙΑ

- 1) Μπόκαρης Π.Ε., 'Σύνθεση και Τεχνολογία Πολυμερών', Ιωάννινα, 1999.
- 2) Παναγιώτου Κ., 'Επιστήμη και Τεχνολογία Πολυμερών', Θεσσαλονίκη, 1996.
- 3) Ντόντος Δ..Α., 'Συνθετικά Μακρομόρια, Βασική Θεώρηση', Πάτρα, 2002

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΑ ΒΙΒΛΙΑ

- 4) Jenkins, G.M., Kawamura, K., 'Polymeric Carbons', Cambridge University Press, Cambridge, 1976.
- 5) Gojny H.F., Wichmann H.G.M., Fiedler B., Kinloch A.I., Bauhofer W., Windle H.A., and Schulte K., Polymer, 2006, 47, 2036.
- 6) Thostenson E.T., Zhifeng R., and Chou T.W., Comp. Sci. Technol., 2001, 61, 1899.
- 7) Bandow S., and Asaka S., Phys. Rev. Lett., 1998, 80, 3779.
- 8) Iijima, S., Nature, 1991, 354, 56.
- 9) Iijima S., and Ichihashi, T., Nature, 1993, 363, 603.
- 10) Bethune, S.D., Kiang, H.C., Devries, S.M., Gorman, G., Savoy, R., and Vazquez, J., Nature, 1993, 363, 605.
- 11) Journet, C., Maser, K.W., Bernier, P., Loiseau, A., De la Chapelle, L.M., and Lefrant, S., Nature, 1997, 388, 756.
- 12) Rinzler, G.A., Liu, J., Dai, H., Nikolaev, P., Huffman B.C., and Rodriguez-Macias, F.J., J. Appl. Phys. A, 1998, 67, 29.

- 13)** Nikolaev, P., Bronikowski, J.M., Bradley, K.R., Fohmund, F., Colbert, T.D., and Smith, A.K., Chem. Phys. Lett., 1999, 313, 91.
- 14)** Ren, F.Z., Huang, P.Z., Xu, W.J., Wang, Z.D., Wen, G.J., and Wang, H.J., Appl. Phys. Lett., 1999, 75, 1086.
- 15)** Ge, M., and Sattler, K., Appl. Phys. Lett., 1994, 64, 710.
- 16)** Saito, Y., Nishikubo, K., Kawabata, K., and Matsumoto, T., J. Appl. Phys., 1996, 80, 3062.
- 17)** Thess, A., Lee, R., Nikolaev, P., Dai, J.H., Petit P., and Robert, J., Science, 1996, 273, 483.
- 18)** Cui, H., Zhou, O., and Stoner, B.R., J. Appl. Phys., 2000, 88, 6072.
- 19)** Okai, M., Muneyoshi, T., Yaguchi, T., and Sasaki, S., Appl. Phys. Lett., 2000, 77, 3468.
- 20)** Baughman, H.R., Zakhidov, A.A., and De Heer, A.W., Science 2002, 297, 787.
- 21)** Cao, J., Wang, Q., Rolandi, M., and Dai, H., Phys. Rev. Lett., 2004, 93, 216803.
- 22)** Biercuk, J.M., Llaguno, C.M., Radosavljevic, M., Hyun, K.J., and Johnson, T.A., Appl. Phys. Lett., 2002, 80, 2767.
- 23)** Li, J., Fang, Z., Tong, L., Gu, A., and Liu, F., J. Polym. Sci. B: Polym. Phys., 2006, 44, 1499.
- 24)** Shen J., Huang W., Wu L., Hu Y., and Ye M., Composites: Part A, 2007, 38, 1331.
- 25)** Bikiaris, D., Vassiliou, A., Chrissafis, K., Paraskevopoulos, M.K., Jannakoudakis, A., and Docoslis, A., Polym. Degrad. Stab., 2008, 93, 952.
- 26)** Meng H., Sui G.X., Fang P.F., and Yang R., Polymer, 2008, 49, 610.

- 27)** Zeng H., Gao C., Wang Y., Watts C.P.P., Kong H., Cui X., and Yan D., *Polymer*, 2006, 47, 113.
- 28)** Tzavalas, S., Drakonakis, V., Mouzakis, E.D., Fischer, D., and Gregoriou, G.V., *Macromolecules*, 2006, 39, 9150.
- 29)** Shen J., Huang W., Wu L., Hu Y., and Ye M., *Compos. Sci. Technol.*, 2007, 67, 3041.
- 30)** Ramanathan T., Liu H., and Brinson C.L., *J. Polym. Sci. Part B: Polym. Phys.*, 2005, 43, 2269.
- 31)** Velasco I.J., Ardanuy M., Realinho V., Antunes M., Fernandez I.A., Gonzalez-Pena I.J., Rogriguez-Perez A.M., and Saja J.A., *J. Appl. Polym. Sci.*, 2006, 102, 1213.
- 32)** Ohlsson B., Hassander H., and Tornell B., *Polymer*, 1998, 39, 6705.
- 33)** Shi D., Yang Z., Yao Z., Wang Y., Huang H., Jing W., Yin J., and Costa G., *Polymer*, 2001, 42, 5549.
- 34)** Lee G.W., Jagannathan S., Chae H.G., Minus L.M., and Kumar S., *Polymer*, 2008, 49, 1831.
- 35)** Yang B.X., Shi J.H., Pramoda K.P., and Goh S.H., *Compos. Sci. Technol.*, 2008, 68, 2490.
- 36)** Lee H.S., Cho N.E., Jeon H.S., and Youn R.J., *Carbon*, 2007, 45, 2810.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ

6

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΝΑΝΟΣΩΛΗΝΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

- 6.1 ΓΕΝΙΚΑ
- 6.2 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ ΣΑΡΩΣΗΣ
- 6.3 ΔΙΑΦΟΡΙΚΗ ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΙΑ ΣΑΡΩΣΕΩΣ
- 6.4 ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ
- 6.5 ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ RAMAN
- 6.6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

6.1 ΓΕΝΙΚΑ

Για τη μελέτη των ιδιοτήτων των διαφόρων μορφών νανოსωλήνων άνθρακα (απλού και πολλαπλού τοιχίου) αλλά και όλων των χημικών τροποποιημένων παραγώγων τους, όπως οξειδωμένοι αλλά και χημικά τροποποιημένοι νανοςωλήνες άνθρακα μπορεί να χρησιμοποιηθεί πλήθος πειραματικών τεχνικών ανάλυσης.

6.2 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑ ΣΑΡΩΣΗΣ

Εισαγωγή

Η ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (SEM, Scanning Electron Microscopy) βασίζεται στην αλληλεπίδραση μιας δέσμης ηλεκτρονίων με άτομα στην επιφάνεια ενός στερεού, συνήθως σε περιβάλλον κενού. Τα ηλεκτρόνια επιταχύνονται με δυναμικά από 5 έως και δεκάδες keV και η δέσμη τους σαρώνει την επιφάνεια του υπό εξέταση δοκιμίου μέσω συστημάτων ηλεκτροστατικής εκτροπής. Οι πληροφορίες για το δείγμα λαμβάνονται ανιχνεύοντας ηλεκτρόνια ή ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες που εκπέμπονται δευτερογενώς από την επιφάνειά του. Τα ηλεκτρονικά ή φωτονικά αυτά σήματα συλλέγονται και οδηγούνται σε οθόνη καθοδικού σωλήνα μετά από κατάλληλη ενίσχυση. Η ηλεκτρονική μικροσκοπία λειτουργεί με διαφορετική μεθοδολογία, ανάλογα με τον τύπο του δευτερογενούς σήματος που χρησιμοποιεί στην απεικόνιση πληροφοριών.

Η *τεχνική ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σε τύπο «εκπομπής»* βασίζεται στις πληροφορίες που λαμβάνονται από δευτερογενή ηλεκτρόνια, η ενέργεια των οποίων δεν ξεπερνά τα 300 eV. Η ροή των δευτερογενών ηλεκτρονίων εξαρτάται από την φύση της «εκπέμπουσας» επιφάνειας του υλικού, αλλά είναι εξαιρετικά ευαίσθητη στη γωνία πρόσπτωσης της πρωτογενούς δέσμης. Για τον λόγο αυτό, η εικόνα που αναπαράγεται στην οθόνη του καθοδικού σωλήνα με την σάρωση της επιφάνειας του δείγματος δίνει με εξαιρετική ακρίβεια και λεπτομέρεια το ανάγλυφο της υπό μελέτη επιφανείας. Άλλωστε η εκπομπή και απεικόνιση συγχρονίζονται με τέτοιο τρόπο, ώστε να υπάρχει ακριβής (ένα προς ένα) αντιστοιχία μεταξύ των πληροφοριών που συλλέγονται από ένα σημείο του δείγματος και την φωτεινότητα ενός αντίστοιχου τμήματος της οθόνης. Με την SEM σε τύπο εκπομπής μπορεί να μελετηθεί ένα επιφανειακό στρώμα βάθους περίπου 50 Å. Το βάθος πεδίου αυξάνεται όσο πιο στενή είναι η προσπίπτουσα δέσμη ηλεκτρονίων. Η SEM (σε

τύπο εκπομπής) δεν είναι καταστροφική για το δείγμα και δεν απαιτεί ιδιαίτερη προετοιμασία του, όπως π.χ. η ηλεκτρονική μικροσκοπία μετάδοσης ή διείσδυσης, (TEM, Transmission Electron Microscopy), όπου το δείγμα πρέπει να έχει πολύ μικρό πάχος.

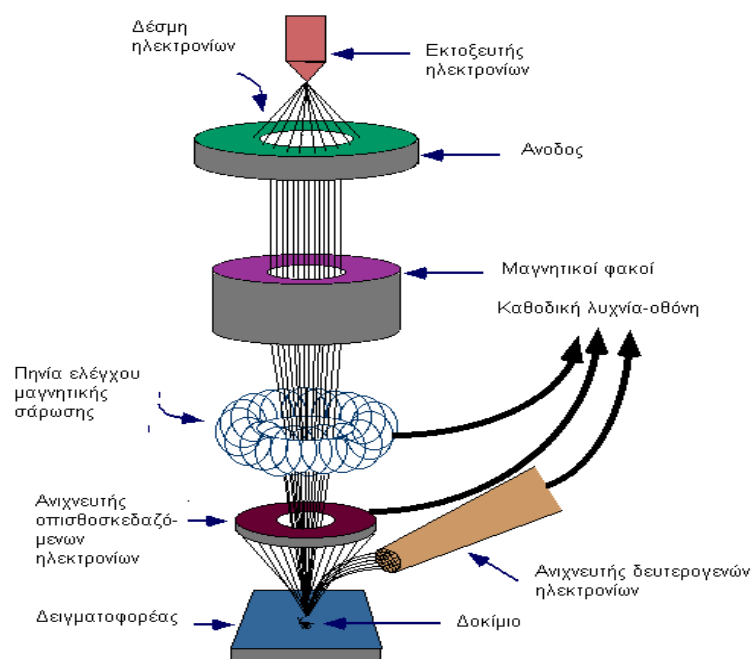
Η τεχνική SEM χρησιμοποιείται για τοπογραφικές μελέτες επιφανειών στο σύνολο σχεδόν των στερεών (μέταλλα, ημιαγωγοί, μονωτές, πολυμερή, βιολογικά υλικά κ.α.) με την προϋπόθεση ότι αυτά είναι σταθερά στο περιβάλλον κενού της μέτρησης και η επιφάνεια τους δεν τροποποιείται φυσικοχημικά από τη δέσμη ηλεκτρονίων. Είναι ένα ισχυρό εργαλείο για τη μελέτη της μορφολογίας λεπτών φιλμ (συνήθως αποθεμάτων), την αναγνώριση των επιφανειακών γεωμετρικών και φυσικοχημικών ατελειών τους και για την εξαγωγή με τον τρόπο αυτό συμπερασμάτων για την καταλληλότητα των συνθηκών παρασκευής ή των επιφανειακών κατεργασιών που ενδεχομένως εφαρμόζονται. Η επιφανειακή ανάλυση που επιτυγχάνεται σε αναλύσεις ρουτίνας SEM μπορεί να φθάσει τα 250 Å (25 nm) [1].

Βασικά στάδια λειτουργίας

Η λειτουργία του SEM στηρίζεται στις αλληλεπιδράσεις του προς εξέταση δείγματος και της προσπίπτουσας σε αυτό δέσμης ηλεκτρονίων. Οι βασικές διατάξεις που υπάρχουν στο μικροσκόπιο (σχήμα 6.1) είναι το σύστημα παραγωγής δέσμης ηλεκτρονίων, το σύστημα κατεύθυνσης της δέσμης, το σύστημα πληροφοριών και τέλος το σύστημα κενού.

Τα βασικά στάδια λειτουργίας ενός ηλεκτρονικού μικροσκοπίου είναι:

- 1)** Σχηματίζεται μία δέσμη ηλεκτρονίων από την πηγή η οποία επιταχύνεται προς το δείγμα μέσω ενός θετικού ηλεκτρικού δυναμικού
- 2)** Χρησιμοποιώντας μεταλλικά ανοίγματα, ηλεκτρομαγνητικούς φακούς και πηνία σάρωσης, επιτυγχάνεται μία λεπτή εστιασμένη μονοχρωματική δέσμη η οποία σαρώνει την επιφάνεια του δείγματος
- 3)** Οι αλληλεπιδράσεις δέσμης δείγματος καταγράφονται από τους ανιχνευτές και μετατρέπονται σε εικόνα.



Σχήμα 6.1 Διάγραμμα λειτουργίας μικροσκοπίου

6.3 ΔΙΑΦΟΡΙΚΗ ΘΕΡΜΙΔΟΜΕΤΡΙΑ ΣΑΡΩΣΕΩΣ

Εισαγωγή

Με τον όρο Θερμική Ανάλυση εννοούμε σύμφωνα με την I.C.T.A. (International Confederation for Thermal Analysis) το σύνολο των τεχνικών στις οποίες μετρώνται οι φυσικές ιδιότητες καθώς και τα προϊόντα αντιδράσεων μιας ουσίας, συναρτήσει της θερμοκρασίας ή του χρόνου, όταν η ουσία αυτή υποβάλλεται σε ένα πρόγραμμα ελέγχου αύξησης ή μείωσης της θερμοκρασίας αυτής.

Με την τεχνική αυτή μπορούν να προσδιοριστούν μεταβολές σε μεγέθη όπως η ενθαλπία, η θερμοχωρητικότητα, ο συντελεστής θερμικής διαστολής, η μάζα, το μέτρο ελαστικότητας, οι οπτικές και ακουστικές ιδιότητες ενός υλικού στη στερεά ή την υγρή φάση. Ειδικότερα στη στερεά κατάσταση με τη μέθοδο της Διαφορικής Θερμιδομετρίας Σαρώσεως εξετάζονται οι μεταβολές φάσεων, η κρυστάλλωση, η θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης, κ.α.

Τα μετρούμενα μεγέθη καταγράφονται συναρτήσει του χρόνου ή της θερμοκρασίας, η οποία προγραμματίζεται σε συγκεκριμένες συνθήκες πίεσης. Το πρόγραμμα μπορεί να περιλαμβάνει θέρμανση ή ψύξη του εξεταζόμενου υλικού με συγκεκριμένο ρυθμό μεταβολής της θερμοκρασίας ή με σταθερή θερμοκρασία ή ακόμα και συνδυασμό αυτών. Κατά τη διαδικασία αυτή, η δομή και η χημική σύσταση του υλικού υφίστανται αλλαγές φάσης όπως η τήξη, η κρυστάλλωση, η οξειδωση και η αποσύνθεση [2].

Η θερμική ανάλυση περιλαμβάνει πολλές τεχνικές, από τις οποίες επιλέγουμε την πλέον κατάλληλη για τον έλεγχο του φυσικού μεγέθους που επιθυμούμε να μετρήσουμε.

Μερικές από αυτές είναι:

α) DTA (Differential Thermal Analysis) - Διαφορική Θερμική Ανάλυση. Με την τεχνική αυτή μετράται η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του προς μέτρηση δείγματος και του δείγματος αναφοράς συναρτήσει της θερμοκρασίας και συνεπώς επιτρέπεται η παρακολούθηση των μεταβολών στην θερμοχωρητικότητα του υλικού. Η DTA μέθοδος επιτρέπει τη μελέτη των μεταβολών αυτών για όλες τις κατηγορίες υλικών.

β) DSC (Differential Scanning Calorimetry) - Διαφορική Θερμιδομετρία Σαρώσεως. Με τη μέθοδο αυτή εκτιμώνται ποσοτικά οι μεταβολές της ενθαλπίας του δείγματος

συναρτήσει της θερμοκρασίας ή του χρόνου.

γ) TGA (Thermo Gravimetric Analysis) - Θερμοσταθμική Ανάλυση. Με τη μέθοδο αυτή καταγράφεται η μεταβολή της μάζας ενός υλικού συναρτήσει της θερμοκρασίας ή του χρόνου.

δ) TMA (Thermo Mechanical Analysis) - Θερμομηχανική Ανάλυση. Με τη μέθοδο αυτή καταγράφεται η μεταβολή των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών με τη μεταβολή θερμοκρασίας χωρίς τη μηχανική τάση. Αντίστοιχα υπάρχει και η μέθοδος DMTA (Dynamic Mechanical Thermal Analysis) - Δυναμική Θερμική Μηχανική Ανάλυση, η οποία καταγράφει τις ίδιες μεταβολές με την επίδραση μηχανικής τάσης.

Τα πλεονεκτήματα των θερμικών μεθόδων ανάλυσης είναι τα παρακάτω:

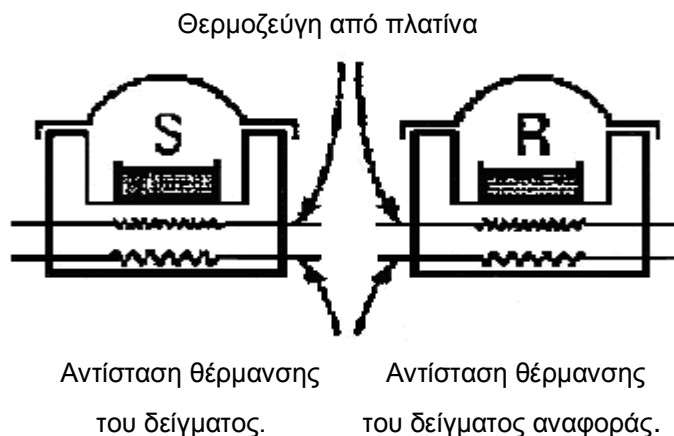
- Είναι ταχείς και ακριβείς και δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερες πειραματικές δυσκολίες.
- Έχει αναπτυχθεί κατάλληλη οργανολογία διαθέσιμη στο εμπόριο με ποικιλία μοντέλων.
- Απαιτείται μικρή ποσότητα δείγματος (μερικά mg).
- Μπορούν να ληφθούν πολλές πληροφορίες, όπως για παράδειγμα η θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης, ο βαθμός κρυσταλλικότητας, η θερμοχωρητικότητα κ.α.

Γίνεται εύκολα κατανοητό ότι οι θερμικές μέθοδοι ανάλυσης αποτελούν μια από τις σημαντικότερες μεθόδους χαρακτηρισμού ενός υλικού.

Λειτουργία της DSC τεχνικής

Το σύστημα DSC αποτελείται από δύο χώρους S και R για το υπό εξέταση δείγμα και το δείγμα αναφοράς αντίστοιχα. Οι δύο αυτοί χώροι θερμαίνονται ανεξάρτητα από δύο αντιστάσεις. Το σύστημα έχει την ικανότητα να εξισώνει τις θερμοκρασίες του δείγματος με το δείγμα αναφοράς αν συμβεί αύξηση ή μείωση της θερμοκρασίας ενός από των δύο χώρων, με την ενεργοποίηση μιας ηλεκτρικής αντίστασης εισόδου (σχήμα 6.2). Ταυτόχρονα καταγράφεται στον υπολογιστή ένα ηλεκτρικό σήμα με τη μορφή κορυφής με μέγεθος ανάλογο του ποσού ενέργειας που προσφέρεται στο δείγμα προκειμένου να διατηρηθεί ο χώρος του δείγματος S στην ίδια θερμοκρασία με το χώρο αναφοράς R. Έτσι

προκύπτει τελικά το θερμογράφημα το οποίο αποτελείται από μια ή περισσότερες ενδόθερμες ή εξώθερμες κορυφές ανάλογα με τις μεταβολές που υφίσταται το δείγμα [2,3].



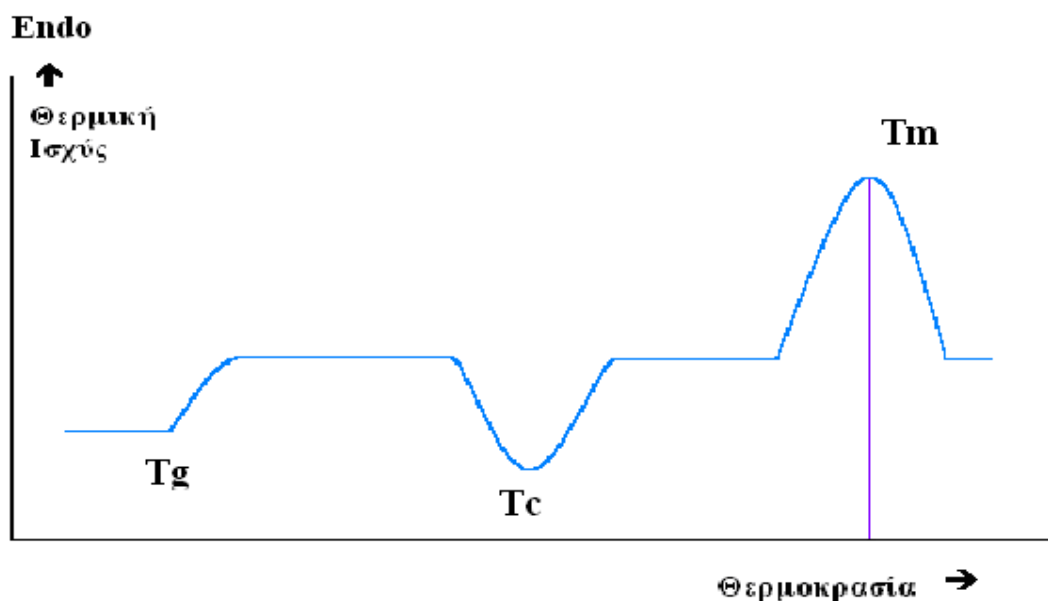
Σχήμα 6.2 Σχηματική παράσταση της DSC τεχνικής

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι απαιτείται πολύ μικρή ποσότητα δείγματος της τάξεως των 2-10 mg με αποτέλεσμα η θερμική αντίσταση R ως προς τη θερμική ροή να είναι πολύ μικρή. Συνεπώς το δείγμα αποκρίνεται γρήγορα και η θερμοκρασία του διατηρείται ίδια με αυτή του δείγματος αναφοράς.

Για μικρά βάρη δειγμάτων σε καλή θερμική επαφή με την κυψελίδα, η θερμική αντίσταση του δείγματος και της κυψελίδας R_S πρέπει να είναι πολύ μικρή για ένα μέσο ρυθμό σαρώσεως της θερμοκρασίας συγκρινόμενη με την αντίσταση μεταξύ κυψελίδας και υποδοχέα R_0 .

Στο σχήμα 6.3 παρουσιάζονται ως παράδειγμα, οι κυριότερες θερμικές μεταβολές μιας DSC ανάλυσης για την περίπτωση πολυμερούς. Στον άξονα των τετμημένων παριστάνεται η θερμοκρασία T ενώ στον άξονα των τεταγμένων παριστάνεται η διαφορά θερμικής ισχύος ανάμεσα στους χώρους R και S, $\left(\frac{dQ}{dt}\right)_P$. Επειδή ο χρόνος συνδέεται με τη θερμοκρασία μέσω προκαθορισμένου ρυθμού μεταβολής θερμοκρασίας, ο όρος $\left(\frac{dQ}{dt}\right)_P$ ισοδυναμεί με τον όρο $\left(\frac{dH}{dt}\right)_P$ ο οποίος είναι ανάλογος της θερμοχωρητικότητας. Έτσι τελικά

παρατηρούνται μεταβολές στη θερμοχωρητικότητα της ουσίας. Οι μονάδες στον άξονα των τεταγμένων είναι mCal/sec και στον άξονα των τετημένων είναι °C.



Σχήμα 6.3 Τυπικό θερμογράφημα. DSC πολυμερούς

Σύμφωνα με το σχήμα 6.3 παρατηρείται αρχικά μια ασυνέχεια στη γραμμή βάσεως, όταν το υλικό βρίσκεται στη θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης (T_g), δηλαδή στη θερμοκρασία της μετάβασής του από την υαλώδη κατάσταση στην ελαστική. Χαρακτηριστικό της μεταβολής αυτής είναι ότι δεν συνοδεύεται από μεταβολή της ενθαλπίας και της εντροπίας του συστήματος, οπότε έχουμε την τελική αύξηση της θερμοχωρητικότητας του υλικού (C_p).

Στη συνέχεια εμφανίζεται μια εξώθερμη μεταβολή που αντιστοιχεί στη θερμοκρασία ψυχρής κρυστάλλωσης (T_c) κατά την οποία παρατηρείται αναδιοργάνωση του υλικού και η οποία παριστάνεται με καθοδική απόκλιση από τη γραμμή βάσης και αντιπροσωπεύει ελάττωση της θερμοχωρητικότητας. Τέλος η ενδόθερμη μεταβολή που εμφανίζεται αντιστοιχεί στην τήξη του υλικού (T_m), που παριστάνεται από ανοδική απόκλιση και αντιπροσωπεύει αύξηση της θερμοχωρητικότητας.

Η τήξη και η κρυστάλλωση είναι μεταβολές πρώτης τάξεως και χαρακτηρίζονται από μεταβολή της εντροπίας και της ενθαλπίας του συστήματος. Η μεταβολή της ενθαλπίας

υπολογίζεται από το εμβαδόν της καμπύλης της κορυφής η οποία εμφανίζεται στο εκάστοτε θερμογράφημα.

Παράγοντες που επηρεάζουν το θερμογράφημα DSC

- Πρόκειται για τις αντιστάσεις στη μεταφορά θερμότητας μεταξύ υποδοχέων και κυψελίδας που τοποθετείται το δείγμα R_o καθώς και μεταξύ του δείγματος και της κυψελίδας R_s . Ειδικά όσον αφορά την αντίσταση στη μεταφορά θερμότητας μεταξύ υποδοχέων και κυψελίδας έχει δειχθεί ότι η κλίση dH/dt σε μια μετάπτωση πρώτης τάξεως, συγκεκριμένα μιας ενδόθερμης τήξης καθαρού υλικού, δίνεται από τη σχέση

$$\frac{dH}{dt} = 1/R_o \left(\frac{dT}{dt} \right) \quad (6.1)$$

όπου dT/dt είναι ο ρυθμός σαρώσεως της θερμοκρασίας ο οποίος έχει προεπιλεγεί.

Όπως φαίνεται από την παραπάνω σχέση, ελάττωση της αντιστάσεως αυξάνει την οξύτητα της κορυφής για σταθερό ρυθμό σαρώσεως. Αυτή, στην περίπτωση της τεχνικής DSC, είναι σταθερή εφόσον χρησιμοποιείται το ίδιο είδος κυψελίδας και αλλάζει μόνο αν αλλάξει το υλικό αυτής. Για την αντίσταση του δείγματος μεγάλο ρόλο παίζει η καλή επαφή του δείγματος με την κυψελίδα. Έτσι κατά την τοποθέτηση του δείγματος στην κυψελίδα πρέπει να ασκείται η κατάλληλη πίεση, ώστε το δείγμα να έχει τη μεγαλύτερη επιτρεπτή επιφάνεια επαφής. Επίσης στις περιπτώσεις που είναι εφικτό, το δείγμα τήκεται και στη συνέχεια ψύχεται απότομα ώστε να αποκτήσει τη μεγαλύτερη δυνατή επαφή με την κυψελίδα. Με τον τρόπο αυτό γενικά αποφεύγονται φαινόμενα θερμικής αδράνειας, τα οποία έχουν ως αποτέλεσμα τη λήψη ευρύτερων κορυφών και αύξηση της θερμοκρασίας του μεγίστου της καμπύλης. Η εξάλειψη τέτοιων φαινομένων αυξάνει την ποιότητα και την αξιοπιστία των θερμογραφημάτων [4-10].

Ο ρυθμός σαρώσεως επηρεάζει σημαντικά τη μορφή των θερμογραφημάτων μέσω της σχέσεως (6.1) επιδρώντας στην κλίση και στο εύρος της καμπύλης. Το κάθε υλικό έχει την ιδιότητα να υφίσταται μια μεταβολή σε κάποια συγκεκριμένη θερμοκρασία απορροφώντας ή εκλύοντας θερμότητα με έναν δικό του επίσης συγκεκριμένο ρυθμό. Αν κατά τη μέτρηση εκλύεται ή απορροφάται θερμότητα, με ρυθμό μεγαλύτερο από αυτόν που απορροφά το δείγμα, τότε η όποια μεταβολή θα

παρατηρηθεί σε μεγαλύτερη θερμοκρασία από την κανονική και μάλιστα τόσο μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός σαρώσεως. Αντίθετα, αν το φαινόμενο είναι ταχύτερο τότε αυτό δεν καταγράφεται. Για μεγαλύτερη ακρίβεια συνιστάται συνήθως μικρός ρυθμός σαρώσεως, ενώ για τον προσδιορισμό των σημείων τήξεως ή κρυσταλλώσεως χρησιμοποιείται η λεγόμενη διόρθωση ως προς τη θερμική καθυστέρηση (thermal lag).

Πρέπει να τονιστεί, ότι ο αργός ρυθμός σαρώσεως ευνοεί το διαχωρισμό επικαλυπτόμενων κορυφών, μειώνει όμως την ευαισθησία. Αντίθετα αύξηση της ευαισθησίας επιτυγχάνεται με γρήγορο ρυθμό σαρώσεως, αφού με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η καταγραφή ασθενών μεταβολών μειώνοντας όμως τη δυνατότητα διαχωρισμού επικαλυπτόμενων κορυφών.

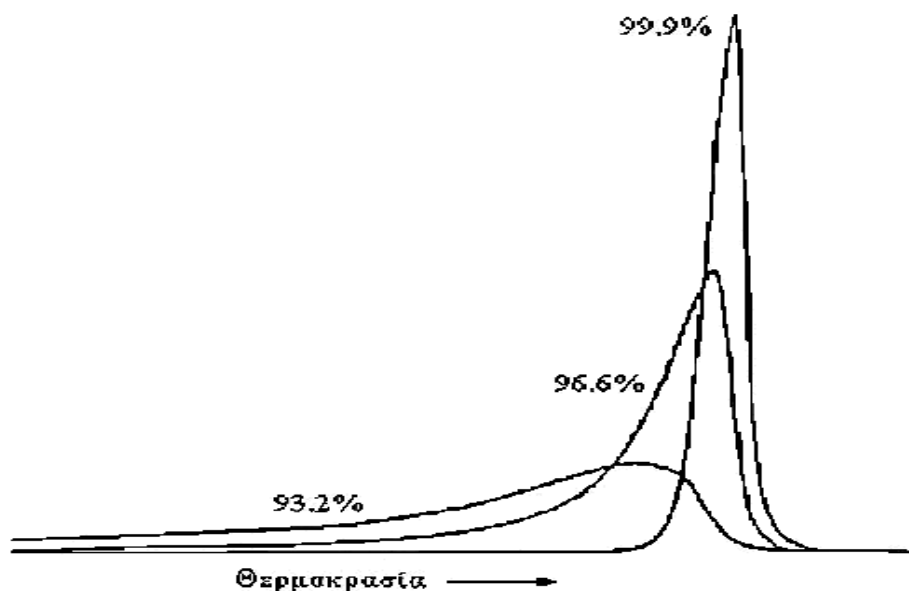
- Το είδος του υλικού επηρεάζει κυρίως τη μορφή της καμπύλης. Για το λόγο αυτό ένα καθαρό υλικό όπως μια οργανική ουσία ή ένα μέταλλο, δίνει οξεία κορυφή όταν τήκεται. Αντίθετα ένα πολυμερές συνήθως λόγω της κατανομής μοριακών βαρών ή και άλλων παραγόντων, δίνει ευρεία κορυφή. Η καθαρότητα ενός υλικού ή η ύπαρξη προσμίξεων σε αυτό επιδρά στη θέση των καμπυλών.
- Τέλος η ποσότητα του δείγματος ειδικά στην περίπτωση πολυμερών, μπορεί και αυτή να μεταβάλει τη μορφή των καμπυλών όπως και η γεωμετρία του συστήματος δείγμα – κυψελίδα.

Θερμικές μεταβολές που παρατηρούνται στην τεχνική της DSC

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούν οι μεταβολές αυτές που χαρακτηρίζουν τις θερμικές ιδιότητες νανοσύνθετων υλικών.

1. Τήξη: Η τήξη είναι η πιο συνηθισμένη θερμική συμπεριφορά που παρατηρείται με την τεχνική DSC. Τα περισσότερα κρυσταλλικά ή ημικρυσταλλικά υλικά υφίστανται τήξη. Εξαιρέσεις μπορούν να υπάρξουν εάν το υλικό από τη στερεά κατάσταση μεταβεί στην αέρια φάση ή αποσυντίθεται πριν φτάσει στη θερμοκρασία τήξεως T_m . Στο θερμογράφημα η τήξη εμφανίζεται ως μια οξεία ενδόθερμη κορυφή και το εμβαδό κάτω από την κορυφή τήξης δίνει απευθείας την ενθαλπία τήξεως του υλικού. Η θέση, η μορφή και η οξύτητα της καμπύλης τήξεως εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες, όπως η καθαρότητα και το είδος του υλικού καθώς και η κρυσταλλική τελειότητα. Για παράδειγμα, η παρουσία ακαθαρσιών στο υλικό μειώνει

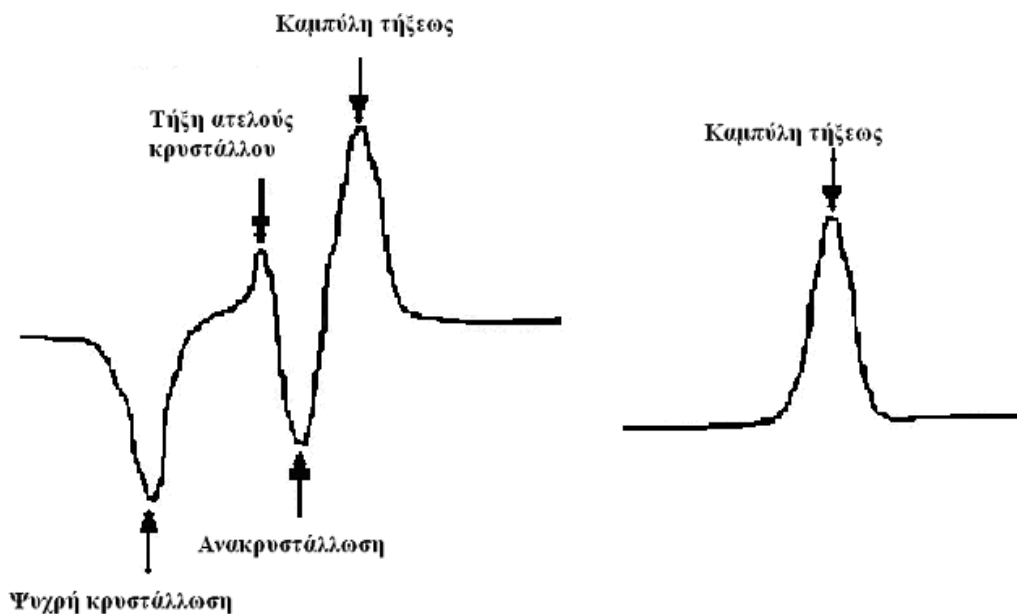
το σημείο τήξεως και μεγαλώνει το εύρος της κορυφής. Στο σχήμα 6.4 παρουσιάζονται θερμογραφήματα του βενζοϊκού οξέος διαφόρων βαθμών καθαρότητας. Η θερμοκρασία στην οποία γίνεται η τήξη, σχετίζεται άμεσα με την ενέργεια που απαιτείται για να γίνει αυτή. Έτσι λοιπόν, υλικά που έχουν δεσμούς ή δυνάμεις αλληλεπίδρασης στον κρύσταλλο, χρειάζονται μεγάλη ενέργεια για να τακούν και έχουν υψηλότερες θερμοκρασίες τήξεως. Αντίθετα, υλικά όπως μικρά μόρια όπου οι δυνάμεις αλληλεπίδρασης είναι ασθενέστερες, απαιτούν μικρότερη ενέργεια και άρα τήκονται σε χαμηλότερη θερμοκρασία. Τέλος οι ατελέστεροι κρύσταλλοι έχουν μικρότερη θερμοκρασία τήξεως και μπορούν να απομακρυνθούν από το δείγμα αν θερμανθούν σε μια θερμοκρασία μικρότερη από τη μέγιστη θερμοκρασία τήξεως των τέλειων κρυστάλλων και το δείγμα ψυχθεί απότομα σε χαμηλή θερμοκρασία (ανόπτηση).



Σχήμα 6.4 Επίδραση της καθαρότητας στη μορφή των καμπυλών τήξεως του βενζοϊκού οξέος (ρυθμός θερμάνσεως 5°C/min)

2. Κρυστάλλωση: Η κρυστάλλωση θεωρείται η αντίστροφη πορεία της τήξεως ενός υλικού. Όταν ένα υλικό υποβληθεί σε ελεγχόμενη ψύξη από το τήγμα, τότε αυτό κρυσταλλώνεται και εμφανίζεται ως ένα ισχυρό εξώθερμο φαινόμενο. Αν η κρυστάλλωση είναι πλήρης τότε οι ενθαλπίες τήξεως και κρυσταλλώσεως είναι ίδιες. Τα περισσότερα όμως υλικά δεν κρυσταλλώνονται πλήρως ή και καθόλου. Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται σε οργανικά υλικά και σε πολυμερικά, στα οποία η κρυστάλλωση περνά αρχικά από το στάδιο της πυρήνωσης (nucleation), όπου

σχηματίζονται τα κέντρα ή πυρήνες κρυστάλλωσης, και ακολουθεί το στάδιο της ανάπτυξης ή αύξησης των κρυστάλλων (growth). Η κρυστάλλωση μεγαλομοριακών ενώσεων είναι μια πολύπλοκη διαδικασία καθώς το μέγεθος των κρυστάλλων εξαρτάται από την ταχύτητα ψύξης και τη θερμική ιστορία του υλικού, επομένως η τήξη τους δεν παρατηρείται στην ίδια θερμοκρασία. Στο σχήμα 6.5. βλέπουμε αριστερά το θερμογράφημα ενός υλικού στο οποίο έχει γίνει ταχεία ψύξη και άρα έχει κρυσταλλωθεί ατελώς, ενώ στο δεξιά θερμογράφημα το υλικό αφού έχει παραμείνει για κάποιο χρονικό διάστημα σε χαμηλή θερμοκρασία, η κρυστάλλωση έχει ολοκληρωθεί καλύτερα και παρατηρούμε μόνο την τήξη. Γενικά ο ρυθμός ψύξεως πρέπει να είναι μικρός, γιατί σε περίπτωση που είναι υψηλότερος από κάποια συγκεκριμένη τιμή, υπάρχει κίνδυνος να μετατραπεί ένα μεγάλο μέρος του τήγματος σε άμορφο υλικό. Σε μια τέτοια περίπτωση αν επακολουθήσει τήξη, έχουμε αναδιοργάνωση του άμορφου μέρους προς σταθερότερες μορφές, οπότε σχηματίζονται κρύσταλλοι και αποβάλλονται με τη μορφή θερμότητας. Κάτι τέτοιο έχει ως αποτέλεσμα στο θερμογράφημα να υπάρξει μια εξώθερμη κορυφή πριν από το σημείο τήξεως (ψυχρή κρυστάλλωση).



Σχήμα 6.5 Ατελή και τέλεια κρυστάλλωση ανάλογα με το τρόπο ψύξης του υλικού

3. Υαλώδης μετάπτωση: Όταν ένα υλικό μεταπίπτει από την υαλώδη στην ιξωδοελαστική ή πλαστική φάση, δηλαδή από τη φάση που είναι σκληρή και εύθραυστη στη φάση που είναι μαλακή και εύκαμπτη, τότε η θερμοκρασία αυτή

ονομάζεται θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης (T_g). Εάν το υλικό είναι 100% κρυσταλλικό τότε δεν μπορεί να μεταβεί στην ελαστομερική κατάσταση. Όμως δεν υπάρχει 100% κρυσταλλικό πολυμερές οπότε αυτά εμφανίζουν και σημείο υαλώδους μετάπτωσης και σημείο τήξεως. Μοριακές παράμετροι που επηρεάζουν τη θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης είναι η ευκαμψία της μακρομοριακής πολυμερικής αλυσίδας, η ισχύς των διαμοριακών δυνάμεων, η ύπαρξη πλαστικοποιητών, το μοριακό βάρος, ο βαθμός δικτύωσης, η κρυσταλλικότητα, κ.α.

Εφαρμογές της DSC τεχνικής στη μελέτη της μορφολογίας νανοσύνθετων πολυμερικών υλικών

Οι φυσικές ιδιότητες νανοσύνθετων πολυμερικών υλικών εξαρτώνται βασικά από τη μικροδομή τους και την κρυσταλλικότητά τους. Η επίδραση των νανοσωλήνων άνθρακα στη κρυσταλλικότητα των ημικρυσταλλικών θερμοπλαστικών πολυμερών μελετάται μέσω μη ισοθέρμων πειραμάτων θερμικής ανάλυσης, όπου από τις ενθαλπίες των καμπυλών τήξης (ΔH_m) και μέσω της εξίσωσης 6.2 υπολογίζεται ο % βαθμός κρυσταλλικότητας X_c :

$$\%X_c = (\Delta H_m / \Delta H_0) \times 100 \quad (6.2)$$

όπου ΔH_0 είναι η ενθαλπία τήξης για το 100% κρυσταλλικό πολυμερές.

Στις περισσότερες των περιπτώσεων οι νανοσωλήνες δρουν ως πυρήνες κρυστάλλωσης, με αποτέλεσμα να αυξάνονται η θερμοκρασία κρυστάλλωσης T_c και ο βαθμός κρυσταλλικότητας X_c του πολυμερούς. Σε ορισμένες περιπτώσεις παρατηρείται το αντίθετο, όπου η θερμοκρασία κρυστάλλωσης και ο βαθμός κρυσταλλικότητας μειώνονται. Αυτό εμφανίζεται κυρίως σε διακλαδούμενα πολυμερή και σε πολυμερή που σχηματίζουν σταυροδεσμούς.

Στη βιβλιογραφία εμφανίζονται αρκετές αναφορές για ημικρυσταλλικά θερμοπλαστικά πολυμερή. Ως παράδειγμα αναφέρεται το ισοτακτικό πολυπροπυλένιο, συνδιοτακτικό πολυπροπυλένιο, πολυαιθυλένιο, κ.α.

Η επίδραση των νανοσωλήνων άνθρακα στη θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης T_g των πολυμερών μπορεί να προκαλέσει την αύξηση ή την μείωση της T_g ή τέλος να μην επηρεάσει την T_g . Είναι γνωστό ότι η T_g συνδέεται με την ευκινησία τμημάτων της μακρομοριακής αλυσίδας, όσον χαμηλότερη η T_g τόσο μεγαλύτερη είναι η ευκινησία τμημάτων της αλυσίδας του πολυμερούς.

6.4 ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ ΑΚΤΙΝΩΝ Χ

Εισαγωγή

Οι ακτίνες Χ είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με μήκη κύματος της τάξης των \AA ($=10^{-10}$ m). Στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα η ακτινοβολία Χ εκτείνεται μεταξύ της περιοχής των ακτίνων γ και του υπεριώδους. Χρησιμοποιείται ευρύτατα για τον χαρακτηρισμό στερεών και τη μελέτη κρυσταλλικών δομών.

Οι ακτίνες-Χ, για αναλυτικούς σκοπούς, παράγονται από την μεταλλική αντικάθοδο λυχνίας κενού (λυχνία εκκένωσης, που επινοήθηκε από τον Coolidge το 1913), όταν σε αυτήν προσπίπτουν θερμιονικά ηλεκτρόνια, τα οποία εκπέμπονται από κατάλληλη κάθοδο και επιταχύνονται προς την αντικάθοδο με την επιβολή υψηλής τάσης ($V = 20 - 100$ kV).

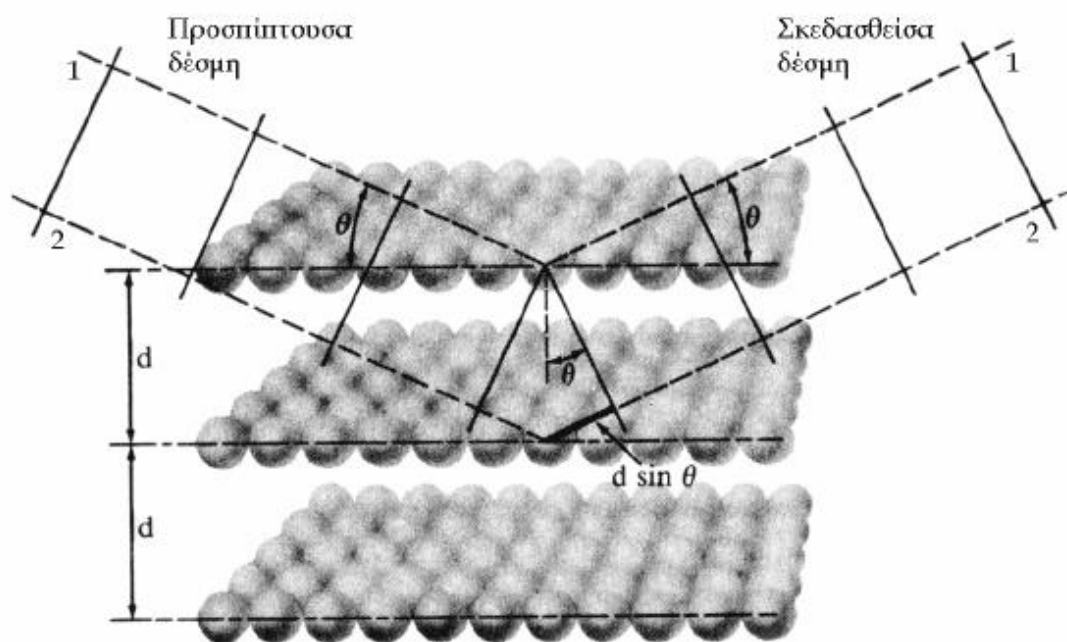
Λειτουργία Περίθλασης Ακτίνων Χ

Περίθλαση μονοχρωματικής δέσμης ακτίνων Χ από παράλληλα στρώματα ατόμων λαμβάνει χώρα όταν η διαφορά της απόστασης που διανύουν οι συμφασικές ακτίνες 1 και 2 (σχήμα 6.6), που σκεδάζονται από διαφορετικά παράλληλα επίπεδα, είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του μήκους κύματος της ακτινοβολίας. Τότε η σκεδασθείσα δέσμη έχει μέγιστη ένταση, ως αποτέλεσμα εποικοδομητικής συμβολής.

Σύμφωνα με το νόμο του Bragg, μια οικογένεια πλεγμάτων επιπέδων hkl με διαχωριστική απόσταση d , που δέχονται μονοχρωματική ακτινοβολία υπό ορισμένη γωνία θ , θα δίνει εποικοδομητική συμβολή όταν:

$$2d \cdot \eta\mu\theta = n\lambda \quad (6.3)$$

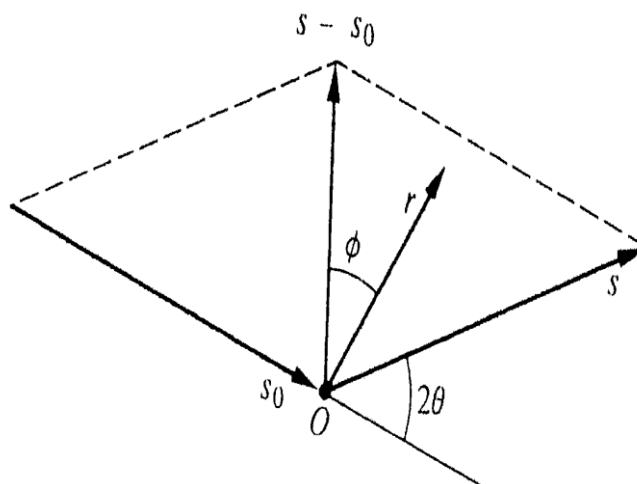
Με την σχέση αυτή εκφράζεται ότι η «διαφορά πορείας» ($2d\eta\mu\theta$) μεταξύ ακτίνων που ανακλώνται από διαδοχικά επίπεδα hk | πρέπει να είναι ακέραιο πολλαπλάσιο (n) του μήκους κύματος (λ) της ακτινοβολίας.



Σχήμα 6.6 Γεωμετρία ανάκλασης κατά Bragg

Περίθλαση ακτίνων Χ από δείγματα

Η ακτινοβολία ακτίνων Χ με ένταση I_0 που προσπίπτει σε ένα μικρό μονοκρύσταλλο με διεύθυνση \vec{s}_0 , σκεδάζεται σε μια διεύθυνση \vec{s} (σχήμα 6.7) [15-17].



Σχήμα 6.7 Διεύθυνση σκεδαζόμενης ακτινοβολίας ακτίνων Χ

Η ένταση της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας I σε απόσταση R από τον κρύσταλλο με θεμελιώδη διανύσματα του πλέγματος $\vec{a}_1, \vec{a}_2, \vec{a}_3$ εξαρτάται από το παράγοντα δομής F_T και από τον αριθμό N_1, N_2, N_3 των ατόμων στην κάθε μια από τις κρυσταλλικές διευθύνσεις και είναι:

$$I = I_0 \frac{e^4}{m^2 c^4 R^2} \left(\frac{1 + \cos^2 2\theta}{2} \right) F_T F_T^* \prod_{i=1}^3 \frac{\sin^2 \frac{\pi}{\lambda} (\vec{s} - \vec{s}_0) N_i \vec{a}_i}{\sin^2 \frac{\pi}{\lambda} (\vec{s} - \vec{s}_0) \vec{a}_i} \quad (6.4)$$

Ο παράγοντας δομής είναι:

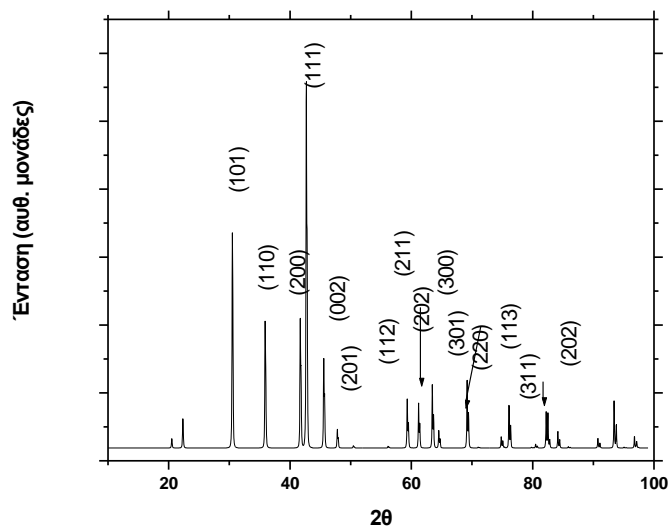
$$F_T \equiv \sum_n f_n e^{\frac{B_n \sin^2 \theta}{\lambda^2}} e^{\frac{2\pi i}{\lambda} [(\vec{s} - \vec{s}_0) \vec{r}_n]}$$

Στον παράγοντα δομής το f_n είναι ο παράγοντας σκέδασης του κάθε ατόμου (ή παράγοντας μορφής) των ακτίνων X , B_n είναι ένας παράγοντας που εξαρτάται από το είδος του ατόμου, τη θερμοκρασία, και θ το μισό της γωνίας μεταξύ των \vec{s} και \vec{s}_0 (n -περιλαμβάνει τα άτομα της θεμελιώδους κυψελίδας που έχουν διάνυσμα θέσης \vec{r}_n). Το πλάτος I είναι πρακτικά παντού μηδέν εκτός από μια στενή περιοχή γύρω από τις διευθύνσεις που πληρούν το νόμο του Bragg:

$$\vec{s} - \vec{s}_0 = \lambda (\vec{h}\vec{b}_1 + \vec{k}\vec{b}_2 + \vec{l}\vec{b}_3) \quad (6.5)$$

οπού $\vec{b}_1, \vec{b}_2, \vec{b}_3$ είναι διανύσματα του αντίστροφου πλέγματος.

Σε δείγμα που αποτελείται από πολλούς κρυσταλλίτες που έχουν τυχαίες διευθύνσεις, συμβάλλουν στην σκεδαζόμενη ακτινοβολία οι κρυσταλλίτες που πληρούν τη συνθήκη Bragg. Ο ανιχνευτής καταγράφει την ένταση της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας σε κάθε γωνία και η γραφική παράσταση της έντασης σε συνάρτηση της γωνίας ανάκλασης είναι το διάγραμμα περίθλασης ακτίνων X (σχήμα 6.8), όπου κάθε ένωση έχει ένα σύνολο φασματικών ανακλάσεων που χαρακτηρίζει το τύπο κρυστάλλωσης και τις κατειλημμένες θέσεις στη κυψελίδα. Η ένταση των ανακλάσεων εξαρτάται και από τον παράγοντα μορφής του ατόμου.



Σχήμα 6.8 Τυπικό διάγραμμα περίθλασης ακτίνων X

6.5 ΦΑΣΜΑΤΟΣΚΟΠΙΑ RAMAN

Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια έχει γίνει μεγάλη πρόοδος στη συνειδητοποίηση της τεράστιας δυναμικής της φασματοσκοπίας Raman για μη καταστρεπτικές αναλύσεις μοριακής σύνθεσης και της δομής κάθε είδους δειγμάτων.

Η φασματοσκοπία Raman βασίζεται στο γεγονός πως όταν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αλληλεπιδρά με ένα μόριο τότε η ακτινοβολία μπορεί να απορροφηθεί ή να σκεδαστεί. Το 1928 ο C.V. Raman περιέγραψε ένα τύπο σκέδασης όπου παρατηρείται μεταβολή στη συχνότητα των σκεδαζόμενων φωτονίων. Το φαινόμενο αυτό ονομάστηκε *σκέδαση Raman*. Αν χρησιμοποιηθεί μονοχρωματική ακτινοβολία, τότε η ενέργεια που σκεδάζεται αποτελείται σχεδόν εξολοκλήρου (98%) από ακτινοβολία συχνότητας ίδιας με αυτή της προσπίπτουσας ακτινοβολίας (*σκέδαση Rayleigh*). Ένα μέρος της όμως αποτελείται από μερικές διακεκριμένες συχνότητες, μεγαλύτερες και μικρότερες από τη συχνότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας (*σκέδαση Raman*). Στο φαινόμενο Tyndall, η ακτινοβολία σκεδάζεται από σωματίδια. Στη σκέδαση Rayleigh μόρια σκεδάζουν το φως. Στο φαινόμενο Tyndall, όπως και στη σκέδαση Rayleigh δεν έχουμε αλλαγή στη συχνότητα των σκεδαζόμενων φωτονίων [18-20].

Το φαινόμενο Raman κβαντικά

Όταν ακτινοβολία συχνότητας ν_i και ενέργειας $h\nu_i$ προσπίπτει σε μόρια μιας ένωσης, τότε αυτά υπόκεινται σε ελαστικές σκεδάσεις, σχεδόν χωρίς απώλεια ενέργειας, δηλαδή η δονητική και η περιστροφική ενέργεια του μορίου δε μεταβάλλεται και ένας ανιχνευτής σε ορθή γωνία ως προς την διεύθυνση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας μπορεί να δεχθεί σκεδαζόμενα φωτόνια ενέργειας $h\nu_i$, συχνότητας ν_i (σκέδαση Rayleigh). Αυτή θα είναι και το ισχυρότερο συστατικό της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας. Στην περίπτωση όμως που υπάρξει ανταλλαγή ενέργειας κατά τη διάρκεια ανελαστικών συγκρούσεων μεταξύ φωτονίων και μορίων (φαινόμενο Raman), τότε τα μόρια κερδίζουν ή χάνουν ενέργεια. Η διαφορά ενέργειας ΔE_m μεταξύ δύο επιτρεπτών καταστάσεων αντιπροσωπεύει αλλαγές στη δονητική και (ή) στην περιστροφική ενέργεια του μορίου. Η ενέργεια του σκεδαζόμενου φωτονίου $h\nu_s$ διαφέρει από την ενέργεια του αρχικού (πριν από τη σύγκρουση) φωτονίου $h\nu_i$ κατά το ποσό ΔE_m ώστε η ενέργεια να διατηρείται :

$$\Delta E_m = h\nu_i - h\nu_s \quad (6.6)$$

Αν το μόριο κερδίζει ενέργεια τότε η διαφορά ΔE_m είναι θετική δηλαδή $v_s < v_i$, οπότε προκύπτουν οι γραμμές *Stokes* στο φάσμα Raman.

Αν το μόριο χάνει ενέργεια τότε η διαφορά ΔE_m αρνητική, οπότε $v_s > v_i$ και προκύπτουν οι γραμμές *anti-Stokes* στο φάσμα Raman.

Όταν το προσπίπτον φωτόνιο αλληλεπιδράσει με ένα μόριο στη θεμελιώδη δονητική κατάσταση, το μόριο απορροφά την ενέργεια του φωτονίου και ανεβαίνει σε κάποια υψηλότερη στάθμη ενέργειας (ασταθής) για μικρό χρονικό διάστημα. Τελικά το μόριο χάνει ενέργεια και επιστρέφει στη θεμελιώδη δονητική στάθμη εκπέμποντας ένα φωτόνιο (σκεδαζόμενο φωτόνιο). Αυτή είναι η περίπτωση της σκέδασης Rayleigh. Εν τούτοις ένα μικρό ποσοστό μορίων στην ασταθή, υψηλής ενέργειας, στάθμη μπορεί να μεταπέσει όχι στη θεμελιώδη αλλά στη $n=1$ δονητική στάθμη. Το σκεδαζόμενο φωτόνιο σε αυτή την περίπτωση έχει μικρότερη ενέργεια από αυτή του προσπίπτοντος με διαφορά :

$$\Delta E_m = h\nu_i - h\nu_s = h\nu_m \quad (6.7)$$

δηλαδή $v_s = v_i - v_m$ όταν $\Delta n = +1$. Αυτό το σκεδαζόμενο φωτόνιο θα δώσει τις γραμμές Stokes στο φάσμα Raman. Σύμφωνα με την κβαντική μηχανική οι επιτρεπτές μεταβολές στο δονητικό κβαντικό αριθμό για μια μετάπτωση Raman είναι $\Delta n = \pm 1$, για μια αρμονική δόνηση. Το τελευταίο δυνατό ενδεχόμενο είναι το μόριο να βρίσκεται αρχικά στη $n=1$ διεγερμένη στάθμη και απορροφώντας την ενέργεια του φωτονίου να φτάσει σε υψηλότερη, ασταθή ενεργειακή στάθμη. Όταν το μόριο μεταπέσει στη θεμελιώδη δονητική στάθμη ($n=0$) εκπέμπεται φωτόνιο με ενέργεια μεγαλύτερη από αυτή του προσπίπτοντος φωτονίου κατά $h\nu_m$. Αυτό το σκεδαζόμενο φωτόνιο δίνει τις *anti-Stokes* γραμμές στο φάσμα Raman.

Θέτοντας στη συνάρτηση κατανομής Boltzmann το λόγο του αριθμού των μορίων στην κατάσταση $n=1$ προς τον αριθμό στην κατάσταση $n=0$, για μια δεδομένη δόνηση έχουμε:

$$n_1/n_0 = e^{-(h\nu/kT)} \quad (6.8)$$

Σε συνήθεις θερμοκρασίες το μεγαλύτερο ποσοστό των μορίων βρίσκεται στη θεμελιώδη κατάσταση, οπότε οι γραμμές Stokes έχουν εντάσεις μεγαλύτερες από τις *anti-Stokes* γραμμές, οι οποίες προέρχονται από μια διεγερμένη στάθμη με μικρότερο πληθυσμό. Αυτή η διαφορά αυξάνεται όσο αυξάνεται η ενέργεια της στάθμης.

Στο φαινόμενο Raman οι κβαντικές ενεργειακές μεταβολές οφείλονται στη δυνατότητα *πολωσιμότητας* (polarizability) του μορίου, δηλαδή στην ικανότητα του μορίου ή ατόμου να υποστεί διαχωρισμό των κέντρων θετικού και αρνητικού φορτίου μέσα σε ένα ηλεκτρικό πεδίο.

Το φαινόμενο Raman κλασικά

Κατά την κλασική θεωρία το μόριο εντός του ηλεκτρικού πεδίου υφίσταται ένα είδος ελαστικής παραμόρφωσης του σχήματος της δομής του, με αποτέλεσμα οι θετικά φορτισμένοι πυρήνες να έλκονται προς τον αρνητικό πόλο του πεδίου και τα ηλεκτρόνια προς το θετικό πόλο. Η μετατόπιση των κέντρων των φορτίων προκαλεί μια επαγόμενη ηλεκτρική διπολική ροπή (induced electric dipole moment) και το μόριο λέγεται ότι είναι πολωμένο. Η τιμή του επαγόμενου διπόλου μ , εξαρτάται από το μέγεθος του εφαρμοζόμενου πεδίου και από την ευκολία παραμόρφωσης του μορίου, σύμφωνα με τη σχέση :

$$\mu = \alpha E \quad (6.9)$$

όπου α η (σταθερά επιδεκτικότητας πόλωσης) *μοριακή πολωσιμότητα* του μορίου.

Μια μοριακή δόνηση είναι ενεργή στο φάσμα Raman, όταν η δόνηση αυτή συνοδεύεται από μεταβολή στην πολωσιμότητα του μορίου.

Ως γνωστόν η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου, συχνότητας ν_i δίνεται από την εξίσωση:

$$E = E_0 \cos(2\pi\nu_i t) \quad (6.10)$$

όπου το E_0 παριστάνει τη μέγιστη τιμή (πλάτος) της έντασης του πεδίου. Με αντικατάσταση της (6.10) στην (6.9) προκύπτει η σχέση :

$$\mu = \alpha E_0 \cos(2\pi\nu_i t) \quad (6.11)$$

Ένα τέτοιο δονούμενο δίπολο εκπέμπει ακτινοβολία προς όλες τις διευθύνσεις με συχνότητα αυτή της ταλαντευόμενης διπολικής ροπής (κλασική εξήγηση σκέδασης Rayleigh) και άρα με εκείνη της ακτινοβολίας που επιδρούμε στο μόριο και με ένταση που είναι ανάλογη προς το τετράγωνο της μέγιστης τιμής της μ που είναι $\alpha^2 E_0^2$.

Φάσμα Raman και πολωσιμότητα

Το φάσμα Raman παράγεται όταν η μοριακή δόνηση ή η περιστροφή ενός μορίου προκαλεί κάποια μεταβολή στην πολωσιμότητά του. Οι μεταβολές πολωσιμότητας είναι δύο ειδών: α) ποσοτική και β) μεταβολή του ελλειψοειδούς της πολωσιμότητας (είδος επιφάνειας στην οποία αναφέρεται εκτενέστερα παρακάτω). Για μικρές μετατοπίσεις η πολωσιμότητα α μπορεί να αναπτυχθεί σε σειρά Taylor ως εξής :

$$\alpha = \alpha_0 + (\partial\alpha/\partial Q)Q + (1/2!)(\partial^2\alpha/\partial Q^2)Q^2 + \dots \quad (6.12)$$

όπου α_0 είναι η πολωσιμότητα στη θέση ισορροπίας, Q είναι η κανονική συντεταγμένη (που ισούται με $r-r_e$ στην περίπτωση του διατομικού μορίου) και $\partial\alpha/\partial Q$ είναι η μεταβολή της πολωσιμότητας σε σχέση με την Q , υπολογισμένη στη διαμόρφωση ισορροπίας. Υψηλότερης τάξης όροι παραλείπονται για την αρμονική προσέγγιση. Η κανονική συντεταγμένη Q μεταβάλλεται περιοδικά σύμφωνα με τη σχέση :

$$Q = Q_0 \cos(2\pi\nu_m t) \quad (6.13)$$

όπου ν_m είναι η συχνότητα δόνησης της κανονικής συντεταγμένης και Q_0 το πλάτος του Q .

Από τις προηγούμενες σχέσεις συνεπάγεται ότι :

$$\alpha = \alpha_0 + (\partial\alpha/\partial Q)_0 \cos(2\pi\nu_m t) \quad (6.14)$$

Αντικαθιστώντας τη σχέση (6.14) στην (6.11) προκύπτει η :

$$\mu = \alpha_0 E_0 \cos(2\pi\nu_i t) + (\partial\alpha/\partial Q)_0 E_0 \cos(2\pi\nu_m t) \cos(2\pi\nu_i t) \quad (6.15)$$

Με βάση γνωστή τριγωνομετρική ταυτότητα προκύπτει τελικά ότι :

$$\mu = \alpha_0 E_0 \cos(2\pi\nu_i t) + (\partial\alpha/\partial Q)_0 E_0 / 2 [\cos 2\pi(\nu_i - \nu_m) t + \cos 2\pi(\nu_i + \nu_m) t] \quad (6.16)$$

Από τη τελευταία σχέση γίνεται φανερό ότι η επαγόμενη διπολική ροπή μ , μεταβάλλεται με τρεις συχνότητες ν_i , $(\nu_i - \nu_m)$ και $(\nu_i + \nu_m)$ οπότε και λαμβάνουμε τη σκέδαση Rayleigh, όπως επίσης και τις γραμμές Stokes και anti-Stokes αντίστοιχα. Οι δύο τελευταίες μαζί αποτελούν τη σκέδαση Raman. Η κλασική εξήγηση για τις συχνότητες αυτές αντιστοιχεί στα αποτελέσματα της κβαντικής για τις μεταπτώσεις Raman όταν $\Delta n = \pm 1$. Όταν η δόνηση δεν προκαλεί μεταβολή στην πολωσιμότητα α , δηλαδή όταν $\partial\alpha/\partial Q = 0$, τότε η προηγούμενη σχέση δείχνει ότι οι συχνότητες του φάσματος Raman της επαγόμενης διπολικής ροπής έχουν μηδενικό πλάτος, άρα δε μπορεί να παραχθεί ακτινοβολία με συχνότητες Raman.

Η ένταση της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας Rayleigh είναι ανάλογη προς το α_0^2 και η ένταση της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας Raman είναι ανάλογη προς το $(\partial\alpha/\partial Q)^2$. Ο λόγος της έντασης των anti-Stokes προς τις Stokes ταινίες είναι :

$$\text{anti-stokes/stokes} = (v_i+v_m)^4/(v_i-v_m)^4 \exp(-hv_m/kT) \quad (6.17)$$

Στην κλασική θεώρηση ο εκθετικός όρος δεν παρουσιάζεται. Ο εκθετικός όρος προέρχεται από καθαρά κβαντομηχανικά επιχειρήματα ($n_1/n_0=e^{-(hv/kT)}$) (Maxwell-Boltzmann) και είναι σε συμφωνία με το πείραμα.

Έστω ότι κάθε μόριο είναι ισότροπο. Όταν το άνυσμα του ηλεκτρικού πεδίου αναλύεται σε καρτεσιανές συντεταγμένες των συστατικών του, τότε θα ισχύουν και οι ακόλουθες σχέσεις :

$$\mu_x = \alpha E_x \quad (6.18)$$

$$\mu_y = \alpha E_y \quad (6.19)$$

$$\mu_z = \alpha E_z \quad (6.20)$$

Η πολωσιμότητα είναι ίδια σε όλες τις διευθύνσεις.

Για άλλα μόρια η πολωσιμότητα μπορεί να διαφέρει στις x, y, z διευθύνσεις, άρα η επαγόμενη διπολική ροπή μπορεί και να μην είναι παράλληλη προς το πεδίο.

Για ένα ανισότροπο μόριο η E_x συνιστώσα θα επάγει μια διπολική ροπή, που μπορεί να έχει συνιστώσα και στη y ή z εκτός της x διεύθυνσης. Με βάση τα προηγούμενα προκύπτουν οι σχέσεις :

$$\mu_x = \alpha_{xx}E_x + \alpha_{xy}E_y + \alpha_{xz}E_z \quad (6.21)$$

$$\mu_y = \alpha_{yx}E_x + \alpha_{yy}E_y + \alpha_{yz}E_z \quad (6.22)$$

$$\mu_z = \alpha_{zx}E_x + \alpha_{yz}E_y + \alpha_{zz}E_z \quad (6.23)$$

Η πολωσιμότητα είναι τανυστής δευτέρας τάξεως (μια γραμμική σχέση μεταξύ διανυσμάτων, όπως του μ και του E , εκφράζει ένα τανυστή).

Η πολωσιμότητα είναι συμμετρική όταν $\alpha_{ij}=\alpha_{ji}$ για κάθε i, j={x, y, z}. Οι συμμετρικοί τανυστές έχουν την ιδιότητα μια συγκεκριμένη ομάδα συντεταγμένων (x', y', z') να μπορεί να εκλεγεί ώστε μόνο οι $\alpha_{x'x'}$, $\alpha_{y'y'}$, $\alpha_{z'z'}$ να είναι μη μηδενικοί. Αυτοί οι ειδικοί άξονες είναι αμοιβαία κάθετοι και η επαγόμενη διπολική ροπή είναι παράλληλη στο ηλεκτρικό πεδίο, οπότε οι σχέσεις (6.21), (6.22) και (6.23) παίρνουν τη μορφή :

$$\mu_x = \alpha_{x'x'} E_{x'} \quad (6.24)$$

$$\mu_y = \alpha_{y'y'} E_{y'} \quad (6.25)$$

$$\mu_z = \alpha_{z'z'} E_{z'} \quad (6.26)$$

Οι τρεις αυτοί άξονες ονομάζονται θεμελιώδεις άξονες της πολωσιμότητας. Η θέση των σημείων μορφοποιείται με καταγραφή του $(\alpha^{1/2})^{-1}$ σε κάθε διεύθυνση, ξεκινώντας από την αρχή. Έτσι παίρνουμε μια επιφάνεια γνωστή ως ελλειψοειδής πολωσιμότητας, της οποίας άξονες είναι οι x' , y' , z' . Αν το μόριο είναι ισότροπο το ελλειψοειδές γίνεται σφαίρα, ενώ αν είναι ανισότροπο ($\alpha_{x'x'} \neq \alpha_{y'y'} \neq \alpha_{z'z'}$) γίνεται περιστροφική έλλειψη με δύο ίσους άξονες.

Ενώ το ελλειψοειδές της πολωσιμότητας μπορεί να έχει υψηλότερη συμμετρία από αυτή του μορίου, όλα τα στοιχεία της συμμετρίας που ισχύουν για το μόριο θα ισχύουν και για το ελλειψοειδές. Αν αυτό μεταβληθεί σε μέγεθος, σχήμα ή προσανατολισμό, ως συνέπεια της μοριακής δόνησης ή περιστροφής, θα προκύψει φάσμα Raman [20-23].

Φασματοσκοπία Raman νανοσωλήνων άνθρακα

Η φασματοσκοπία Raman ιστορικά έχει παίξει ένα σημαντικό ρόλο τις τελευταίες τέσσερις δεκαετίες στο χαρακτηρισμό της δομής υλικών που περιέχουν γραφίτη, όπως του πυρολυτικού γραφίτη και ινών άνθρακα, υαλώδη άνθρακα, φουλλερένια και νανοσωλήνες άνθρακα [23-25].

Για να γίνει κατανοητό το φάσμα Raman των υλικών αυτών, όπως οι νανοσωλήνες άνθρακα που χρησιμοποιούνται στην εργασία αυτή, θα πρέπει πρώτα να περιγραφεί το φάσμα Raman του γραφίτη.

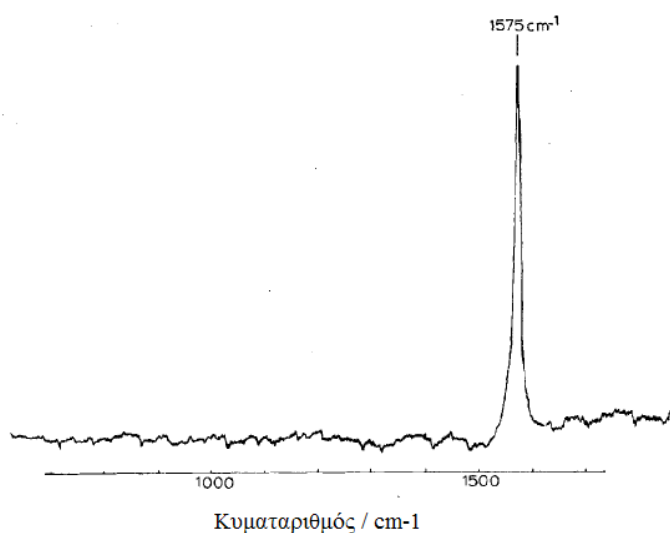
Φάσμα Raman του γραφίτη

Το 1970 οι Tuinstra και Koenig κατόρθωσαν για πρώτη φορά να λάβουν φάσμα Raman από μονοκρυστάλλους γραφίτη (σχήμα 6.9). Θα πρέπει να σημειωθεί η εν γένει δυσκολία λήψεως φασμάτων Raman από υλικά εξολοκλήρου μαύρου χρώματος, αυτό επιτυγχάνεται μόνο όταν χρησιμοποιούνται ισχυρής ισχύος πηγές laser και ιδιαίτερα στην περιοχή του εγγύς υπερύθρου. Διάφορα δείγματα από μονοκρυστάλλους γραφίτη έδειξαν ότι το φάσμα αποτελείται από μία και μόνο κορυφή στους 1575 cm^{-1} . Διαφορετικές διευθύνσεις του δείγματος σε σχέση με την προσπίπτουσα ακτινοβολία έδωσαν το ίδιο

φάσμα. Από τη συμμετρία του κρυσταλλικού πλέγματος, υπολογίζονται οι κανονικές δονήσεις σε:

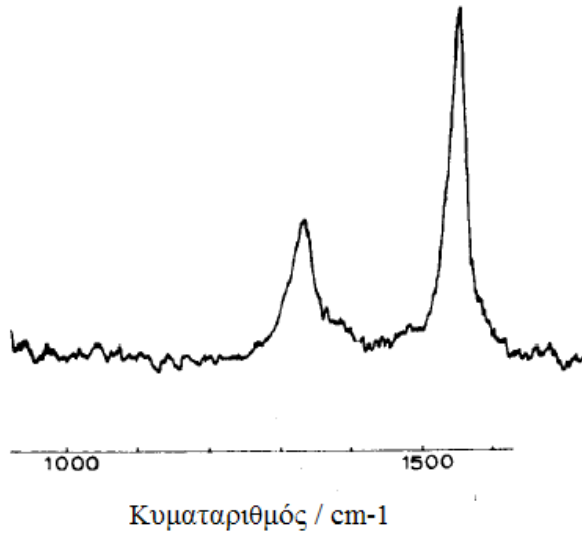
$$2B_{2g} + 2E_{2g} + A_{2u} + E_{1u} \quad (6.27)$$

Μόνο οι δονήσεις συμμετρίας $2E_{2g}$ αναμένονται να είναι ενεργές στο Raman. Οι δύο διαφορετικοί τρόποι δονήσεως $2E_{2g}$ συμβαίνουν διότι τα γειτονικά πλέγματα γραφίτη μπορούν να δονούνται είτε εν φάσει είτε με διαφορά φάσεως 180° . Επειδή όμως, η διαφορά της ενέργειας μεταξύ των δύο αυτών τρόπων δονήσεως είναι εξαιρετικά πολύ μικρή, λόγω των σχετικά ασθενών διαπλεγματικών δυνάμεων, εμφανίζεται στο φάσμα μία μόνο κορυφή στους 1575 cm^{-1} , που αντιστοιχεί στην E_{2g} συμμετρία. Έτσι λοιπόν χαρακτηριστική κορυφή του γραφίτη στους 1575 cm^{-1} είναι διπλά εκφυλισμένη και είναι χαρακτηριστική των sp^2 πλεγμάτων άνθρακα και αναφέρεται στη βιβλιογραφία ως κορυφή G (G-band). Σε αντίθεση με τα sp^3 πλέγματα άνθρακα που δίνουν κορυφή στους 1333 cm^{-1} (διαμάντι) και γραμμικών αλυσίδων άνθρακα που δίνουν κορυφές στην περιοχή $1850\text{-}2100 \text{ cm}^{-1}$.



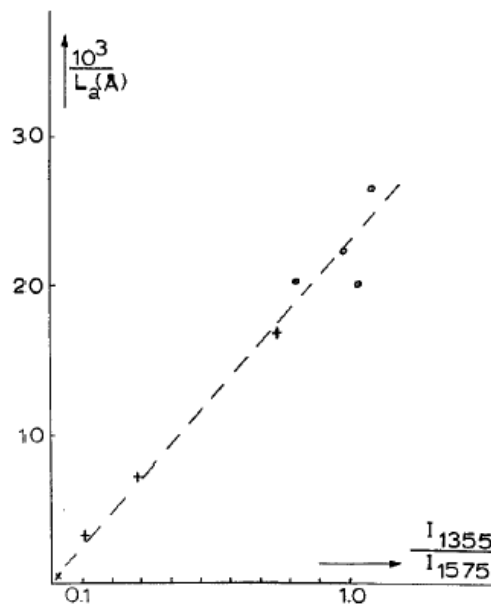
Σχήμα 6.9 Φάσμα Raman γραφίτη (μονοκρύσταλος)

Σε δείγματα υλικών που περιέχουν γραφίτη, μία δεύτερη κορυφή παρουσιάζεται (σχήμα 6.10) στους 1355 cm^{-1} . Η κορυφή αυτή αποδόθηκε σε κάθε είδους ατέλειες του κρυσταλλικού πλέγματος, όπως η παρουσία ετεροατόμων ή κενές θέσεις στον κρύσταλλο, με αποτέλεσμα την μείωση της κρυσταλλικής συμμετρίας, και γι' αυτό η κορυφή αυτή δεν εμφανίζεται σε δείγματα υψηλής κρυσταλλικότητας γραφίτη [26-28].



Σχήμα 6.10 Φάσμα Raman γραφίτη του εμπορίου..

Η κορυφή αυτή αναφέρεται στη βιβλιογραφία ως κορυφή D (D-band) και παρουσιάζει ισχυρή εξάρτηση από την ενέργεια της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στις μετρήσεις Raman. Ο λόγος των εντάσεων των κορυφών D και G (I_D/I_G) χρησιμοποιείται για τον χαρακτηρισμό ποσοτικά των ατελειών σε υλικά που περιέχουν γραφίτη. Οι Tunistra και Koenig συνδυάζοντας τα αποτελέσματα Raman και περίθλασης ακτίνων-X και σε δείγματα γραφίτη με διαφορετικού μεγέθους κρυσταλλιτών (L_a), κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο λόγος των εντάσεων των κορυφών D και G (I_D/I_G) είναι αντιστρόφως ανάλογος του μεγέθους L_a των κρυσταλλιτών (σχήμα 6.11).



Σχήμα 6.11 Σχέση κρυσταλλιτών γραφίτη διαφόρου μεγέθους L_a με τον λόγο εντάσεων των κορυφών D και G (I_D/I_G)

Οι Knight και White αργότερα συνοψίζοντας αποτελέσματα από φάσματα Raman πολλών γραφιτικών συστημάτων, χρησιμοποιώντας ως μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας $\lambda=514.5$ nm ($E_{\text{laser}} = 2.41$ eV), κατέληξαν στην εμπειρική εξίσωση:

$$L_G \text{ (nm)} = 560 / E_{\text{laser}}^4 (I_D/I_G)^{-1} \quad (6.28)$$

Όπου E είναι η ενέργεια του laser σε eV που χρησιμοποιείται ως προσπίπτουσα ακτινοβολία στις μετρήσεις Raman. Η εξίσωση αυτή τροποποιημένη ως προς το μήκος κύματος της ακτινοβολίας σε nm γράφεται:

$$L_G \text{ (nm)} = (2.4 \times 10^{-10}) \lambda_{\text{laser}}^4 (I_D/I_G)^{-1} \quad (6.29)$$

Φάσμα Raman νανοσωλήνων άνθρακα

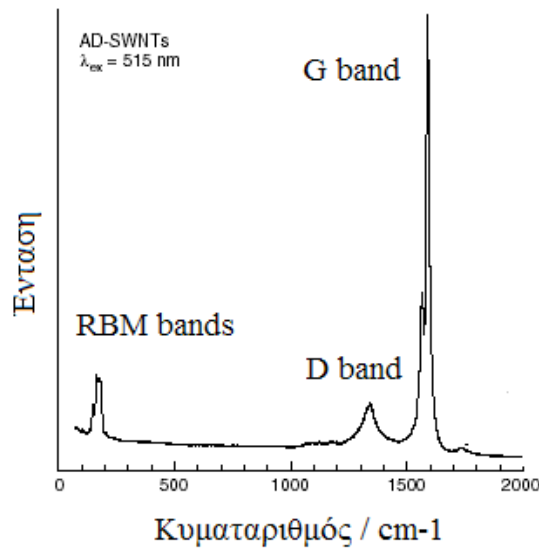
Η φασματοσκοπία Raman χρησιμοποιείται ευρέως στον προσδιορισμό της μορφολογίας και των δομικών χαρακτηριστικών των νανοσωλήνων άνθρακα. Συγκεκριμένα χρησιμοποιείται στον προσδιορισμό της εσωτερικής διαμέτρου των νανοσωλήνων, στη εύρεση του ποσοστού των τέλεια διατεταγμένων κρυστάλλων γραφίτη, κ.α. Η φασματοσκοπία Raman σε νανοσωλήνες έχει ευρύτητα μελετηθεί τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πειραματικό επίπεδο.

Τυπικά το φάσμα Raman των νανοσωλήνων άνθρακα δίνει ισχυρές κορυφές στις εξής δύο φασματικές περιοχές: $1500\text{-}1600$ cm^{-1} και $160\text{-}200$ cm^{-1} .

Περιοχή $1500\text{-}1600$ cm^{-1} : Στην περιοχή αυτή αντιστοιχούν οι δονήσεις γειτονικών ατόμων άνθρακα που ταλαντώνονται είτε εν φάσει είτε με διαφορά φάσης 180° με διεύθυνση παράλληλη προς την επιφάνεια του κυλίνδρου του νανοσωλήνα (εφαπτομενικοί τρόποι δόνησης, σχήμα 6.12) και δίνουν μια κύρια κορυφή η οποία συνδέεται με την E_{2g} συμμετρία του γραφίτη στους 1580 cm^{-1} (κορυφή G). Στην περίπτωση των μη χειραλικών (achiral) νανοσωλήνων διακρίνονται δύο εφαπτομενικοί τρόποι δόνησης με ατομικές μετατοπίσεις σε παράλληλη και κάθετη διεύθυνση ως προς τον άξονα του νανοσωλήνα.

Επιπλέον, της παραπάνω δόνησης υπάρχει και άλλη μία που αποδίδεται σε ατέλειες του κρυσταλλικού πλέγματος, που εμφανίζει κορυφή στους $1250\text{-}1450$ cm^{-1} και αντιστοιχεί στη κορυφή των 1350 cm^{-1} του γραφίτη (κορυφή D, σχήμα 6.12). Θα πρέπει να σημειωθεί

ότι η κορυφή D παρουσιάζει μία γραμμική εξάρτηση με την ενέργεια της προσπίπτουσας ακτινοβολίας του laser.



Σχήμα 6.12 Φάσμα Raman νανοσωλήνων άνθρακα.

Τέλος, στο φάσμα των νανοσωλήνων πολλές φορές, μπορεί να παρατηρηθούν και οι υπέρτονες ή συνδυασμοί των παραπάνω δονήσεων.

Περιοχή $160\text{-}200\text{ cm}^{-1}$: Στην περιοχή αυτή εμφανίζονται κορυφές που αποδίδονται σε ακτινικές δονήσεις αναπνοής, που εν συντομία αναφέρονται ως RBM (Radial Breathing Modes) και αντιστοιχούν στην ‘εν φάσει’ μετατοπίσεις όλων των ατόμων άνθρακα ως προς την ακτινική διεύθυνση του νανοσωλήνα, ώστε ο νανοσωλήνας να ‘αναπνέει’ (σχήμα 6.12). Αυτού του τύπου οι δονήσεις είναι χαρακτηριστικές για τους νανοσωλήνες άνθρακα με συχνότητες ω_{RBM} που αντιστοιχούν σε νανοσωλήνες με διαμέτρους μεταξύ 0.7 nm και 2 nm. Αυτές οι ω_{RBM} συχνότητες είναι πολύ χρήσιμες για τον προσδιορισμό της κατανομής της διαμέτρου των νανοσωλήνων άνθρακα σε ένα νανοςύνθετο υλικό. Η σχέση η οποία συνδέει την συχνότητα ω_{RBM} και τη διάμετρο του νανοσωλήνα είναι η ακόλουθη:

$$\omega_{\text{RBM}} (\text{cm}^{-1}) = A/d + B \quad (6.30)$$

όπου A και B παράμετροι που προσδιορίζονται πειραματικά και d η διάμετρος του νανοσωλήνα σε nm.

Γενικά για νανοσωλήνες άνθρακα με διαμέτρους της τάξεως των 1.5 nm έχει βρεθεί ότι $A=234\text{ cm}^{-1}$ και $B=10\text{ cm}^{-1}$. Η πρόσθεση της παραμέτρου B στην συχνότητα ω_{RBM} , στην εξίσωση 3.30 αποδίδεται σε αλληλοεπιδράσεις σωλήνα-σωλήνα. Προφανώς για μεμονωμένους σωλήνες η παράμετρος αυτή μηδενίζεται. Πάντως για μεγαλύτερες από 2

nm διαμέτρους σωλήνων η εξίσωση 6.30 δεν προσφέρεται αφού η ένταση της κορυφής RBM είναι πολύ ασθενής. Ενώ για διαμέτρους κάτω των 0.7 nm οι ατέλειες του πλέγματος των νανοσωλήνων δεν επιτρέπει την χρήση της εξίσωσης 6.30. Συνήθως οι RBM δονήσεις εμφανίζονται ως σύνθετες κορυφές για αυτό για την λεπτομερέστερη εύρεση της διαμέτρου των νανοσωλήνων απαιτείται ανάλυση των κορυφών.

6.6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΒΙΒΛΙΑ

- 1) Παπαγεωργόπουλος, Α.Χ., 'Φυσική Στερεάς Κατάστασης', Ιωάννινα, 1999.
- 2) Παπαϊωάννου, Ι., 'Σημειώσεις Χημείας Στερεάς Κατάστασης', Αθήνα 1999.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΑ ΒΙΒΛΙΑ

- 3) Goldstein J., 'Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis', 2nd ed., Plenum Press, New York, 1992.
- 4) Wunderlich, B., 'Thermal Analysis', Academic Press, London, 1990.
- 5) Hohne G., Hemminger W., and Flammersheim, J.H., 'Differential Scanning Calorimetry. An Introduction for Practitioners', Springer-Verlag, Berlin, 1996.
- 6) Charlsley, L.E., and Warrington, B.S., 'Thermal Analysis-Techniques and Applications', The Royal Society of Chemistry, London, 1992.
- 7) Hatekeyama, T., and Quinn, X.F., 'Thermal Analysis-Fundamentals and Applications to Polymer Science', 2nd ed., J.Wiley & Sons, NewYork, 2000.
- 8) Codek, M., Coleman, N.J., Ryan, P.K., Nicolosi, V., Bister, G., and Fonseca, A., Nano Lett., 2004, 4, 353.
- 9) Minus, M., Chae, G.H., and Kumar, S., Polymer, 2006, 47, 3705.
- 10) Herrero, R.C., Morales, B., and Acosta, L.J., J. Appl. Polym. Sci., 1994, 51, 1189.
- 11) Xiong, H., Gao, Y., and Li, M.H., Exp. Polym. Lett., 2007, 1, 416.
- 12) Leelapornpisit, W., Ton-That, T.M., Perrin-Sarazin, F., Cole, K., Denault, J., and Simard, B., J. Polym. Sci. B Polym. Phys., 2005, 43, 2445.

- 13)** Antoniadis, G., Paraskevopoulos, M.K., Bikiaris, and D., Chrissafis, K., J. Polym. Sci. B Polym. Phys., 2009, 47, 1452.
- 14)** Valentini, L, Biagiotti, J., Kenny, M.J. and Santucci, S., J. Appl. Polym. Sci., 2003, 87, 708.
- 15)** Manhado, L.M.A., Valentini, L., Biagiotti, J., and Kenny, M.J., Carbon, 2005, 43, 1499.
- 16)** Jin J., Song M., and Pan F., Thermochim. Acta, 2007, 456, 25.
- 17)** Warren, B.E., 'X-Ray Diffraction', Addison-Wesley Publishing Company, 1969.
- 18)** Colthup, N.B., Daly, L.H, Wiberley, S.E, 'Introduction to Infrared and Raman Spectroscopy', 3rd ed., Academic Press, 1990.
- 19)** Painter, P.C., Coleman, M.M., and Koenig, J.L, 'The Theory of Vibrational Spectroscopy and its Application to Polymeric Materials', John Wiley & Sons, 1982.
- 20)** Banwell, C.N., McCash, E.M., 'Fundamentals of Molecular Spectroscopy', 4th ed., McGraw-Hill, London, 1994.
- 21)** Dresselhaus, S.M., Dresselhaus, G., Sugihara, K., Spain, L.I., and Goldberg, A.H., 'Graphite Fibers and Filaments', vol. 5 of Springer Series in Materials Science, Springer-Verlag, Berlin, 1988.
- 22)** Dresselhaus, S.M., Dresselhaus, G., Saito, R., and Jorio, A., Phys. Rep., 2005, 409, 47.
- 23)** Pimenta, A.M., Dresselhaus, G., Dresselhaus, S.M., Cancado, G.L., Jorio, A., and Saito, R., Phys. Chem. Chem. Phys., 2007, 9, 1276.
- 24)** Cancado, G.L., Pimenta, A.M., Neves, A.R., Medeiros-Ribeiro, G., Enoki, T., Kobayashi, Y., Takai, K., Fukui, K., Dresselhaus, S.M., Saito, R., and Jorio, A., Phys. Rev. Lett., 2004, 93, 047403.

- 25)** Saito, R., Dresselhaus, G., and Dresselhaus, S.M., 'Physical Properties of Carbon Nanotubes', Imperial College Press, London, 1998.
- 26)** Tuinstra, F., and Koenig, L.J., J. Chem. Phys., 1970, 53, 1126.
- 27)** Tuinstra, F., and Koenig, L.J., J. Compos. Mater., 1970, 4, 492.
- 28)** Batzian, R.A., Backmann, K.P., Hartnett, T., Batzian, T., and Messier, R., 'Amorphous Hydrogenated Carbon Films', ed. P. Koidl and P. Oelhafen, Les Editions de Physique, vol. XVII, 1987.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I: ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΥΑΛΩΔΟΥΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ
ΚΑΙ ΤΗΞΗΣ**

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II: ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ ΣΤΗ ΧΗΜΕΙΑ ΤΩΝ
ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ**

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III: ΕΜΠΟΡΙΚΕΣ ΟΝΟΜΑΣΙΕΣ ΤΩΝ
ΚΥΡΙΟΤΕΡΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΙΚΩΝ ΤΗΓΜΑΤΩΝ**

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV: ΛΕΞΙΚΟ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΥΑΛΩΔΟΥΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΞΗΣ

ΠΟΛΥΜΕΡΕΣ	TG	TM
Πολυαιθυλένιο	-120	135
Πολυπροπυλένιο	-10	170
Πολυισοβουτυλένιο	-73	128
Πολυ (1,4- cis – βουταδιένιο)	-100	1
Πολύ (1,4- trans- βουταδιένιο)	-60	148
Πολυισοπρένιο (cis)	-72	27
Πολυισοπρένιο (trans)	-53	60
Πολυχλωροπρένιο (cis)	-20	50
Πολυχλωροπρένιο (trans)	-45	55
Πολύ(1-βουτενιο)	-25	132
Πολύ(1-πεντενιο)	-40	130
Πολύ(1-εξένιο)	-50	
Πολύ(1-επτένιο)	-30	17
Πολύ(1-οκτένιο)	-65	-38
Πολύ(1-εννεένιο)	-47	
Πολύ(1-δεκένιο)	-40	34
Πολύ(1-ενδεκένιο)	-37	
Πολύ(1-δωδεκένιο)	-36	49
Πολύ(4-μεθυλο-πεντένιο-1)	29	250
Πολυοξιμεθυλένιο	-82	180
Πολυοξυαιθυλένιο	-67	66
Πολυοξυπροπυλένιο	-78	
Πολυοξυβουτυλένιο	-84	60
Πολύ(βινυλομεθυλαιθέρας)	-31	144
Πολύ(βινυλοαιθυλεθέρας)	-43	86
Πολύ(βινυλο-κ-βουτυλαιθέρας)	-55	64
Πολύ(βινυλοϊσοβουτυλαιθέρας)	-18	115
Πολύ(βινυλο-τριτ.-βουτυλαιθέρας)	88	260
Πολυστυρένιο (ατακτικό)	100	
Πολυστυρένιο (ισοτακτικό)	100	240
Πολύ(α-μεθυλοστυρένιο)	100	

Πολύ(ο-μεθυλοστυρένιο)	135	>360
Πολύ(μ-μεθυλοστυρένιο)	97	215
Πολύ-(π-μεθυλοστυρένιο)	100	
Πολύ(π-φαινυλοστυρένιο)	161	
Πολύ(π-χλωροστυρένιο)	110	
Πολύ(ακρυλικό οξύ)	106	
Πολυμαθακρυλικό οξύ	130	
Πολυακρυλαμίδιο	165	
Πολύ(ακρυλικός μεθυλεστέρας)	10	
Πολύ(ακρυλικός αιθυλεστέρας)	-24	
Πολύ(μεθακρυλικός μεθυλεστέρας)(iso)	45	160
Πολύ(μεθακρυλικός μεθυλεστέρας)(syn)	110	>200
Πολύ(μεθακρυλικός αιθυλεστέρας)(iso)	12	
Πολύ(μεθακρυλικός αιθυλεστέρας)(syn)	65	
Πολύ(μεθακρυλικός –κ-προπυλεστέρας)	35	
Πολύ(μεθακρυλικός-κ-βουτυλεστέρας)	20	
Πολύ(μεθακρυλικός –κ-εξυλεστέρας)	-5	
Πολύ(μεθακρυλικός –κ-οκτυλεστέρας)	-20	
Πολυβινυλοφθορίδιο	40	200
Πολυβινυλοχλωρίδιο	81	227
Πολυβινυλιδενοφθορλιδιο	-25	171
Πολυβινυλιδενοχλωρίδιο	-18	190
Πολύ(1,2-διφθοροαιθυλένιο)	98	
Πολύ(1,2-διχλωροαιθυλένιο)	145	
Πολυτετραφθοροαιθυλένιο	-113	327
Πολυακρυλονιτρίλιο	97	317
Πολυμεθακρυλονιτρίλιο	120	
Πολύ(οξικός βινυλεστέρας)	29	
Πολυβινυλοκαρβαζόλιο	208	
Πολυβινυλοφορμάλη	105	
Πολυβινυλοβουτυράλη	49	
Πολυβινυλαλκοόλη	85	258
Πολύ(ανθρακικός δισφαινολεστέρας)	150	267

Πολύ(τερεφθαλικός αιθυλεστέρας)	75	255
Πολύ(τερεφθαλικός προπυλενεστέρας)		
Πολύ(τερεφθαλικός βουτυλενεστέρας)	40	232
Πολύ(τερεφθαλικός κυκλοεξανο- 1,4-διμεθυλεστέρας)	130	290
Πολύ(ναφθαλινικός αιθυλεστέρας)		
Πολύ (ναφθαλινικός προπυλεστέρας)		
Πολύ(ναφθαλινικός βουτυλεστέρας)		
Νάιλον -3	111	325
Νάιλον -4		260
Νάιλον -5		223
Νάιλον -6 (πολυκαπρολακτάμη)	50	225
Νάιλον -10	42	188
Νάιλον -11	46	198
Νάιλον-12	37	179
Νάιλον -6,6	57	265
Νάιλον -6,10	50	227
Πολυδιμεθυλοσιλοξάνιο	-123	-30
Πολυμεθυλοφαινοσιλοξάνιο	-86	
Πολυδιφαινοσιλοξάνιο	230	
Μεθυλοκυτταρίνη	150	
Αιθυλοκυτταρίνη	43	
Νιτροκυτταρίνη	60	
Οξική κυτταρίνη	50-480*	
Τριοξική κυτταρίνη	105	306
Πολυεπιχλωρυδρίνη	-22	119
Πολύ(2,6- διμεθυλοφαινολενοξειδίο)	210	270
Πολυβινυλοπυρρολιδόνη	175	>300
Πολύ(μ-φαινολενοϊσοφθαλαμίδιο), (Nomex)	>400	
Πολύδης (τριφθοροαιθοξυ)φωσφαζένιο	-66	242
Πολυαιθεροσουλφόνη	225	
Πολύ(αιθεροαιθεροκετόνη),(PEEK)	335	

*Εξαρτάται από το περιεχόμενο των ακετυλοομάδων, της υγρασίας και το βαθμό κρυσταλλικότητας.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ: ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ ΣΤΗ ΧΗΜΕΙΑ ΤΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ

ΑΓΓΛΙΚΗ ΟΝΟΜΑΣΙΑ		ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΟΝΟΜΑΣΙΑ
ABR	Acrylonitrile/Butadiene Rubber	Ελαστικό Ακρυλονιτριλίου/Βουταδιενίου
ABS	Acrylonitrile/Butadiene/Styrene copolymer	Συμπολυμερές Ακρυλονιτριλίου/Βουταδιενίου/Στυρενίου
AIBN	Azobisisobutyronitrile	Αζωδισισοβουτυρονιτρίλιο
ASTM	American Society for Testing Materials	Αμερικάνικη Εταιρία για τον Έλεγχο των Υλικών
BBL	Polybenzimidazobenzophenanthroline	Πολυβενζιμιδαζοβενζοφενανθρολίνη (Πυρρόνη)
BOPP	Biaxial Oriented Polypropylene	Διαξονικά Προσανατολισμένο πολυπροπυλένιο
BR	Butadiene Rubber	Ελαστικό Βουταδιενίου
BS	Butadiene /Styrene Rubber	Ελαστικό Βουταδιενίου/Στυρενίου
CA	Cellulose Acetate	Οξική Κυτταρίνη
CF	Cresol – Formaldehyde Resin	Ρητίνη Κρεσόλης –Φορμαλδεΐδης
CMC	Carboxymethylcellulose	Καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη
CN	Cellulose Nitrate	Νιτρική Κυτταρίνη
COPA	Copolyamide	Συμπολυαμίδιο
COPE	Copolyester	Συμπολυεστέρας
CP	Cellulose Propionate	Προπιονική Κυτταρίνη
CPE	Chloroprene Polyethylene	Χλωριομένο Πολυαιθυλένιο
CR	Chronoprene Rubber	Ελαστικό χλωροπρενίου
CS	Casein	Καζεΐνη
CTA	Callulose Triacetate	Τριοξική κυτταρίνη
DMAc	N,N.-Dimethylacetamide	N,N- Διμεθυλακεταμίδιο
DMF	N,N.-Dimethylformamide	N,N-Διμεθυλοφορμαμίδιο
DMSO	Dimethylsulfoxide	Διμεθυλοσουλφοξειδίο
DMT	Dimethyl Terephthalate	Τερεφθαλικός Διμεθυλεστέρας
DOP	Dioctyl Phthalate	Φθαλικός διοκτυλεστέρας ή αιθυλεξυλεστέρας
DP	Degree of Polymerization	Βαθμός Πολυμερισμού

DPn	Average Degree of Polymerization	Μέσος Βαθμός Πολυμερισμού
DTA	Differential Thermal Analysis	Διαφορική Θερμική Ανάλυση
EEA	Poly(ethylene – co- ethyl acrylate)	Συμπολυμερές αιθυλενίου- ακρυλικού αιθυλεστέρα
EP	Epoxy Resin	Εποξειδική Ρητίνη
EPM	Poly (ethylene –co- propylene)	Συμπολυμερές αιθυλενίου – προπυλενίου
EPR	Ethylene/Propylene Rubber	Ελαστικό Αιθυλενίου/Προπυλενίου
EPS	Expandable Polystyrene	Διογκώσιμο Πολυστυρένιο
GPC	Gel Permeation Chromatography)	Χρωματογραφία Διαπερατότητας μέσω
HALS	Hindered Amine Light Stabilizer	Παρεμποδισμένη Αμίνη για την απορρόφηση του φωτός
HDI	Hexamethylene Diisocyanate	Εξαμεθυλενοδιισοκυανικός εστέρας
HDPE	High Density Polyethylene	Πολυαιθυλένιο Υψηλής Πυκνότητας
HIPS	High Impact Polystyrene	Πολυστυρένιο υψηλής αντοχής στην κρούση
HMP	Hexamethylphosphoramide	Εξαμεθυλοφωσφοραμίδιο
IIR	Isobutene – Isoprene Rubber	Ελαστικό Ισοβουτενίου-Ισοπρενίου
IR	Isoprene Rubber	Συνθετικό Ελαστικό (cis -1,4- πολυισοπρένιο)
LDPE	Low Density Polyethylene	Πολυαιθυλένιο Χαμηλής Πυκνότητας
LLDPE	Linear Low Density Polyethylene	Γραμμικό Πολυαιθυλένιο Χαμηλής Πυκνότητας
MDI	Methylene Diphenylene Diisocyanate	Διισοκυανικός εστέρας του Διφαινυλομεθανίου
MF	Melamine – Formaldehyde Resin	Ρητίνη Μελαμίνης – Φορμαλδεΐδης
MFI	Melt Flow Index	Δείκτης Ροής Τήγματος
Mn	Number – average molecular weight	Μέσο μοριακό βάρος σε αριθμό
Mv	Viscosity – average molecular weight	Ιξωδομετρικό μέσο μοριακό βάρος
Mw	Weight –average molecular weight	Μέσο μοριακό βάρος σε βάρος
Mz	Z-average molecular weight (from German spelling zentrifuge)	Φυγοκεντρικό μέσο μοριακό βάρος
MMA	Methyl Methacrylate	Μεθακρυλικός Μεθυλεστέρας
MPF	Melamine – Phenol- Formaldehyde	Ρητίνη Μελαμίνης – Φαινόλης –

	Resin	Φορμαλδεΐδης
MWD	Molecular Weight Distribution	Κατανομή Μοριακών Βαρών
NBR	Nitrile /Butadiene Rubber	Ελαστικό Ακρυλονιτριλίου /Βουταδιενίου
NR	Natural Rubber	Φυσικό Ελαστικό
PA	Polyamide (Nylon)	Πολυαμίδιο (Νάιλον)
PAI	Polyamide Imide	Πολυαμιδοϊμίδιο
PAN	Polyacrylonitrile	Πολυακρυλονιτρίλιο
PB	Polybutadiene	Πολυβουταδιένιο
PBI	Polybenzimidazole	Πολυβενζιμιδαζόλιο
PBN	Poly(butylene naphthalate)	Πολύ (ναφθαλινικός βουτυλενεστέρας)
PBT	Poly(butylene terephthalate) ή Polybenzothiazole	Πολύ (τερεφθαλικός βουτυλενεστέρας) ή Πολυβανζοθειαζόλιο
PC	Polycarbonate	Πολυανθρακικός Εστέρας
PEEK	Poly-ether-ether-ketone	Πολύ-αιθερο – αιθερο-κετόνη
PEI	Poly(ethylene isophthalate)	Πολύ(ισοφθαλικός αιθυλενεστέρας)
PEI	Poly (ether imide)	Πολυαιθεροϊμίδιο
PEK	Poly – ether- ketone	Πολύ-αιθερο-κετόνη
PEN	Poly –(ethylene – 2.6-naphthalenedi- carboxylate) ή Poly(ethylene-2.6naphthalate) ή Poly(ethylene naphtha late)	Πολύ (2,6-ναφθαλινικός αιθυλενεστέρας)
PEOX	Poly (ethylene oxide)	Πολυαιθυλενοξείδιο
PET ή PETEή PETR	Poly(ethylene terephthalate)	Πολύ(τερεφθαλικός αιθυλενεστέρας)
PES	Polyethersulphone	Πολυαιθεροσουλφόνη
PF	Phenol-Formaldehyde Resin	Ρητίνη Φαινόλης Φορμαλδεΐδης
PFA	Perfluoro-alkoxyalkene	Υπερφθωρο-αλκοξυαλκένιο
PI	Polymide	Πολυαμίδιο
PIB	Polyisobutylene	Πολυισοβουτυλένιο
PMAN	Polymethacrylonitrile	Πολυμεθακρυλονιτρίλιο
PMMA	Poly(Methyl methacrylate)	Πολυ (μεθακρυλικός μεθυλεστέρας)
PMP	Polymethylpentene	Πολυμεθυλοπεντένιο
POM	Polyoxymethylene	Πολυοξυμεθυλένιο

PP	Polypropylene	Πολυπροπυλένιο
PPA	Polyphosphoric acid	Πολυφωσφορικό οξύ
PPO	Poly(phenylene oxide) ή Poly(oxy -2.6-dimethyl – 1.4- phenylene)	Πολυφαινουλενοξείδιο
PPS	Poly(phenylene sulfide) ή Poly(thio-1.4-phenylene)	Πολυφαινοσουλφίδιο
PS	Polystyrene	Πολυστυρένιο
PSO	Polysulfone	Πολυσουλφόνη
PTFE	Polytetrafluoroethylene	Πολυτετραφθοροαιθυλένιο
PUR	Polyurethane	Πολυουρεθάνη
PVAή PVAc	Poly(vinyl acetate)	Πολυ (οξικός βινυλεστέρας)
PVAI	Poly (vinyl alcohol)	Πολυ (βινυλική αλκοόλη)
PVB	Poly(vinyl butylale)	Πολυβινυλοβουτυράλη
PVC	Poly(vinyl chloride)	Πολυβινυλοχλωρίδιο
PVCAc	Poly(vinyl chloride –co-vinyl-acetate)	Συμπολυμερές βινυλοχλωριδίου- Οξικού βινυλινεστέρα
PVDC	Poly (vinylidene chloride)	Πολυβινυλιδενοχλωρίδιο
PVDF	Poly (vinylidene fluoride)	Πολυβινυλιδενοφθωρίδιο
PVF	Poly (vinylidene formal)	Πολυβινυλοφορμάλη
PVP	Poly (N-vinyl pyrrolidone)	Πολυ – N-βινυλοπυρρολιδόνη
RF	Resorcinole – Formaldehyde Resin	Ρητίνη Ρεζορκινόλης – Φορμαλδεΐδης
SAN	Styrene /Acrylonitrile copolymer	Συμπολυμερές Στυρενίου – Ακρυλονιτριλίου
SBR	Styrene/Butadiene Rubber	Ελαστικό – Στυρολίου / Βουταδένης
SIR	Silicon Rubber	Ελαστικό Σιλικόνης
TCP	Tricresyl Phosphate	Φωσφορικός τρικρεζυλεστέρας
TDI	Tolylene Diisocyanate	Τολουλενοδιισοκυανικός εστέρας
TGA	Thermogravimetric Analysis	Θερμοσταθμική Ανάλυση
TMA	Thermomechanical Analysis	Θερμομηχανική Ανάλυση
TPX	Poly (4-methylpentene -1)	Πολυ (4-μεθυλοπεντένιο-1)
TR	Thiokol Rubber	Πολυσουλφιδικό Ελαστικό
TS	Thermoset	Θερμοσκληρωμένο

UF	Urea –Formaldehyde Resin	Ρητίνη Ουρίας – Φορμαλδεΐδης
UHM- WPE	Ultra High Molecular Weight Polyethylene	Πολυαιθυλένιο – Υπερυψηλού Μοριακού Βάρους
ULDPE	Ultra Low Density Polyethylene	Πολυαιθυλένιο πολύ χαμηλής πυκνότητας
VCM	Vinyl Chloride Monomer	Μονομερές Βινυλοχλωρίδιο
VAE	Vinyl Acetate –co-ethylene copolymer	Συμπολυμερές οξικού Βινυλινεστέρα - αιθυλενίου
ZNC	Ziegler – Natta Catalyst	Καταλύτης Ziegler –Natta

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ: ΕΜΠΟΡΙΚΕΣ ΟΝΟΜΑΣΙΕΣ ΤΩΝ ΚΥΡΙΟΤΕΡΩΝ ΠΟΛΥΜΕ- ΡΙΚΩΝ ΤΗΓΜΑΤΩΝ

Εμπορική Ονομασία	Προϊόν	Παραγωγός Εταιρεία
Acrilan	Συμπολυμερές ακρυλονιτριλίου /οξικού βινυλεστέρα	Chemstrand
Acrylite	Πολυ (μεθακρυλικός μεθυλεστέρας)	American Cyanamid
Aculon	Νάιλον ,6- ή 6,6	DSM
Alathon	Πολυαιθυλένιο	Du Pont de Nemours
Alkathene	Πολυαιθυλένιο	ICI
Amberlite	Ιοντοαντανακλαστικό δικτυωμένο πολυστυρένιο	Rohm and Haas
Araldite	Εποξειδική Ρητίνη	Ciba
Arenka	Αραμίδιο	Amer,Enka Co
Arnite	Πολυ (τερεφθαλικός αιθυλενεστέρας)	DSM
Astrel	Πολυαρυλοσουλφόνη	3 M
Bakelite	Ρητίνη Ρ- F	Bakelite –Sterling Union Carbide
Baydur	Αφρώδης πολυουρεθάνη	Bayer
Bayflex	Ελαστομερής πολυουρεθάνη	Bayer
Bexloy	Μηχανολογικό θερμοπλαστικό πολυμερές	Du Pont de Nemours
Buna CB	Ελαστομερές βουταδιένιο	Du Pont deNemours
Capton	Πολυαμίδιο -6	Allied Signal Inc.
Carinex	Πολυστυρένιο	Shell Chemical
Celanese	Νάιλον -6,6	Hoechst Celanese
Celanex	Πολυ(τερεφθαλικός βουτυλενεστέρας)	Hoechst Celanese
Celcon	Συμπολυμερής ακετάλη	Hoechst Celanese
Celluloid	Πλαστικοποιημένη νιτρική κυτταρίνη	Hoechst Celanese
Chevron PE	Πολυαιθυλένιο	Chevron
Collodion	Διάλυμα νιτρικής Κυτταρίνης	-
Crastin	Πολυ (τερεφθαλικός βουτυλινεστέρας)	Du Pont de Nemours
Cronar	Πολυεστερικό φιλμ (PET)	Du Pont de Nemours
Dacron	Πολυεστερική ίνα (PET)	Du Pont de Nemours

Darvic	Πολυβινυλοχλωρίδιο	ICI
Delrin	Πολυοξυμεθυλένιο	Du Pont de Nemours
Derel	Αρωματικός πολυεστέρας	Hoechst Celanese
Desmopan	Θερμοπλαστική πολυουρεθάνη	Bayer
Desmophen A	Ελαστομερής πολυουρεθάνη	Bayer
Diakon	Πολυ (μεθακρυλικός μεθυλεστέρας)	ICI
Diolen	Πολυεστερική ίνα (PET)	Amer,Enka,Co
Dowlex	Πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας	Dow chemicals
Doryl	Πολυδιφαινυλενοξείδιο	Westinghouse
Epikote	Εποξειδικές Ρητίνες	Shell Chemicals
Epolene	Πολυαιθυλένιο	Eastman Chemicals
Escorene	Πολυαιθυλένιο	Exxon
Exon	Πολυβινυλοχλωρίδιο	Fireston Plastics
Fluon	Πολυτετραφθοροαιθυλένιο	ICI
Formica	Θερμοσκληρυμμένα φύλλα	Formica Corp.
Fortiflex	Πολυαιθυλένιο	Soltex Polymer Corp.Hoechst-Celanese
Fortilene	Πολυπροπυλένιο	Solvay Polymers
Fortron	Πολυφενυλενοσουλφίδιο	Hoechst – Celanese
Glyptal	Αλκυδικό επίχρισμα	General Electric
Herculon	Πολυπροπυλένιο	Hercules Powder
Herrox	Νάιλον	Du Pont de Nemours
H – film	Πολυιμιδικό Φίλμ	Du Pont de Nemours
Hi – Blen	Συμπολυμερές ABS	Japanese Geon
Hipol	Πολυπροπυλένιο	Mitsui Sekka
Hitalex	Πολυαιθυλένιο	Hitachi Chemicals
Hitanol	Ρητίνες P-F	Hitachi Chemicals
Hostaflon C2	Πολυχλωροτριφθοροθυλένιο	Hoechst
Hostaflon FEP	Πολυτετραφθοροθυλένιο	Hoechst
Hostadur A	PET	Hoechst

Hostadur B	PBT	Hoechst
Hostaflon	Πολυτετραφθοροθυλένιο	Hoechst
Hostaform	Συμπολημερής Ακετάλη	Hoechst
Hostalen	Πολυαιθυλένιο	Hoechst
Hostalen PP	Πολυπροπυλένιο	Hoechst
Histalit	πολυβινυλχλωρίδιο	Hoechst
Hostapor	Διογκώσιμο πολυστυρένιο	Hoechst
Hostyren	Πολυστυρένιο	Hoechst
Hytrel	Θερμοπλαστικό ελαστομερές	Du Pont de nemours PBT/POBT
Impet	Ενισχυμένος με υαλοίνες PET	Hoechst Celanese
Irrathene	Ακτινοβολημένο πολυαιθυλένιο	General Electrc
Kapton	Πολυιμιδικό φιλμ	Du Pont De Nemours
Kardel	Φιλμ πολυστυρενίου	Union Carbide
Kaurit	Ρητίνες U-P	BASF
Kerimid	Πολυιμίδιο	Phone – Poulenc
Kevlar	Αραμίδιο	Du Pont de Nemours
Kodacel	Φιλμ οξικής κυτταρίνης	Eastman
Kodel	Πολυεστερική ίνα	Eastman
Kodar	Πολυεστερική ίνα	Eastman
Kollidon	Πολυβινυλοπυρρολιδόνη	General – Anilin
Korad	Ακρυλικό φιλμ	Rohm and Haas
Kynar	Πολυβινυλιδενοφθορίδιο	Penwalt
Lexan	Πολύ (ανθρακικός εστέρας)	General Electric
Lotader	Συμπολυμπερές αιθυλενίου / εποξειδωμένου ακρυλικού ή μεθακρυλικού εστέρα	Elf atochem
Lucite	Πολύ(μεθακρυλικός μεθυλεστέρας)	Du Pont de Nemours
Lupolen	Πολυαιθυλένιο	BASF
Lustran	ABS	Monsanto Chemicals
Lustrex	Πολυστυρένιο	Monsanto Chemicals
Luvican	Πολυβινυλοκαρβαζόλιο	BASF
Lycra	Ελαστομερής πολυουρεθάνη ίνα	Du Pont de Nemours

Lytex	Εποξειδικές ρητίνες	Quantum Composites
Makrolon	Πολύ(ανθρακικός εστέρας)	Bayer
Maranyl	Νάilon -6 ή 6,6	ICI
Marlex TR-130	Φιλμ πολυαιθυλενίου	Philips Petroleum Co.
Melinar	PET	ICI
Melinex	Πολυεστερικό φιλμ (PET)	ICI
Minlon	Νάilon -66 ενισχυμένο με ορυκτά	Du Pont de Nemours
Mylar	Πολυεστερικό φιλμ (PET)	Du Pont de Nemours
Neocis	Ελαστομερές βουταδιενίου	Enichem
Neoprene	Πολυχλωροπρένιο	Du Pont de Nemours
Nipeon	Πολυβινυλοχλωρίδιο	Japanese Geon
Nipoflex	Συμπολυμερές αιθυλενίου – οξικού βινυλινεστέρα	Toyo Soda
Nipolon	Πολυαιθυλένιο	Toyo Soda
Nomex	Αραμίδιο	Du Pont de Nemours
Noryl	Πολυφαινυλενοξειδίο	General Electric
Novamid	Πολυαμίδιο	Mitsubishi
Novodur	Συμπολυμερές ABS	Bayer A.G.
Opalon	Πολυβινυλοχλωρίδιο	Monsanto Chemicals
Oppanol	Πολυισοβουτυλένιο	BASF
Orlon	Πολυακρυλική ίνα	Du Pont de Nemours
Pelaspan	Διογκώσιμο πολυστευρένιο	Dow chemicals
Perbuman N	Συμπολυμερές βουταδιενίου- ακρυλονιτριλίου	Bayer A.G.
Perlon L	Νάilon -6 (ίνες)	Bayer A.G.
Perlon N	Νάilon -6,10(ίνες)	Bayer A.G.
Perlon T	Νάilon -6,6(ίνες)	Bayer A.G.
Perlon U	Πολυουρεθανικές (ίνες)	Bayer A.G.
Perspex	Φύλλα PMMA	ICI
Plexiglass	Φύλλα PMMA	Rohm and Haas
Propathene	Πολυπροπυλένιο	ICI
Quiana	Αραμιδική ίνα	Du Pont de Nemours
Rididex	Πολυαιθυλένιο	BP Chemicals
Rilsan	Νάilon -11	Aquitaine – Organico

Riteflex	Θερμοπλαστικός ελαστομερής πολυεστέρας	Hoechst Celanese
Roofmate	Αφρώδες εξηλασμένο πολυστερένιο	Dow Chemicals
Rovel	Συμπολυμερές στυρενίου-ακρυλονιτριλίου	Uniroyal
Rynite	Ενισχυμένος με 30% υαλοΐνες PET	Du Pont de Nemours
Ryton	Πολύ(φαινυλενοσουλφίδιο)	Phillips Petroleum
Saflex	Πολυβινυλοβουτυράλη	Monsanto
Saran	Πολυβινυλιδενοχλωρίδιο	Dow Chemicals
Silastic	Σιλικονούχα ελαστομερή	Dow Cornig Corp.
Sniamid	Πολυαμίδιο -6	Snia
Spandex	Πολυουρεθανικές ίνες	Du Pont de Nemours
Stanyl	Νάιλον -4,6	DSM
Styrocel	Διογκώσιμο πολυστερένιο	Styrene Products
Syrofoam	Διογκωμένο πολυστερένιο	Dow Chemicals
Styron	Πολυστερένιο	Dow Chemicals
Surlin	Ιοντομερές	Du Pont de Nemours
Syntex	Ρητίνες U-F	Celanese
Tedlar	Φιλμ πολυβινυλοφθοριδίου	Du Pont de Nemours
Teflon	Πολυτετραφθοροαιθυλένιο	Du Pont De Nemours
Teflon EPE	Συμπολυμερές τετραφθοροαιθυλενίου/υπερφθοροπροπυλοβινυλαιθέρα αλλά με χαμηλότερο σ.τ. (295 ^ο) από το Teflon PFA	Du Pont De Nemours
Teflon FEP	Συμπολυμερές τετραφθοροαιθυλενίου / εξαφθοροπροπυλενίου	Du Pont De Nemours
Teflon PFA	Συμπολυμερές τετραφθοροαιθυλενίου/υπερφθοροπροπυλοβινυλαιθέρα	Du Pont De Nemours
Terylene	Πολυεστερική ίνα (PET)	ICI
Trevira	Πολυεστερική ίνα (PET)	Hoechst AG
Texin	Θερμοπλαστική πολυουρεθάνη	Bayer
Thiokol-A	Πολυαιθυλενοσουλφίδιο	Thiokol Corp.
Torlon	Πολυαμιδοϊμίδιο	Amoco Polymers
Tygon	Σωλήνες από πλαστικοποιημένο PVC	Norton Co.
Typar	Ίνα πολυπροπυλενίου	Du Pont de Nemours
Tyvek	Ίνα πολυαιθυλενίου (χαρτί μεγάλης αντοχής)	Du Pont de Nemours

Ultraform	Πολυακετάλη	BASF
Ultramid	Πολυαμίδια	BASF
Ultrapek	Πολυαρυλοαιθεροκετόνη	BASF
Ultrason	Πολυσουλφόνη	BASF
Upilex	Πολυιμιδικό φιλμ	ICI-UBE
Valox	Πολύ(τερεφθαλικός βουτυλενεστέρας)	General Electric
Vectra	Υγροκρυσταλλικός πολυεστέρας	Hoechst –Celanese
Versamid	Πολυαμίδιο	General Mills, Inc.Hulls
Vespel	Πολυιμίδιο	Du Pont de Nemours
Vestamid	Νάιλον -12	Chemische Werke Hulls
Vistanex	Πολυισοβουτυλένιο	Exxon Chemicals
Viton	Συμπολυμερή βινυλιδENOΦθοριδίου-εξαφθοροπροπυλενίου	Du Pont de Nemours
Vydyne	Νάιλον -6,6	Monsanto
Wallmate	Αφρώδες εξηλασμένο πολυστυρένιο	Dow Chemicals
Welite	PBT	Wellman Inc.
Wellamid	Νάιλον -6ή -66	Wellman Inc.
Welpet	PET	Wellman Inc.
Xantar	Πολυανθρακικός εστέρας	DSM(Dutch State Mines
Xenoy	Μίγμα πολυαναθρακικού εστέρα /πολύ(τερεφθαλικού βουτυλενεστέρα)	General Electric Co.
Xydar	Υγροκρυσταλλικός πολυεστέρας	Amoco
Zenite	Υγροκρυσταλλικός πολυεστέρας	Du Pont de Nemours
Zetafin	Συμπολυμερές αιθυλενίου – ακρυλικού αιθυλεστέρας	Du Pont de Nemours
Zytel	Νάιλον -66	Du Pont de Nemours

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV: ΛΕΞΙΚΟ

Adsorbate :: Προσροφούμενο υλικό

Μια ουσία που προσροφά και κολλά σε επιφάνειες. Μπορεί να είναι ένα μόριο που χρησιμοποιείται για την κατασκευή μιας ορισμένης στρώσης, για παράδειγμα, μέσω μιας διαδικασίας CVD.

Assembler :: Συναρμολογητής

Μια συσκευή γενικής χρήσης για μοριακή κατασκευή ικανή να οδηγήσει χημικές αντιδράσεις προσδιορίζοντας τη θέση μορίων.

Atom :: Άτομο

Η μικρότερη μονάδα ενός χημικού στοιχείου, με διάμετρο περίπου ένα τρίτο ενός νανόμετρου. Τα άτομα συγκροτούν τα μόρια και τα στερεά αντικείμενα.

Atomic force microscopy :: Μικροσκοπία ατομικής ισχύς

Η μικροσκοπία ατομικής ισχύς (MAI) είναι μια τεχνική για ανάλυση την τοπογραφική επιφάνεια με μια ευκρίνεια στο επίπεδο του ατόμου. Η MAI ανιχνεύει δυνάμεις που δρουν σε ένα ερευνητικό όργανο που βρίσκεται σε μηχανική επαφή με την επιφάνεια χρησιμοποιώντας γκελ ή γέφυρα. Το όργανο εξετάζεται γραμμή προς γραμμή σε όλο το τμήμα του ενδιαφέροντος μέσω του οποίου αποκομίζεται η τοπογραφία καμπή ή εκτροπή της γέφυρας. Η MAI σχετίζεται στενά με μία άλλη τεχνολογία εξεταστικού οργάνου (ΜΕΟ), που ονομάζεται μικροσκοπία εξέτασης με διάνοιξη σήραγγας (ΜΕΣ). Η διαφορά είναι ότι η MAI δεν απαιτεί ένα δείγμα διοχετευτικό ενώ η ΜΕΣ απαιτεί. Η MAI χρησιμοποιείται για την κατανόηση των προβλημάτων της ύλης σε πολλούς τομείς, περιλαμβανομένης της αποθήκευσης δεδομένων, των τηλεπικοινωνιών, της βιο-ιατρικής, της χημείας και του αεροδιαστήματος.

Auger electron :: Ηλεκτρόνιο Auger

Ηλεκτρόνιο που εκπέμπεται από μια διαδικασία δυο φάσεων ιονισμού πυρήνα. Γενικά, ένα ιονισμένο άτομο θα εκπέμψει φως όταν ένα ηλεκτρόνιο καλύψει το κενό, όμως κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες η ενέργεια θα μεταφερθεί σε ένα άλλο ηλεκτρόνιο που έχει εκπεμφθεί με μια χαρακτηριστική ενέργεια. Αυτή είναι μια ανταγωνιστική διαδικασία στις εκπομπές ακτινών X και μπορεί να παρατηρηθεί για επικρατέστερα ελαφρότερα ηλεκτρόνια.

Τα ηλεκτρόνια Auger ονομάστηκαν έτσι χάρη στα τρία σύνολα ηλεκτρονίων του αυτού κβαντικού αριθμού που συνεπάγονται (π.χ. KLM).

Auger Electron Spectroscopy (AES) :: Φασματοσκόπιο Ηλεκτρονίου Auger (ΦΗΑ)

Μέθοδος ανάλυσης επιφάνειας που αποκαλύπτει τη χημική σύνθεση. Τα άτομα επιφάνειας ή τα μόρια ιονίζονται στον πυρήνα από μια δέσμη ηλεκτρονίου για παράδειγμα. Η ενέργεια των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων Auger καταγράφεται παρέχοντας χημικές πληροφορίες ευαίσθητες στην επιφάνεια.

Automated engineering :: Αυτοματοποιημένη μηχανική

Μηχανολογικός σχεδιασμός φτιαγμένος από ένα σύστημα υπολογιστού, που παράγει λεπτομερή σχέδια από ευρείες προδιαγραφές με μικρή ή καθόλου ανθρώπινη βοήθεια.

Automated manufacturing :: Αυτοματοποιημένη κατασκευή

Κατασκευή βασισμένη στη νανοτεχνολογία που απαιτεί μικρή ανθρώπινη παρέμβαση.

Bacteria :: Βακτήρια

Μονοκυτταρικοί μικροοργανισμοί, πλάτους περίπου ενός μικρομέτρου (χίλια νανόμετρα).

Biomimicry :: Βιομιμητικότητα

Μίμηση βιολογικών διαδικασιών από τη φύση, π.χ. σύνθεση συνθετικών βιταμινών κλπ.

Biominalization :: Βιομεταλλοποίηση

Οι οργανισμοί είναι ικανοί να δημιουργήσουν μέταλλα μέσω αυτο-οργανούμενες διαδικασίες. Αυτά τα σύνθετα βιομεταλλεύματα (π.χ. δόντια, οστά) παράγονται με έναν πολύ αποτελεσματικό και ελεγμένο τρόπο και μπορούν να παρέχουν μια βελτίωση στις βιομηχανικές διαδικασίες

Bottom Up :: Συνθετικός προγραμματισμός

Η χρησιμοποίηση μικρών τεμαχίων στερεής ύλης (π.χ. άτομα ή μόρια) για τη δημιουργία μεγαλύτερων ειδών ή δομών. Διαμετρική μέθοδος μιας διαδικασίας που ξεκινά από πάνω προς τα κάτω, που χρησιμοποιείται κυρίως από τη φύση σε βιολογικά συστήματα ή από χημικούς για την κατασκευή μεγαλύτερων αντικειμένων με το συνδυασμό μορίων.

Brownian Motion :: Κίνηση Brown

Τυχαία κίνηση σωματιδίων σε ένα υγρό ή ένα αέριο, που οφείλεται σε θερμική διέγερση. Η Κίνηση ή Κίνημα Brown παρατηρήθηκε αρχικά από τον Robert Brown το 1827.

Buckminsterfullerene

Βλέπε Fullerenes

Bucky Balls :: Σκληρές Μπάλες

Σφαιρικά μόρια που κατασκευάστηκαν κυρίως από 60 άτομα άνθρακα και έχουν το σχήμα μιας μπάλας ποδοσφαίρου. Τα άτομα από άνθρακα είναι διευθετημένα σε εξάγωνα (γραφίτη) και πεντάγωνα.

Buckyball or Fullerene or C60

Μια από τις τρεις γνωστές μορφές άνθρακα (ο γραφίτης και το διαμάντι είναι οι άλλες δυο) που λαμβάνει ένα σφαιρικό σχήμα με κενό εσωτερικό. Ονομάστηκαν Buckyballs επειδή μοιάζουν με γεωδαιτικούς τρούλους που κατασκεύαζε ο αρχιτέκτονας Buckminster Fuller. Ανακαλύφθηκαν το 1985 ανάμεσα στα παρα-προϊόντα της λέιζερ εξάτμισης του γραφίτη στην οποία τα άτομα άνθρακα είναι τοποθετημένα σε φύλλα. Παρά το γεγονός ότι ονομάζεται και C60 αναφερόμενος στον αριθμό των κυττάρων του άνθρακα που αποτελούν μια σφαίρα, οι πιο γνωστοί ερευνητές του βρήκαν σταθερές, σφαιρικές δομές άνθρακα που περιέχουν 70 (C70) άτομα, 120(C120), 180 (C180), κ.α.

Οι Robert F. Curl Jr. και Richard E. Smalley, και οι δυο του Πανεπιστημίου Rice στο Houston, Texas και ο Harold W. Kroto του Πανεπιστημίου του Sussex της Αγγλίας, κέρδισαν το 1996 το βραβείο Νόμπελ Χημείας για την ανακάλυψή τους των buckminsterfullerene που είναι το επιστημονικό όνομα των buckyballs.

Bulk technology :: Χονδρική τεχνολογία

Τεχνολογία στην οποία τα άτομα και τα μόρια χειρίζονται χονδρικά παρά μεμονωμένα.

Carbon Black :: Μαύρος Άνθρακας

Ο μαύρος άνθρακας είναι στοιχειώδης άνθρακας σε μορφή σκόνης. Η αρχική χρήση του μαύρου άνθρακα γίνεται σε προϊόντα από λάστιχο, κυρίως ελαστικά και άλλα προϊόντα αυτοκίνησης αλλά και σε πολλά άλλα λαστιχένια προϊόντα όπως μάνικες, φλάντζες και υφάσματα με επίστρωμα. Πολύ μικρότερες ποσότητες μαύρου άνθρακα χρησιμοποιούνται σε μελάνια και βαφές, σε πλαστικά και στην κατασκευή μπαταριών ξηρών στοιχείων.

Carbon Nanotubes :: Νανοσωλήνες άνθρακος

Μια μορφή άνθρακα που σχετίζεται με τα fullerenes, εκτός από το γεγονός ότι τα άτομα του άνθρακα σχηματίζουν απλωμένους κούφιους σωλήνες αντί για κλειστές κούφιες σφαίρες. Οι νανοσωλήνες άνθρακος μπορούν επίσης να σχηματίσουν μια σειρά από ένθετους ομόκεντρους σωλήνες. Οι σωλήνες άνθρακος μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως σύριγγες χωρίς βελόνα της κλίμακας του νανόμετρου για την εισαγωγή μορίων μέσα σε κύτταρα και ως εργαλεία έρευνας της νανοκλίμακας για μετρήσεις ακριβείας. Οι σωλήνες άνθρακος μπορούν να γεμιστούν και να σφραγιστούν, και να γίνουν σωλήνες εξετάσεων ή συσκευές παράδοσης φαρμάκων. Οι σωλήνες άνθρακος μπορούν επίσης να «ντοπαριστούν» ή να τροποποιηθούν με μικρές ποσότητες άλλων στοιχείων, που θα τους δώσουν ηλεκτρικές ιδιότητες που περιλαμβάνουν πλήρη μόνωση, ημιαγωγιμότητα και πλήρη αγωγιμότητα.

Catalyst :: Καταλύτης

Μια ουσία που αυξάνει το ποσοστό μιας χημικής αντίδρασης μειώνοντας την ενέργεια δραστηριοποίησης., που όμως παραμένει αναλλοίωτη από την αντίδραση. Ένας καταλύτης δουλεύει παρέχοντας μια κατάλληλη επιφάνεια για την αντίδραση που θα συμβεί. Τα αντιδρούντα σωματίδια μαζεύονται στην επιφάνεια του καταλύτη και (1) συγκρούονται πιο συχνά το ένα με το άλλο, (2) περισσότερες συγκρούσεις γίνονται σε μια αντίδραση ανάμεσα σε σωματίδια επειδή ο καταλύτης μπορεί να μειώσει την ενέργεια δραστηριοποίησης για την αντίδραση.

Cell :: Κύτταρο

Μια μικρή δομική μονάδα που περιβάλλεται από μια μεμβράνη που διαμορφώνει ζωντανά πράγματα.

Cell pharmacology :: Κυτταρική Φαρμακολογία

Παράδοση φαρμάκων από ιατρικές νανομηχανές σε ακριβείς τοποθεσίες μέσα στο σώμα.

Cell surgery :: Κυτταρική Χειρουργική

Τροποποίηση κυτταρικών δομών χρησιμοποιώντας ιατρικές νανομηχανές.

Chemical Vapour Deposition (CVD) :: Εναπόθεση Χημικού Ατμού (ΕΧΑ)

Μια τεχνική επίστρωσης όπου το υλικό επίστρωσης συμπυκνώνεται από διάφορες φάσεις αερίου και συνεπάγεται και μια χημική αντίδραση. Τα πτητικά χημικά φέρονται σε ένα θάλαμο αντίδρασης όπου η χημική αντίδραση αρχίζει εξαιτίας της θερμοκρασίας, της πίεσης

ή ένα ιονισμένο αέριο για παράδειγμα.

Chromatography :: Χρωματογραφία

Η Χρωματογραφία είναι μια φυσική μέθοδος διαχωρισμού κατά την οποία τα συστατικά που θα διαχωριστούν μοιράζονται σε δυο φάσεις, μια από τις οποίες είναι στατική ενώ η άλλη κινείται σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση. Η χρωματογραφία χρησιμοποιείται ευρέως για το διαχωρισμό, την ταυτοποίηση και τον προσδιορισμό χημικών συστατικών σε σύνθετα μείγματα.

Cluster :: Συστάδα

Μια συσσωμάτωση ατόμων, συνήθως μεταλλικά άτομα του ίδιου είδους. Οι φυσικές τους ιδιότητες (π.χ. ηλεκτρικές, οπτικές) μπορούν να διαφέρουν σημαντικά από αυτές μιας ογκώδης δομής εξαιτίας των κβαντικών επιδράσεων.

Colloidal Systems :: Κολλοειδή Συστήματα

Μια ουσία διασκορπισμένη σε λεπτά σωματίδια σε μια άλλη ομοιογενή ουσία χωρίς καθίζηση. Αυτό μπορεί να είναι ένα αέριο ή υγρό σύστημα. Ο καπνός είναι ένα κολλοειδές σύστημα.

Colorant :: Χρωστικά

Ένα προσθετικό για να δημιουργηθεί ένα συγκεκριμένο χρώμα. Τα χρωστικά μπορούν να γίνουν από δυο μόρια ή από σωματίδια με καθορισμένο μέγεθος (διασκορπισμός φωτός). Η άνω-μοριακή χημεία παρέχει σύγχρονα χρωστικά όπου δημιουργούνται μεγάλες μοριακές συνθέσεις μορίων καθορισμένης διαμέτρου.

Computational nanotechnology :: Υπολογιστική Νανοτεχνολογία

Ο υπολογιστικός σχεδιασμός και η διαμόρφωση μοριακών μηχανών και συσκευών.

Computational Nanotechnology :: Υπολογιστική Νανοτεχνολογία

Προσποίηση υποβοηθούμενο από υπολογιστή σύνθετων δομών με διαστάσεις νανόμετρου.

Cryogenic AFM :: Κρυογονική AFM

Ένα μικροσκόπιο ατομικής ισχύος που είναι ικανό να λειτουργήσει σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες πολλών Kelvin.

Dendrimer :: Δενδριμερή

Ένα δενδριμερές (από τα Ελληνικά δένδρο) είναι ένα διακλαδωμένο μόριο παραγόμενο συνθετικά κατασκευασμένο από μονομερή. Βασικά ένα δενδριμερές είναι ένα πολυμερές και το όνομά του προέρχεται από το «δενδριτικό πολυμερές».

Dendrimer :: Δενδριμερή

Ένα δενδριμερές είναι ένα σφαιρικό πολυμερές μόριο με υψηλές διακλαδώσεις. Τα δενδριμερή είναι φτιαγμένα από δυο διαφορετικά μονομερή – ένα αντιδραστικό αμινοξύ και ένα ακριλικό οξύ – και συναρμολογούνται σε διακριτικά βήματα που τους επιτρέπουν να κατασκευαστούν με μια ακριβή διάσταση που εξαρτάται από τον αριθμό των βημάτων εξάπλωσης. Αυτή η εικόνα δείχνει ένα δενδριμερές που έχει περάσει τρεις «γενεές» εξαπλώσεων.

Τα δενδριμερή ενδιαφέρουν πολύ για εφαρμογές στον καρκίνο εξαιτίας του ορισμένου και αναπαραγώσιμου μεγέθους τους, αλλά κυρίως επειδή είναι εύκολη η προσθήκη διαφόρων άλλων μορίων στην επιφάνεια ενός δενδριμερούς. Αυτά τα μόρια μπορεί να περιλαμβάνουν παράγοντες που στοχεύουν τον όγκο (περιλαμβανομένων αλλά όχι περιοριστικά, και των μονοκλωνικών αντισωμάτων) που απεικονίζουν αντίθετους παράγοντες για όγκους με αιχμηρή άκρη, μόρια φαρμάκων για να παραδοθούν σε έναν όγκο και μόρια που εκθέτουν αφού ανιχνεύσουν αν ένα αντικαρκινικό φάρμακο είναι δραστικό.

Dimer :: Διμερές

Ένα μόριο που αποτελείται από δυο όμοιες υπο-μονάδες (μονομερή)

Diode :: Δίοδος

Ημιαγωγικό υλικό με δυο ακροδέκτες και σύνδεση p-n (σύνδεση μεταξύ ημιαγωγών τύπου p και n), που μεταδίδει το ηλεκτρικό ρεύμα σε μια μόνο κατεύθυνση. Οι περισσότερες δίοδοι είναι κατασκευασμένες από ημιαγωγικά υλικά όπως η σιλικόνη, το γερμάνιο ή το σελήνιο. Οι δίοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ανορθωτές, οριοθέτες σημάτων, ρυθμιστές τάσης, διακόπτες, διαμορφωτές σημάτων, αναμίκτες σημάτων, αποδιαμορφωτές σημάτων και ταλαντωτές.

Dip Pen Nanolithography :: Νανολιθογραφία με Πένα Βύθισης

Το όργανο εξέτασης ενός μικροσκοπίου ατομικής ισχύος (βλ. ΜΑΙ) που χρησιμοποιείται για μια διαδικασία απευθείας γραψίματος στην κλίμακα νανομέτρου με ένα κατάλληλο μελάνι

στο οποίο το όργανο έχει βυθιστεί προηγουμένως.

Disassembler :: Αποσυνθέτης

Ένα εργαλείο ικανό να απομονώσει δομές ατόμων καταχωρώντας πληροφορίες σε κάθε βήμα.

DNA

Ακρωνύμιο για το δεσοξυριβονουκλεϊκό οξύ. Το διπλό στριφτό μόριο DNA φέρει τις γενετικές πληροφορίες που είναι κρυπτογραμμένες σε μια αλληλουχία βασικών ζευγαριών (αδενίνη και θυμίνη, γουανίνη και κυτοσίνη).

DNA

Ένα μόρια με κωδικογραφημένες γενετικές πληροφορίες που βρίσκονται στον πυρήνα του κυττάρου

Drug Delivery Systems (DDS) :: Συστήματα παράδοσης φαρμάκου (ΣΠΦ)

Ένα σύστημα μεταφοράς μιας χημικής ουσίας ή ενός φαρμάκου μέσα στον οργανισμό απευθείας στη θέση προορισμού.

Dye :: Μπογιά

Μια χρωστική ουσία που μπορεί να είναι φυσική ή συνθετική. Τα μόρια της μπογιάς απορροφούν και αναδύουν φως μέσα σε μια συγκεκριμένη γκάμα από μήκη κυμάτων, και έτσι φαίνεται να έχουν ένα συγκεκριμένο χρώμα.

Ecosystem protector :: Προστάτης Οικοσυστήματος

Μια νανομηχανή για τη μηχανικά απομάκρυνση επιλεγμένων εισαγόμενων ειδών από ένα οικοσύστημα για να προστατεύσει τα «ντόπια» είδη.

Electron-beam lithography (EBL) :: Λιθογραφία από δέσμη ηλεκτρονίων (ΛΔΗ)

Είναι όμοια με τη Φωτολιθογραφία, αλλά αντί για φως η εστιασμένη δέσμη ηλεκτρονίων ενός μικροσκοπίου σαρωτή με ηλεκτρόνια, για την τροποποίησης χρησιμοποιείται μια ευαίσθητη στρώση (αντοχή) πάνω σε μια πλακέτα από σιλικόνη. Δεν υπάρχει εκμαγείο αφού η δόση της δέσμης ηλεκτρονίου μπορεί να ρυθμιστεί π.χ. περιοχές που θα δομηθούν λαμβάνουν υψηλότερη δόση.

Electrostatic Force Microscopy (EFM) :: Μικροσκόπιο Ηλεκτροστατικής Ισχύος (ΜΗΙ)

Προσδιορισμός τοπικών διαφορών στη δυναμική επιφάνεια. Βασίζεται στο ΜΑΙ, αλλά χρησιμοποιώντας αγώγιμη άκρη όταν εφαρμόζεται τάση. Η πληροφορία που υπάρχουν εξαρτώνται από τη χωρητικότητα του οργάνου/δείγματος και τη δυναμική επιφάνεια.

Enabling science and technologies :: Επιτρεπτική επιστήμη και τεχνολογίες

Τομείς έρευνας σχετικά με ένα συγκεκριμένο σκοπό όπως η νανοτεχνολογία.

Entanglement :: Μπέρδεμα

Θεωρητικός κβαντικός όρος μιας συγκεκριμένης συσχέτισης ανάμεσα σε δυο μόρια (αρχή της εναπόθεσης από πάνω). Τα μπερδεμένα σωματίδια μπορούν να αλληλεπιδρούν ανεξάρτητα από το διαχωρισμό τους στο χώρο.

Entropy :: Εντροπία

Υποδηλώνει το βαθμό της ακαταστασίας σε ένα κλειστό σύστημα και την πιθανότητα αν θα υπάρξει ή όχι μια αντίδραση. Σε ένα κλειστό σύστημα μια εντροπία θα αυξάνει μέχρι να επέλθει η ισορροπία. Ο θερμοδυναμικός ορισμός της εντροπίας έχει να κάνει με το γεγονός ότι η μεταμόρφωση της θερμότητας σε δράση, είναι περιορισμένη: «Δεν υπάρχει συσκευή που να μπορεί να μεταμορφώνει θερμότητα που βγαίνει από έναν ταμειευτήρα σε δράση χωρίς άλλη επίδραση.» (Λόρδος Kelvin)

Enzymes :: Ένζυμα

Μοριακές μηχανές που βρίσκονται στη φύση, αποτελούνται από πρωτεΐνες που μπορούν να προκαλέσουν επιτάχυνση σε χημικές αντιδράσεις.

Epitaxy :: Επίταξη

Παραγωγή γεωμετρικών τέλειων στρώσεων πάνω σε μια κρυστάλλινη επιφάνεια μέσω εξάτμισης ή τεχνικών επιμετάλλωσης. Η εξάτμισμένη στρώση σχηματίζει ένα μονό κρύσταλλο.

Exploratory engineering :: Εξερευνητική μηχανική

Σχέδιο και ανάλυση συστημάτων που είναι θεωρητικώς πιθανά αλλά δεν μπορούν να κατασκευαστούν ακόμα, εξ αιτίας των περιορισμών στα υπάρχοντα εργαλεία.

Extracellular matrix (ECM) :: Εξωκυτταρική μήτρα (ΕΚΜ)

Μια σύνθετη δομική οντότητα που περιβάλλει και στηρίζει τα κύτταρα που βρίσκονται ανάμεσα στους θηλαστικούς ιστούς. Η ΕΚΜ αναφέρεται συχνά ως ένας συνδετικός ιστός. Η ΕΚΜ αποτελείται από 3 κύριες τάξεις βιομορίων: 1) Δομικές πρωτεΐνες: κολλαγόνο και ελαστίνη. 2) Εξειδικευμένες πρωτεΐνες: π.χ. ινοΐνη και φιβροΐνη 3) Πρωτεοσακχαρίδια: αυτά αποτελούνται από ένα πυρήνα πρωτεΐνης στον οποίο έχουν επισυναφτεί μακριές αλυσίδες επαναλαμβανόμενων μονάδων δισακχαριτών αποκαλούμενες γλυκοσαμινοσακχαρίδια (GAGs) που σχηματίζουν ιδιαίτερα σύνθετα συστατικά υψηλού μοριακού βάρους της ΕΚΜ.

Femtometer :: Φεμτόμετρο

Ένα τετράκις εκατομμύριο ενός μέτρου (1/1,000,000,000,000,000). Τυπικό μέγεθος ατομικού πυρήνα.

Fractal :: Μορφοκλάσματα

Ακανόνιστες γεωμετρικές δομές. Τα μορφοκλάσματα είναι κατά προτίμηση πανομοιότυπα που σημαίνει ότι ένα μέρος της δομής είναι όμοιο με το όλο. Παράδειγμα: Το μήκος μιας ακτής αυξάνει όταν μετριέται σε μικρές προσαιξήσεις.

Fuel cell :: Κύτταρο καυσίμου (Στοιχείο μετατροπής της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική)

Μια ηλεκτροχημική συσκευή που παράγει ηλεκτρικό και θερμότητα από ένα καύσιμο (υδρογόνο και οξυγόνο) χωρίς καύση. Βασικά, ένα κύτταρο καυσίμου μπορεί να θεωρηθεί ως μια ανάποδη ηλεκτρόλυση. Το υδρογόνο και το οξυγόνο ανασυνδέονται στο νερό χρησιμοποιώντας την καταλυτική διαδικασία. Τα κύτταρα καυσίμου μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αμάξια κινούμενα με ηλεκτρική ενέργεια. Ένα πρόβλημα που έχουν τα κύτταρα καυσίμου είναι ο χειρισμός και η αποθήκευση του υδρογόνου. Οι Νανοσωλήνες υπόσχονται πολλά ως υποψήφιοι για μελλοντική αποθήκευση του υδρογόνου.

Fullerene

Γενική ονομασία μιας τάξης μορίων που βασίζονται σε καθαρό άνθρακα. Επειδή κάποια Fullerene παίρνουν ένα σχήμα που μοιάζει με μπάλα ποδοσφαίρου ή ένα γεωδαιτικό θόλο, καμιά φορά αναφέρονται και σαν «σκληρή μπάλα». Το επίσημο όνομά τους οφείλεται στον εφευρέτη του γεωδαιτικού θόλου Buckminster Fuller (1895-1983). Καμιά φορά λέγονται και Buckminsterfullerenes.

Giant Magneto Resistance (GMR) :: Γιγάντια Μαγνητική Αντίσταση (ΓΜΑ)

Δυο σιδηρομαγνητικές στρώσεις διαχωρίζονται από μια μη-μαγνητική στρώση που δημιουργεί διάστημα. Οι σιδηρομαγνητικές στρώσεις θα σμίξουν με αντι-παράλληλο προσανατολισμό, όταν η στρώση διαστήματος είναι αρκετά λεπτή. Ένα εξωτερικό μαγνητικό πεδίο μπορεί να σπάσει το σμίξιμο με συνέπεια μια ηλεκτρική αντίσταση σημαντικά πιο χαμηλή. Αυτή η ονομαζόμενη ΓΜΑ δράση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή ενός αισθητήρα για μαγνητικά πεδία και μπορεί να βρεθεί σε δεδομένα στην κεφαλή μαγνητικών συσκευών αποθήκευσης.

Heisenberg Uncertainty Principle :: Αρχή Αβεβαιότητας Heisenberg

Μια συνέπεια κβαντικής μηχανικής: η θέση και η φάρα ενός σωματιδίου δεν μπορεί να καθοριστεί με την ίδια ακρίβεια τη ίδια στιγμή. Όταν, για παράδειγμα, η ταχύτητα ενός ηλεκτρονίου είναι γνωστή, η θέση του είναι μη προβλέψιμη μέσα σε ένα συγκεκριμένο όγκο. Αυτή η επίδραση είναι αμελητέα σε μικροσκοπικές διαστάσεις.

Hydrocarbon :: Υδρογονάνθρακας

Μια οργανική ένωση που περιέχει μόνο άνθρακα και υδρογόνο. Ταξινομείται σύμφωνα με τη διάταξη των ατόμων και τις χημικές ιδιότητες των ενώσεων, ως αλικυκλική, αλειφατική και αρωματική. Παράγεται κυρίως από ακατέργαστο πετρέλαιο όπως και από πίσσα καρβούνου και πηγές φυτών.

Imaging Contrast Agent :: Παράγοντας κοντραστ σε εικόνες

Ένα μόριο ή μια ομάδα μορίων που αυξάνει την ένταση του ανιχνευόμενου σήματος με μια τεχνική απεικόνισης, συμπεριλαμβάνοντας MRI και υπέρηχους. Ένας παράγοντας κοντράστ MRI, για παράδειγμα, μπορεί να περιέχει γαδολίνιο προσκολλημένο σε ένα αντίσωμα που στοχεύει. Το αντίσωμα θα συνδεθεί σε ένα συγκεκριμένο στόχο – ένα κύτταρο μεταστατικού μελανώματος, για παράδειγμα – ενώ το γαδολίνιο θα αυξήσει το μαγνητικό σήμα που ανιχνεύεται από το σαρωτή MRI.

Immune machines :: Απρόσβλητες μηχανές.

Ιατρικές νανομηχανές που έχουν σχεδιαστεί για εσωτερική χρήση, ιδιαίτερα στη ροή του αίματος και την πεπτική οδό, ικανές να αναγνωρίσουν και να καταστρέψουν εισβολείς όπως είναι τα βακτήρια και οι ιοί.

Interface :: Διεπαφή

Στη φυσική ή στη χημεία: Η περιοχή ή το όριο που διαχωρίζει δυο φάσεις, π.χ. υγρό-αέριο, στερεό-υγρό, στερεό-αέριο ή υγρό-υγρό.

Josephson-Effect :: Η Επίδραση Josephson

Ένα ρεύμα διαπερνά δυο υπεραγωγούς που είναι χωρισμένοι από ένα λεπτό φιλμ (συνένωση Josephson). Το ρεύμα ονομάζεται υπερ-ρεύμα (ρεύμα υπεραγωγών). Οι συνενώσεις Josephson χρησιμοποιούνται σε πρότυπα τάσεων, ως ανιχνευτές μικροκυμάτων και ως υπερευαίσθητα μαγνητόμετρα (SQUID).

Langmuir-Blodgett Technique :: Τεχνική Langmuir-Blodgett

Μια μέθοδος για τη δημιουργία υπέρλεπτων στρώσεων με καθορισμένο πάχος που κυμαίνεται από μια μονομοριακή στρώση μέχρι πολυστρώσεις και που βασίζεται σε μια διαδικασία βύθισης.

Lateral force microscopy (LFM) :: Μικροσκοπία Πλευρική Ισχύος (ΜΠΙ)

Βασίζεται στη μικροσκοπία ατομική ισχύος. Εξέταση της σπείρωσης της συσκευής σάρωσης (πλευρική ισχύ) που συσχετίζεται με τοπικές δυνάμεις τριβής.

LCD, Liquid Crystal Display :: Απεικόνιση Υγρών Κρυστάλλων (ΑΥΚ)

Οι προσανατολιστικές ιδιότητες των υγρών κρυστάλλων (ΥΚ) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να δημιουργηθεί μια απεικόνιση. Ο σχετικός προσανατολισμός των μορίων σε μια ψηφίδα της στρώσης ΥΚ, μπορεί να ρυθμιστεί με ένα βολτάζ. Όταν αυτή η στρώση τοποθετείται ανάμεσα σε δυο δημιουργών πόλωσης, η ένταση του φωτός που διαπερνά μπορεί να ρυθμιστεί στριφογυρίζοντας τα μόρια μέσα στη στρώση ΥΚ. Έτσι η φωτεινότητα της κάθε ψηφίδας της απεικόνισης μπορεί να ελεγχθεί επιλεκτικά.

LED, Light Emitting Diode :: Δίοδος που Εκπέμπει Φως, ΔΕΦ

Μια δομή σάντουιτς δυο ημιαγωγών (σύνδεση p-n-). Από αυτή τη σύνδεση εκπέμπεται φως ενός συγκεκριμένου μήκους κύματος ή χρώματος, όταν τη διαπερνά ρεύμα. Το χρώμα μπορεί να ρυθμιστεί επιλέγοντας διαφορετικούς ημιαγωγούς και διαφορετική μηχανική διαδικασία.

Ligand

Ένα ιόν, ένα μόριο ή μια μοριακή ομάδα που συνδέεται σε μια άλλη χημική οντότητα για να

σχηματίσει ένα μεγαλύτερο σύμπλεγμα.

Limited assembler :: Περιορισμένος Συναρμολογητής

Συναρμολογητής ικανός να κατασκευάσει μόνο ορισμένα προϊόντα γρηγορότερα, αποτελεσματικότερα και λιγότερο επιρρεπής σε κατάχρηση από ένα συναρμολογητή γενικής χρήσης.

Lipids :: Λιπίδια

Τα λιπίδια είναι λιπώδη οξέα και τα παράγωγά τους, και ουσίες που σχετίζονται βιοσυνθετικά και λειτουργικά σε αυτές τις ενώσεις.

Liposome :: Λιπόσωμα

Ένας τύπος νανοσωματιδίου που είναι φτιαγμένο από λιπίδια ή λιπώδη μόρια, που περιβάλλει έναν πυρήνα νερού. Τα Λιποσώματα, πολλά από τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως για τη θεραπεία μολυσματικών ασθενειών και τον καρκίνο, υπήρξαν ο πρώτος τύπος νανοσωματιδίου που χρησιμοποιήθηκε για να δημιουργηθούν θεραπευτικοί παράγοντες με πρωτότυπα χαρακτηριστικά.

Liquid crystal (LC) :: Υγρά Κρύσταλλα (ΥΚ)

Η κατάσταση μιας ύλης που είναι ανάμεσα στο υγρό και το κρυστάλλινο στερεό, που μπορεί να παρατηρηθεί σε μόριο με μορφή ράβδου με μια αδύναμη αλληλεπίδραση. Σε ένα πραγματικό κρύσταλλο η θέση κάθε ενός κατασκευαστικού υλικού ή μορίου στερεώνεται σε ένα πλέγμα (συσχέτιση της θέσης), ενώ σε ένα υγρό κρύσταλλο ο προσανατολισμός των παρακειμένων μορίων συμβαδίζει.

Lithography :: Λιθογραφία

Μια γενική μέθοδος γραψίματος – από πάνω προς τα κάτω – δομών πάνω σε μια επιφάνεια με μια συγκεκριμένη συσκευή. Αυτή μπορεί να είναι το φως στην περίπτωση της κοινής φωτολιθογραφίας, ή ηλεκτρόνια όταν – για παράδειγμα – χρησιμοποιείται λιθογραφία δέσμης ηλεκτρονίων. Κατά γράμμα σημαίνει γράψιμο λίθου (Ελληνικά)

Low-dimensional Structures :: Δομές Χαμηλών Διαστάσεων

Δομές με περιορισμένες διαστάσεις σύμφωνα με τις βασικές γεωμετρικές οντότητες (π.χ. τελεία, γραμμή, τομέας). Βλέπε κβαντικές πηγές, κβαντικά σύρματα και κβαντικές τελείες.

Macromolecule :: Μακρομόριο

Σύμπλεγμα μεγάλων μορίων που σχηματίστηκαν από απλούστερα μόρια.

Magnetic Force Microscopy (MFM :: Μικροσκοπία Μαγνητικής Ισχύος (MM

Συγκεκριμένος τρόπος λειτουργίας μιας ΜΑΙ, όπου ανιχνεύονται μαγνητικές αλληλεπιδράσεις. Μια μαγνητισμένη συσκευή έρευνας σαρώνεται σε ένα συγκεκριμένο ύψος ιχνηλατώντας την τοπογραφία. Είχε όμως καταγραφεί σαν πρώτο βήμα κι έτσι αποκλείεται η τοπογραφική επίδραση.

Matrix :: Καλούπι

Ουσία μέσα στην οποία δημιουργείται κάτι άλλο, αναπτύσσεται ή περιέχεται.

Membrane :: Μεμβράνη

Στη βιολογία είναι μια λεπτή, εύκαμπτη στρώση ιστού που καλύπτει επιφάνειες ή χωρίζει ή συνδέει περιοχές, δομές ή όργανα ενός ζώου ή ενός φυτού. Στη χημεία είναι ένα λεπτό φύλλο φυσικού ή συνθετικού υλικού που μπορεί να διαπεραστεί, ιδιαίτερα από υγρά ή αέρια. Σε περιβαλλοντικές εφαρμογές της νανοτεχνολογίας, μια μεμβράνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν ένα φίλτρο.

MEMS :: ΜΗΜΣ

Ακρωνύμιο για Μικρό Ηλεκτρο Μηχανικά Συστήματα. Αναφέρεται σε μια τεχνολογία που χρησιμεύει στο να ενσωματώνει διάφορες ηλεκτρο-μηχανικές λειτουργίες μέσα σε ενσωματωμένα κυκλώματα. Μια τυπική ΜΗΜΣ συσκευή συνδυάζει έναν αισθητήρα και μια λογική ελέγχου για να εκτελέσει τη λειτουργία μιας οθόνης. Παραδείγματα περιλαμβάνουν συσκευές αισθητικού ελέγχου που χρησιμοποιούνται για ελέγξουν το άνοιγμα των αερόσακων σε αυτοκίνητα και συσκευές εναλλαγής που χρησιμοποιούνται σε οπτικά σύρματα τηλεπικοινωνίας.

Mesoporous :: Μεσοπόροι

Στην κατάλυση τα μεσοπορώδη υλικά είναι πορώδη υλικά που έχουν κανονικά τακτοποιημένα, ομοιόμορφους μεσοπόρους (2 νμ στο 50 νμ διάμετρο). Οι μεγάλοι τομείς της επιφάνειάς τους τα κάνουν χρήσιμα και απορροφητικά ή καταλύτες. Πορώδες υλικό με έναν πόρο μεγέθους πάνω από 50 νμ ονομάζεται μακρόπορος και αυτό με πόρους κάτω από 2μ, μικρόπορος.

Microfluidics :: Μικρορευστά

Είναι η επιστήμη του σχεδιασμού, της κατασκευής και της διατύπωσης συσκευών και διαδικασιών που έχουν να κάνουν με όγκους υγρών της τάξης των νανόλιτρων (συμβολίζεται με nL και αντιπροσωπεύει το ένα δισεκατομμυριοστό ενός λίτρου) ή πικόλιτρα (συμβολίζεται με pL και αντιπροσωπεύει το ένα τρισεκατομμυριοστό ενός λίτρου).

Microfluidics :: Μικρορευστά

Ένας πολυπειθαρχικός τομέας που περιλαμβάνει φυσική, χημεία, μηχανική και βιοτεχνολογία, και που μελετά τη συμπεριφορά των ρευστών σε όγκους χιλιάδες φορές μικρότερων από ένα κοινό σταγονίδιο. Τα συστατικά μικρορευστών σχηματίζουν τη βάση των συσκευών λεγομένων «εργαστήριο σε τσιπάκι» που μπορούν να επεξεργαστούν όγκους όπως μικρόλιτρο και νανόλιτρο και να κάνουν μετρήσεις πολύ υψηλής ανάλυσης. Οι τεχνικές κατασκευής που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή συσκευών μικρορευστών είναι σχετικά φτηνές σε κόστος και γίνονται με υψηλή επεξεργασία, συσκευές πολυπλεγματικές ακόμα και σε μαζική παραγωγή. Με έναν τρόπο που μοιάζει σε αυτόν της μικροηλεκτρονικής, οι τεχνολογίες μικρορευστών κάνουν δυνατή την κατασκευή συσκευών υψηλής συσσωμάτωσης για διάφορες λειτουργίες πάνω στο ίδιο υπόστρωμα ενός τσιπ. Τα μικρορευστά είναι ένας καίριο συντελεστής στις προσπάθειες ανάπτυξης τσιπ γονιδίου και προτεΐνης.

Molecular Electronics (ME) :: Μοριακή Ηλεκτρονική (MH)

Μονά μόρια είναι ικανά να υιοθετήσουν τη λειτουργικότητα των σύγχρονων ημιαγωγικών συσκευών (π.χ. διακόπτες, δίοδοι τρανζίστορ κλπ). Η σύγχρονη ημιαγωγική τεχνολογία ίσως αντικατασταθεί από τη μοριακή ηλεκτρονική στο μέλλον. Το όφελος θα είναι μια δραματική μείωση σε μέγεθος και κατανάλωση ισχύος.

Molecular electronics :: Μοριακή ηλεκτρονική

Ένα οποιοδήποτε σύστημα με συσκευές ατομικής ακρίβειας, νανομετρικών διαστάσεων, ιδιαίτερα αν έχει γίνει από διακεκριμένα μοριακά μέρη παρά από συνεχόμενα υλικά που βρίσκονται σήμερα σε ημιαγωγικές συσκευές.

Molecular engineering, Molecular manufacturing :: Μοριακή μηχανική, μοριακή κατασκευή

Συνώνυμο για νανοτεχνολογία, η κατασκευή νέων υλικών και συσκευών με τακτοποίηση ή οικοδόμηση δομών άτομο προς άτομο ή μόριο προς μόριο.

Molecular machine :: Μοριακή μηχανή

Κάθε μηχανή με ατομικώς ακριβή μέρη νανομετρικών διαστάσεων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει μοριακούς μηχανισμούς που βρίσκονται στη φύση.

Molecular manipulator :: Μοριακός Χειριστής

Μια συσκευή που συνδυάζει έναν άμεσο μηχανισμό έρευνας για ατομικώς ακριβή προσδιορισμό θέσης με ένα σύνδεσμο μορίου στην άκρη. Μπορεί να χρησιμεύσει ως βάση για την κατασκευή σύνθετων δομών μέσω της σύνθεσης προσδιορισμού θέσης.

Molecular manufacturing :: Μοριακή Κατασκευή

Κατασκευή με τη χρήση μοριακή μηχανής, που παρέχει έλεγχο μόριο προς μόριο των προϊόντων μέσω της χημικής σύνθεσης προσδιορισμού θέσης.

Molecular medicine :: Μοριακή ιατρική

Μια ποικιλία φαρμακευτικών τεχνικών και θεραπειών σε χρήση σήμερα.

Molecular nanotechnology :: Μοριακή νανοτεχνολογία

Πλήρης ανέξοδος έλεγχος της δομής μιας ύλης που βασίζεται σε μόριο προς μόριο έλεγχο των προϊόντων και παραπροϊόντων. Τα προϊόντα και οι διαδικασίες μοριακής κατασκευής περιλαμβανομένης της μοριακή μηχανικής.

Molecular recognition :: Μοριακή αναγνώριση

Ένα χημικός όρος που αναφέρεται σε διαδικασίες στις οποίες τα μόρια προσκολλώνται με ένα πολύ συγκεκριμένο τρόπο και σχηματίζουν μια μεγαλύτερη δομή. Μια τεχνολογία που επιτρέπει την νανοτεχνολογία.

Molecular self assembly :: Μοριακή αυτοσυναρμολόγηση

Μια διαδικασία ή τεχνική που επιτρέπει τα κατασκευαστικά μόρια να συναρμολογήσουν τους εαυτούς τους με προσχεδιασμένους τρόπους.

Molecular sieve :: Μοριακός ηθμός

Πορώδεις δομές με ρυθμιζόμενο μέγεθος πόρους στη νανομετρική κλίμακα, που χρησιμοποιείται για να απορροφά τα μόρια από ένα υγρό ή ένα αέριο (βλέπε Ζεόλιθος) δείχνοντας τη βασική λειτουργία ενός νανομετρικού φίλτρου.

Molecular surgery or molecular repair :: Μοριακή χειρουργική ή μοριακή επιδιόρθωση

Ανάλυση και φυσική διόρθωση μοριακών δομών στο σώμα με τη χρήση των νανομηχανών.

Molecular systems engineering :: Μοριακά συστήματα μηχανικής

Σχεδιασμός, ανάλυση και κατασκευή συστημάτων μοριακών μερών που εργάζονται μαζί για ένα χρήσιμο σκοπό.

Molecular Wire :: Μοριακό Σύρμα

Κάποια μεμονωμένα μόρια είναι ικανά να μεταφέρουν ηλεκτρικό και επομένως αντιπροσωπεύουν τη βασική λειτουργία του σύρματος. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να κατασκευαστεί ένα ηλεκτρικό κύκλωμα νανομετρικού μεγέθους (μοριακή ηλεκτρονική).

Molecule :: Μόριο

Η μικρότερη μονάδα ενός συγκεκριμένου υλικού που αποτελείται τουλάχιστον από δυο ή περισσότερα άτομα συνδεδεμένα με χημικούς συνδέσμους. Το μέγεθός τους διαφέρει από μερικά νανόμετρα μέχρι μακροσκοπικά μεγέθη. Η τυπική μονάδα που χειραγωγείται από τη νανοτεχνολογία.

Molecule :: Μόριο

Ομάδες ατόμων που συνδέονται χημικά. Τυπική μονάδα που χειρίζεται η νανοτεχνολογία.

Monomer :: Μονομερές

Η βασική κατασκευαστική μονάδα ή υπομονάδα ενός πολυμερούς.

Moore's Law :: Ο Νόμος του Moore

Αφορά τον αυξανόμενο αριθμό των τρανζίστορ σε ενσωματωμένα κυκλώματα (όπως τα CPU των υπολογιστών) ο νόμος του Moore προβλέπει μια εκθετική ανάπτυξη, που σημαίνει το διπλασιασμό της πυκνότητας του τρανζίστορ μέσα σε δυο χρόνια.

Multiwalled nanotubes :: Νανοσωλήνες πολλαπλών τοιχωμάτων

βλέπε νανοσωλήνες

Nano :: Nانو

Ένα πρόθημα που σημαίνει ένα δισεκατομμυριοστό (1/1,000,000,000)

Nano, Nanoscale :: Nانو, νανοκλίμακα

Ένα δισεκατομμυριοστό κάποιας μονάδας

Nanocantilever :: Nانوπρόβολος

Το πιο απλό μικρο-ηλεκτρο-μηχανικό σύστημα (ΜΗΜΣ) που μπορεί εύκολα να μηχανοποιηθεί και να γίνουν μαζικές παραγωγές μέσω των ίδιων τεχνικών που χρησιμοποιούνται για τα τσιπ των υπολογιστών. Η ικανότητα ανίχνευσης εξαιρετικά μικρών εκτοπισμάτων, κάνουν της δέσμες του νανοπρόβολου μια ιδανική συσκευή για τη ανίχνευση εξαιρετικά μικρών δυνάμεων, εντάσεων και μαζών. Οι νανοπρόβολοι με επίστρωση αντισωμάτων, για παράδειγμα, θα ξεφύγουν από την προστιθέμενη μάζα όταν το υπόστρωμα δένει με το αντίσωμα του, και έτσι παρέχει έναν ανιχνευτή ικανό να αισθανθεί την παρουσία μεμονωμένων μορίων μεγάλης κλινικής σπουδαιότητας.

Nanochemistry :: Nانوχημεία

Χημεία στην κλίμακα του νανόμετρου, που χειρίζεται υπερβολικά μικρές ποσότητες υγρών (Νανόλιτρο, Φεμτόλιτρο) ή υλικών. Απαιτούνται Επιφάνειες με χαρακτηριστικά μεγέθους νανόμετρου.

Nanocomposites :: Nανοσύνθετα

Τα πολυμερή/ανόργανα νανοσύνθετα αποτελούνται από δυο ή περισσότερα, φυσικώς διαφορετικών συστατικών με ένα ή περισσότερων διαστάσεων μικρότερων των 100 νανομέτρων. Από την άποψη της δομής, ο ρόλος ανόργανου πληρωτικού, συνήθως ως σωματίδια ή ίνες, είναι να παρέχει εγγενή ισχύ και ακαμψία ενώ το πολυμερικό καλούπι μπορεί να κολλήσει και να συνδέσει το ανόργανο συστατικό έτσι ώστε οι δυνάμεις που εφαρμόζονται στο σύνθετο να μεταφέρονται ομαλά στον πληρωτή.

Nanocomputer :: Nانوϋπολογιστής

Ένας υπολογιστής με μέρη κατασκευασμένα σε μοριακή κλίμακα

Nanocrystal :: Nανοκρύσταλλο

Στερεά μεγέθους μορίου που έχουν σχηματιστεί με ένα επαναλαμβανόμενο, τρισδιάστατο πρότυπο ατόμων ή μορίων με ίσα απόσταση ανάμεσα σε κάθε μέρος. Οι νανοκρύσταλλοι

πιστεύεται ότι έχουν πιθανότητες να χρησιμοποιηθούν στην οπτική ηλεκτρονική επειδή έχουν την ικανότητα να αλλάζουν το μήκος κύματος του φωτός.

Nanoelectromechanical systems (NEMS) :: Νανοηλεκτρομηχανικά συστήματα (ΝΗΜΣ)

Μια συσκευή ενσωματωμένη, της ηλεκτρο-μηχανικής νανοκλίμακας, παρόμοια με τη ΜΗΜΣ αλλά με διαστάσεις νανόμετρου.

Nanoelectronics :: Νανοηλεκτρονική

Ηλεκτρονική σε κλίμακα νανόμετρο είτε φτιαγμένη από σύγχρονες τεχνικές ή τη νανοτεχνολογία, περιλαμβάνει και τη μοριακή ηλεκτρονική και συσκευές νανοκλίμακας που μοιάζουν με τις σημερινές ημιαγωγίμες συσκευές.

Nanofluidics :: Νανορευστότητα

Καθοδήγηση υπέρ-μικρών ποσοτήτων υγρών για χημική ανάλυση. Οι τεχνικές χημικών αντιδράσεων ή διαχωρισμού σε ένα εργαστήριο πολύ μικρών διαστάσεων, το οποίο αναφέρεται ως ένα «εργαστήριο σε μια συσκευή σε τσιπάκι».

Nanoimprinting :: Νανοαποτύπωμα

Η μεταφορά ενός πρότυπου από μια στάμπα σε μια επιφάνεια μέσω συμπίεσης. Η επιφάνεια έχει μια στρώση από θερμοπλαστικό υλικό που εφαρμόζεται με περιστροφή. Η στάμπα πατιέται πάνω στην επιφάνεια, θερμαίνεται μέχρι να μαλακώσει το θερμοπλαστικό. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας τυπώνονται οι δομές της στάμπας. Μετά από το κρύωμα, έχει μεταφερθεί το ανάποδο πρότυπο της στάμπας.

Nanoindentation :: Νανοαυλάκωση

Μέτρηση των τοπικών μηχανικών ιδιοτήτων μιας επιφάνειας. Μια μικρή πυραμίδα σχήματος διαμαντιού πιέζεται πάνω σε μια επιφάνεια γνωστού φορτίου και καταχωρημένου βάθους αυλάκωσης. Από τη δύναμη ή φορτίο και το βάθος της αυλάκωσης ορίζεται η τοπική σκληρότητα. Η αυλάκωση μπορεί να γίνει είτε με μια ΜΑΙ ή ένα ειδικά σχεδιασμένο νανοαυλακωτήρα.

Nanolithography :: Νανολιθογραφία

Η Νανολιθογραφία είναι η τέχνη και επιστήμη του ξυσίματος, γραψίματος ή τυπώματος σε νανοσκοπικό επίπεδο, όπου οι διαστάσεις των χαρακτήρων είναι της κλίμακας του νανόμετρου. Αυτό περιλαμβάνει διάφορες μεθόδους τροποποίησης των τσιπ ημιαγωγών σε

ατομικό επίπεδο για τον σκοπό της κατασκευής ενσωματωμένων κυκλωμάτων (ΕΚ). Τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται στη νανολιθογραφία περιλαμβάνουν το μικροσκόπιο σάρωσης σήραγγας ΜΣΣ) και το μικροσκόπιο ατομικής ισχύος (ΜΑΙ). Και τα δυο επιτρέπουν να έχει η επιφάνεια κάθε λεπτομέρεια χωρίς να κατ' ανάγκη μεταβληθεί. Είτε το ΕΚ ή το ΜΑΙ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ξύνουμε, να γράψουμε ή να τυπώσουμε πάνω σε μια επιφάνεια διαστάσεων μονού ατόμου.

Nanomachine :: Νανομηχανή

Μια τεχνητή μοριακή μηχανή του είδους της μοριακής κατασκευής

Nanomanufacturing :: Νανοκατασκευή

Ίδια με τη μοριακή κατασκευή

Nanometer :: Νανόμετρο

Ένα δισεκατομμυριοστό ενός μέτρου, περίπου το μέγεθος 10 ατόμων υδρογόνου ένα κοντά στο άλλο.

Nanometer :: Νανόμετρο

Το ένα δισεκατομμυριοστό ενός μέτρου (1/1,000,000,000).

Nanometer :: Νανόμετρο

Μια μονάδα μέτρησης χώρου που ισοδυναμεί με ένα δισεκατομμυριοστό (10^{-9}) ενός μέτρου. Το κεφάλι μιας καρφίτσας είναι περίπου σε μήκος 1 εκατομμύριο νανόμετρα. Μια ανθρώπινη τρίχα είναι περίπου 60,000 νανόμετρα σε διάμετρο, ενώ ένα μόριο DNA είναι φάρδους μεταξύ σε 2- 12 νανομέτρων.

Nanoparticle :: Νανοσωματίδιο

Μια σφαιρική δομή σχήματος κάψουλας της κλίμακας του νανόμετρου. Τα περισσότερα νανοσωματίδια, όχι όλα όμως, είναι κούφια. Το γεγονός αυτό παρέχει έναν κεντρικό αποθηκευτικό χώρο που μπορεί να γεμίσει με αντικαρκινικά φάρμακα, παράγοντες ανίχνευσης ή χημικά που είναι γνωστά ως αναφορές, που θα δώσουν σήμα αν ένα φάρμακο έχει θεραπευτική δράση. Η επιφάνεια ενός νανοσωματιδίου μπορεί επίσης να είναι εμπλουτισμένη με διάφορους στοχευτικούς παράγοντες, όπως αντισώματα, φάρμακα, απεικονιστικοί παράγοντες και αναφορές. Πολλά νανοσωματίδια είναι κατασκευασμένα για να είναι αρκετά μικρά να περάσουν μέσω των τριχοειδών του αίματος και να μπουν στα

κύτταρα.

Nanoscale :: Νανοκλίμακα

Αφορά το μοριακό και μακρομοριακό επίπεδο. Γενικώς, η νανοκλίμακα ορίζεται από 1 σε 100 νμ, ενώ η κλίμακα από 100 σε 1000 νμ ονομάζεται υπομικρομετρική κλίμακα.

Nanoshell :: Νανοκέλυφος (συνολο ηλεκτρονίων του αυτού κβαντικού αριθμού)

Ένα νανοσωματίδιο που αποτελείται από ένα μεταλλικό κέλυφος που περιβάλλει ένα ημιαγωγό. Όταν τα νανοκέλυφα φτάνουν ένα στοχευόμενο καρκινικό κύτταρο, μπορούν να ακτινοβοληθούν με σχεδόν υπέρυθρο φως ή να ερεθιστούν με ένα μαγνητικό πεδίο, το καθένα από τα οποία θα το προκαλέσει να γίνει θερμό και να σκοτώσει το καρκινικό κύτταρο.

Nanostructures :: Νανοδομές

Δομές με διαστάσεις μικρότερες των 1,000 νανομέτρων, η διάμετρος ενός τυπικού βιολογικού κυττάρου.

Nanosurgery :: Νανοχειρουργική

Ένας γενικός όρος που περιλαμβάνει μοριακή διόρθωση και χειρουργική κυττάρων.

Nanotechnology :: Νανοτεχνολογία

Τομείς της τεχνολογίας όπου οι διαστάσεις και οι ανοχές της κλίμακας του 0.1 νμ ως 100 νμ παίζουν καίριο ρόλο.

Nanotechnology :: Νανοτεχνολογία

Βλέπε Μοριακή νανοτεχνολογία

Nanotechnology :: Νανοτεχνολογία

Οι αλληλεπιδράσεις κυτταρικών και μοριακών συστατικών και μηχανικών υλικών – τυπικές συστάδες ατόμων, μορίων και μοριακών τμημάτων – στο πιο στοιχειώδες επίπεδο της βιολογίας. Τέτοια αντικείμενα της νανοκλίμακας – τυπικά αλλά όχι αποκλειστικά, με διαστάσεις μικρότερες 100 νανομέτρων – μπορούν να είναι χρήσιμα από μόνα τους ή ως μέρος μεγαλύτερων συσκευών που θα περιέχουν πολλαπλές νανοσυσκευές.

Nanotubes :: Νανοσωλήνες

Κυλινδρικό μόριο που μοιάζει με σωλήνα, από φύλλα γραφίτη. Είναι ιδιαίτερα ανθεκτικά υλικά και έχουν καλή αγωγιμότητα στη θερμοκρασία. Οι νανοσωλήνες είναι ιδιαίτερα λεπτός (η διάμετρός τους είναι περίπου 10,000 φορές μικρότερη από μια ανθρώπινη τρίχα). Μια μονότοιχη νανοσωλήνα ΜΤΝΣ) αποτελείται από ένα φύλλο γραφίτη, ο ομόκεντρος σχηματισμός περισσοτέρων του ενός φύλλων ονομάζεται πολύτοιχη νανοσωλήνα (ΠΤΝΣ).

Nanotubes :: Νανοσωλήνες

Δομές με διάμετρο περίπου ενός νανομέτρου ή ενός δεκαχιλιοστού της ανθρώπινης τρίχας. Ερευνητές έχουν αναπτύξει νανοσωλήνες άνθρακα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δομικά υλικά, ηλεκτρονικά συστατικά και συστήματα παράδοσης φαρμάκων.

Nanowire :: Νανοςύρμα

Ένα σύρμα της κλίμακας του νανόμετρου φτιαγμένο από μεταλλικά άτομα, σιλικόνη ή άλλα υλικά που διοχετεύουν ηλεκτρικό. Τα νανοςύρματα κατασκευάζονται άτομο προς άτομο πάνω σε μια στερεή επιφάνεια, συχνά μέρος μιας συσκευής μικρορευστών. Μπορεί να έχουν επένδυση από μόρια όπως τα αντισώματα που θα συνδέουν προτεΐνες και άλλες ουσίες που ενδιαφέρουν τους ερευνητές και τους κλινικούς ιατρούς. Από την ίδια τη φύση του μεγέθους τους της νανοκλίμακας, τα νανοςύρματα είναι απίστευτα ευαίσθητα σε τέτοιους συνδέσμους και ανταποκρίνονται μεταλλάσσοντας το ηλεκτρικό ρεύμα που ρέει μέσω αυτών και έτσι μπορούν να σχηματίσουν τη βάση υπερευαίσθητων μοριακών ανιχνευτών.

nm :: νμ

Συντομογραφία για μανόμετρο, που είναι ένα δισεκατομμυριοστό ενός μέτρου (1/1,000,000,000).

Nucleus :: Πυρήνας

Το θετικά φορτισμένο κέντρο ενός ατόμου, ένα αντικείμενο 0.00001 ατομικών διαμέτρων που περιέχει > 99.9% της ατομικής μάζας. Οι πυρηνικές θέσεις ορίζουν τις ατομικές θέσεις.

OLED, Organic Light Emitting Diode :: Δίοδος που Εκπέμπει Οργανικό Φως ΔΕΟΦ

Ένα φως που εκπέμπει παρόμοια με μια ΔΕΦ, αλλά οι ημιαγωγοί έχουν αντικατασταθεί από μια στοιβάδα οργανικών λεππών φιλμ. Τα οργανικά μόρια εκπέμπουν φως όταν εφαρμόζεται ένα ρεύμα. Αντίθετα από τη ΔΕΦ η τεχνολογία της ΔΕΟΦ παρέχει τη

δυνατότητα παραγωγής απεικονίσεων υψηλής ευκρίνειας. Απεικονίσεις βασισμένες σε ΔΕΟΦ είναι γρηγορότερες, φωτεινότερες, λαμπρότερες και φτηνότερες από τις κοινές απεικονίσεις ΑΥΚ.

Peptide :: Πεπτίδιο

Κάθε ένα από τα διάφορα φυσικά ή συνθετικά συστατικά που περιέχει δυο ή περισσότερα αμινοξέα που συνδέονται από την ομάδα καρβοξυλίου ενός αμινοξέως στην αμινο-ομάδα άλλου.

Photolithography :: Φωτολιθογραφία

Η πιο κοινή κατασκευαστική μέθοδος. Η τοποθέτηση μιας ελαφριάς ευαίσθητης στρώσης πάνω π.χ. σε ένα πλακίδιο σιλικόνης. Φωτίζοντας αυτή τη στρώση μέσω μιας μάσκας και αναπτύσσοντας την κατασκευή ως το τελικό σημείο, το αποτέλεσμα μπορεί να είναι οι δομές της χρησιμοποιούμενης μάσκας ή το αντίθετο, για μια αντοχή θετική ή αρνητική αντίστοιχα.

Photonic crystal :: Φωτονικό Κρύσταλλο

Ένα υλικό με περιοδικά ανοίγματα ή διαφοροποιήσεις στη διηλεκτρική σταθερά στην κλίμακα του μήκους κύματος του φωτός. Η εξάπλωση του φωτός ενός συγκεκριμένου μήκους κύματος απαγορεύεται και έχει ως αποτέλεσμα μια φωτονική λωρίδα κενού διαστήματος, που μοιάζει με τις ηλεκτρικές ιδιότητες ενός ημιαγωγού. Τα φωτονικά κρύσταλλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αισθητήρες, ως αγωγούς φωτός ή ως οπτικούς διακόπτες σε ηλεκτρονική επικοινωνία.

Physical Vapor Deposition (PVD) :: Φυσική Απόθεση Ατμού (ΦΑΑ)

Μέθοδος επίστρωσης κάποιου υλικού πάνω σε μια επιφάνεια. Οι πιο κοινές μέθοδοι είναι η εξάτμιση ή την επιμετάλλωση. Η εξάτμιση πραγματοποιείται σε ένα χώρο κενό αέρος στο οποίο η εξάτμιση γίνεται θερμαίνοντας το πιο πάνω υλικό σε σημείο λιώσιματος. Η επιμετάλλωση γίνεται με ένα πλάσμα αερίου. Τα ιόντα από το πλάσμα επιταχύνονται προς την επιφάνεια στόχος, αφήνοντας άτομα από τον στόχο, που πηζουν στην επιφάνεια δείγμα (και οπουδήποτε αλλού). Το πλεονέκτημα της επιμετάλλωσης είναι

Picometer :: Πικόμετρο

Ένα τρισεκατομμυριοστό ενός μέτρου (1/1,000,000,000,000)

Plasma :: Πλάσμα

Η τέταρτη κατάσταση συσσωμάτωσης της ύλης (θερμικό πλάσμα). Πέρα από την κατάσταση αερίου, τουλάχιστον ένας σημαντικός αριθμός ατόμων είναι ιονισμένα. Ένα πλάσμα συνίσταται από άτομα, ιόντα και ηλεκτρόνια, αλλά η συνολική τιμή είναι μηδέν (σχεδόν-ουδέτερη). Αυτή είναι η πιο κοινή κατάσταση της ύλης στο σύμπαν.

Polariser :: Πολωτής

Ένας μηχανισμός που χρησιμοποιείται για να πολώσει το φως π.χ. ένα λεπτό διαβιβάσιμο φιλμ διχροϊκού υλικού για να δημιουργηθεί επίπεδο πολωμένο φως.

Positional synthesis :: Σύνθεση προσδιορισμού θέσης

Έλεγχος χημικών αντιδράσεων με ακριβή προσδιορισμό θέσης των αντιδραστικών μορίων. Η βασική αρχή των συναρμολογητών.

Protein design, protein engineering :: Σχεδιασμός προτεΐνης, μηχανικής προτεΐνης

Ο Σχεδιασμός και η κατασκευή νέων προτεΐνων. Μια επιτρεπτική τεχνολογία για τη νανοτεχνολογία.

Proteins :: Πρωτεΐνες

Τα χημικά κατασκευαστικά υλικά από τα οποία είναι φτιαγμένα τα κύτταρά μας, τα όργανά μας και οι ιστοί μας όπως οι μύες. Οι πρωτεΐνες χρησιμεύουν επίσης σε διπλή υπηρεσία ως ορμόνες, ένζυμα και αντισώματα που βοηθούν τα σώματά μας να πολεμήσουν τα εισβάλλοντα μικρόβια. Οι πρωτεΐνες είναι φτιαγμένες από μεγάλες αυσίδες μικρότερων υλικών που ονομάζονται αμινοξέα. Τα αμινοξέα ορίζουν το μέγεθος, το σχήμα και το μήκος των μορίων των πρωτεΐνων. Επίσης τους δίνουν την παράξενη ικανότητα να τυλίγονται και να ξετυλίγονται σαν μικρά, κυτταρικά φίδια.

Proximal probes :: Άμεσα ερευνητικά εργαλεία

Μια οικογένεια συσκευών ικανών για ακριβείς προσδιορισμούς θέσης ελέγχου και αίσθησης, περιλαμβανομένων και των μικροσκοπιών σάρωσης σήραγγας και ατομικής ισχύος. Μια επιτρεπτική τεχνολογία για νανοτεχνολογία.

Quantum Computation :: Κβαντικός Υπολογισμός

Ο Υπολογισμός αξιοποιεί τους νόμους της κβαντικής μηχανικής. Ένας κβαντικός υπολογιστής επεκτείνει τον κοινό υπολογισμό που βασίζεται σε ένα δυαδικό σύστημα (0 και

1) σύμφωνα με την αρχή της υπερ-τοποθέτησης. Προβλέπεται μια πιο γρήγορη και πιο παράλληλη επεξεργασία δεδομένων.

Quantum dot (Qdots) :: Κβαντικές κουκίδες (Qdots)

Ημιαγωγικά σωματίδια της κλίμακας του νανόμετρου φτιαγμένα από κάδμιο σελήνιο (CdSe), κάδμιο θεικό (CdS) και κάδμιο τελλουρικό (CdTe) με μια αδρανή πολυμερική επένδυση. Το ημιαγωγικό υλικό που χρησιμοποιείται για τον πυρήνα επιλέγεται βάσει της εκπομπής μιας γκάμας μήκων κυμάτων που στοχεύουν: CdS για μπλε-UV, CdSe για τον όγκο του ορατού φάσματος. CdTe για το μακρινό ερυθρό και το κοντινό υπέρυθρο με το μέγεθος του σωματιδίου που ορίζει το ακριβές χρώμα μιας ορισμένης κβαντικής κουκίδας. Η πολυμερής επένδυση προφυλάσσει τα κύτταρα από την τοξικότητα του καδμίου αλλά έχει και τη δυνατότητα να επιτεθεί κατά μιας σειράς στοχευτικών μορίων, περιλαμβανομένων των μονοκλωνικών αντισωμάτων που κατευθύνονται στους ειδικούς βιοκατασκευαστές όγκων. Εξαιτίας του μικρού τους μεγέθους, οι κβαντικές κουκίδες μπορούν να λειτουργήσουν σαν ειδικοί σημειωτές κυττάρων - ακόμα και μορίων – που δεν θα παρέμβουν στην κανονική εργασία ενός κυττάρου. Επιπλέον η διαθεσιμότητα κβαντικών κουκίδων διαφόρων χρωμάτων παρέχει ένα ισχυρό εργαλείο για την παρακολούθηση της δράσης πολλών κυττάρων και μορίων ταυτόχρονα.

Τον Αύγουστο του 2004, ερευνητές ανακοίνωσαν την επιτυχή ετοιμασία υδατοδιαλυόμενων χρυσών κβαντικών κουκίδων που μπορούν να κατασκευαστούν και για να εκπέμπουν φως σε μια ποικιλία μήκων κύματος. Αυτές οι επενδυμένες με πολυμερές υλικό, κβαντικές κουκίδες μπορεί να αποδειχτούν πιο κατάλληλες για τη χρήση σε ανθρώπινες κλινικές εφαρμογές.

Quantum dot :: Κβαντική κουκίδα

Μια κουκίδα με μια επέκταση αρκετών νανομέτρων κατασκευασμένη από μεταλλικό ή ημιαγωγικό υλικό που περιγράφει ένα σχεδόν μηδέν διαστάσεων αντικείμενο. Αυτές οι κβαντικές κουκίδες έχουν μοναδικές ηλεκτρικές ιδιότητες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αποθηκεύσουν ηλεκτρόνια για παράδειγμα, ή να μεταβάλλουν το χρώμα του φωτός. Η κβαντική κουκίδα θεωρείται ότι έχει μεγαλύτερη ευκαμψία από άλλα φθορίζοντα υλικά, που την κάνει ικανή να χρησιμοποιηθεί στην επεξεργασία πληροφορίας. Είναι φτιαγμένες από πολλά και διάφορα συστατικά όπως το κάδμιο σελήνιο.

Quantum Well :: Κβαντική Πηγή

Μια θεωρητική έννοια για την κατανόηση της διάδοσης και τη συμπεριφορά της κβαντικής μηχανικής ενέργειας των συνδεδεμένων συστημάτων της νανοκλίμακας (π.χ. επίπεδα ενέργειας συνδεδεμένων ηλεκτρονίων, επίδραση σήραγγας).

Quantum Wire :: Κβαντικό Σύρμα

Ένα αγώγιμο σύρμα της νανοκλίμακας που μοιάζει σε σχεδόν μονοδιάστατο αντικείμενο με διαφορετικές ηλεκτρικές ιδιότητες από αυτές των μακροσκοπικών συρμάτων.

Qubit (Quantum bit) :: Qubit (Κβαντική ελάχιστη μονάδα)

Η μικρότερη μονάδα πληροφόρησης στην κβαντική υπολογιστική. Προέρχεται από το δυαδικό ψηφίο «μπιτ»

Replicator :: Κατασκευαστής πανομοιούτων

Ένα σύστημα ικανό να κατασκευάζει αντίγραφα του εαυτού του όταν προμηθεύεται με πρώτες ύλες και ενέργεια.

Resist :: Αντίσταση

Μια ουσία που προστατεύει μια επιφάνεια κατά συγκεκριμένων χημικών αντιδράσεων. Κοινή χρήση της είναι να προστατεύει επιλεκτικά μια υπο-στρώση από ξύσιμο.

Ribosome :: Ριβόσωμα

Μια φυσική μοριακή μηχανή που παράγει πρωτεΐνες σύμφωνα με τις οδηγίες που παρέχονται από τα γονίδια των κυττάρων

Scanning Capacitance Microscopy (SCM) :: Μικροσκοπία με Χωρητικότητα Σάρωσης (ΜΧΣ)

Διακριτός τρόπος χρήσης μιας ΜΑΙ, όπου καταχωρούνται οι τοπικές διαφορές στην ικανότητα επιφάνειας. Σαρώνεται σε ένα ορισμένο ύψος με προσαρμοσμένο βολτάζ που εφαρμόζεται ταυτόχρονα.

Scanning Electron Microscopy (SEM) :: Μικροσκοπία με Σάρωση Ηλεκτρονίου (ΜΣΗ)

Μια εστιασμένη δέσμη ηλεκτρονίου σαρώνει την υπό εξέταση περιοχή. Τα ηλεκτρόνια αλληλεπιδρούν με τα άτομα της επιφάνειας με αποτέλεσμα διασκορπισμένα ηλεκτρόνια, δευτερεύοντα ηλεκτρόνια, και ακτίνες Χ. Παρέχονται κυρίως τοπογραφικές πληροφορίες

από τα δευτερεύοντα ηλεκτρόνια ενώ χημικές πληροφορίες μπορούν να ληφθούν από τις ακτίνες Χ. Για να αποφευχθούν τοπικές επιδράσεις φόρτισης απαιτείται ένα δείγμα. Στην περίπτωση μόνωσης δειγμάτων, αρχικά εξατμίζεται μια λεπτή στρώση χρυσού ή άνθρακα.

Scanning force microscopy (SFM) :: Μικροσκοπία σαρωτικής ισχύος (ΜΣΙ)

Συνώνυμο του ΜΑΙ

Scanning Near Field Optical Microscopy (SNOM) :: Μικροσκοπία Σάρωσης Οπτικού Τομέα (ΜΣΟΤ)

Μικροσκόπιο με σάρωση όπου χρησιμοποιείται φως για την απόκτηση τοπικής πληροφορίας σχετικά με την τοπογραφία και με οπτικές ιδιότητες. Στη συμβατική μικροσκοπία φωτός η ευκρίνεια είναι περιορισμένη στο μισό του μήκους κύματος του περιστασιακού φωτός. Για να περιττειχιστεί αυτός ο οπτικός περιορισμός (φευγαλέος τομέας) χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με πηγή φωτός της νανοκλίμακας (π. χ. στένεμα ιστού).

Scanning probe microscope :: Μικροσκοπία μέσω σάρωσης

Ένας όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει φασματοσκόπια και μικροσκόπια ατομικής ευκρίνειας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή εικόνων πάνω σε δομές επιφανειών, όπως το μικροσκόπιο σάρωσης σήραγγας, για την ανάλυση των ταυτοτήτων των μορίων και των ατόμων πάνω σε επιφάνειες, ή για τον χειρισμό ατόμων μέσα σε δομές, ένα άτομο τη φορά.

Scanning probe microscopy (SPM) :: Μικροσκοπία με σαρωτικό ερευνητικό εργαλείο (ΜΣΕ)

Γενικό όνομα για διάφορα σαρωτικά μικροσκόπια όπου ένα τοπικό εργαλείο συλλέγει πληροφορίες επιφάνειας ή σχετικές με την τοπογραφία μέσω μια συγκεκριμένης αλληλεπίδρασης ανάμεσα αυτού του εργαλείου και της επιφάνειας υπό εξέταση. Αυτή η αλληλεπίδραση μπορεί να είναι ΕΚ ή η δύναμη της πρόληψης της υπέρβασης μιας ταλάντευσης στην περίπτωση του παραδείγματος μίας ΜΑΙ.

Scanning probe nanolithography (SPN) :: Νανολιθογραφία μέσω σάρωσης (ΝΜΣ)

Γενικό όνομα για τεχνικές λιθογραφίας που βασίζονται σε σαρωτικά μικροσκόπια. Αυτό μπορεί να είναι ένα μικροσκόπιο σάρωσης σήραγγας (ΜΣΣ) και η σχετική λιθογραφία βασίζεται σε ένα βολτάζ με δονητική πόλωση ή ένα μικροσκόπιο ατομικής ισχύος (ΜΑΙ) συνδυασμένο με ισχύ ή βολτάζ που βασίζεται για παράδειγμα, σε τεχνική που μεταβάλλει την επιφάνεια.

Scanning Thermal Microscope :: Μικροσκόπιο θερμικής σάρωσης

Βασικά ένα μικροσκόπιο ατομικής ισχύς με ένα ενσωματωμένο θερμικό αισθητήρα για ανίχνευση τοπικών αλλαγών στις θερμικές ιδιότητες (αγωγιμότητα θερμική).

Scanning tunneling microscope :: Μικροσκοπία σάρωσης σήραγγας

Ένας τύπος μικροσκοπίου ατομικής ακρίβειας στο οποίο τα ηλεκτρόνια κάνουν «σήραγγα» ανάμεσα στην άκρη και την επιφάνεια των μικροσκοπίων, επιτρέποντας την κατασκευή ατομικών ή μοριακών τοπίων.

Scanning tunneling microscope (STM) :: Μικροσκοπία σάρωσης σήραγγας (ΜΣΣ)

Ένα εργαλείο ικανό να απεικονίσει αγώγιμη επιφάνεια με ατομική ακρίβεια. Έχει χρησιμοποιηθεί για να στερεώσει μόρια σε μια επιφάνεια.

Scanning Tunneling Microscope (STM) :: Μικροσκόπιο σάρωσης σήραγγας (ΜΣΣ)

Μια ερευνητική τεχνική σάρωσης όπου ένα τοπικό μεταλλικό εργαλείο σαρώνει μια αγώγιμη επιφάνεια. Η τοπογραφική πληροφορία συνάγεται από το ρεύμα σήραγγας που ρέει ανάμεσα στο εργαλείο και το δείγμα χωρίς μηχανική επαφή. Το σύνολο των κβαντικών ηλεκτρονίων ή θάλαμοι ιονισμού που περιβάλλουν τα άτομα στην επιφάνεια παράγουν ανωμαλίες που ανιχνεύονται από το ερευνητικό εργαλείο και χαρτογραφούνται μέσω ενός υπολογιστή μέσα σε μια εικόνα.

Sealed assembler lab :: Εργαστήριο σφραγισμένου συναρμολογητή

Ένα σύστημα συναρμολογητού γενικής χρήσης, μέσα σε ένα δοχείο που επιτρέπει μόνο την ανταλλαγή ενέργειας και πληροφορίας με το περιβάλλον.

Self-Assembly :: Αυτο-Συγκέντρωση

Συναρμολογημένες Μονοστρώσεις (ΑΣΜ). Παρότι ο όρος Αυτο-Συναρμολόγηση και ο Αυτο-Οργάνωση είναι πολύ όμοιοι, συνήθως χρησιμοποιείται ο όρος Αυτο-Συναρμολόγηση για συστήματα όπου υπάρχουν ισοσθενείς σύνδεσμοί ενώ ο όρος Αυτο-Οργάνωση ταιριάζει σε συστήματα που αλληλεπιδρούν αδύναμα, αφού βρίσκονται, για παράδειγμα, σε βιολογικά συστήματα.

Self-Organisation :: Αυτο-Οργάνωση

Γενικός όρος για συστήματα που αλληλεπιδρούν αδύναμα, όπου η τάξη αυξάνεται

αυθόρμητα (οι λεγόμενες διαλυτικές δομές). Ένα παράδειγμα είναι τα βιολογικά συστήματα όπου οι σύνθετες και τακτικές δομές σχηματίζονται από συγκριτικά απλά κατασκευαστικά μόρια (π.χ. λιπίδια σε κυτταρικές μεμβράνες). Βλέπε επίσης Αυτο-Συναρμολόγηση.

Semiconductor :: Ημιαγωγός

Ένας ημιαγωγός είναι μια ουσία, συνήθως ένα στερεό χημικό στοιχείο ή συστατικό, που έχει μια αγωγιμότητα ανάμεσα σε μέταλλο και ένα μονωτή (π.χ. Σιλικόνη, Γερμάνιο). Η αγωγιμότητά του είναι ρυθμιζόμενη (πρόσμειξη) και τον κάνει ένα καλό μέσο για τον έλεγχο του ηλεκτρικού ρεύματος.

Silicon nano-sensors :: NANO-ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ ΠΥΡΙΤΙΟΥ

Οι νανο-αισθητήρες πυριτίου προσφέρουν μοναδικά πλεονεκτήματα σχετικά με τους αισθητήρες πυριτίου συμβατικής τεχνολογίας που βασίζονται κυρίως σε διαδικασίες μικρο-μηχανικής (επιφανειακής ή όγκου).

SIMS (Secondary Ion Mass Spectrometry) :: ΦΜΔΙ (Φασματομετρία Μάζας Δευτερευόντων Ιόντων)

Χημικά ανάλυση επιφανειών μέσω ταυτοποίησης των μαζών των απορριφθέντων ιόντων. Η απόρριψη πραγματοποιείται με μια εστιασμένη δέσμη ιόντων (π.χ. Ar) και η ανίχνευση γίνεται μέσω ενός φασματόμετρου μάζας, ενώ θετικά ή αρνητικά δευτερεύοντα ιόντα μπορούν να συλλεχθούν σε δυο στάδια. Περιγράμματα βάθους μπορούν να αποκτηθούν μέσω μιας εκβολής σε μεγαλύτερο χρόνο και ή μέσω μιας υψηλότερης βομβαρδιστικής ενέργειας.

Single-walled carbon nanotubes (SWNT) :: Μονότοιχοι Νανοσωήνες άνθρακα (MNA)

βλέπε νανοσωλήνες

Smart materials and products :: Έξυπνα υλικά και προϊόντα

Εδώ, υλικά και προϊόντα ικανά μιας σχετικά σύνθετης συμπεριφοράς εξαιτίας της ενσωμάτωσης νανουπολογιστών και νανομηχανών. Χρησιμοποιείται επίσης και για προϊόντα που έχουν κάποια ικανότητας να ανταποκριθούν στο περιβάλλον.

Soft lithography :: Ελαφριά Λιθογραφία

Γενικός όρος για μια τάξη λιθογραφικών τεχνικών για την παραγωγή δομών στην μικροσκοπική και νανοσκοπική κλίμακα. Η πιο κοινή μέθοδος είναι το Μικροεπαφικό

Τύπωμα (μΕΤ), Μικροκαλούπωμα σε Τριχοειδή (ΜΙΚΣΤ), Μικρομεταφορά Καλούπωματος (ΜΚ) και Πανομοιότυπο Καλούπωμα. Όλες οι τεχνικές χρησιμοποιούν μια στάμπα φτιαγμένη από Πολυδιμεθύλιο και οργανική ένωση Πυριτίου PDMS για την μεταφορά της δομής, στην περίπτωση του μΕΤ, η στάμπα βρέχεται από ένα μελάνι που δημιουργεί μια αυτο-συναρμολογούμενη μονοστρώση όταν πιεστεί πάνω σε μια επιφάνεια δείγματος. Σε ένα τελικό βήμα, αυτή η δομημένη μονοστρώση χρησιμοποιείται ως αντίσταση κατά του ξυσίματος. Με αυτή τη μέθοδο μπορούν να παραχθούν δομές αρκετών 10 νμ πλάτους.

Spin coating :: Επικάλυψη με στροφοδίνη

Μια μέθοδος επικάλυψης με ορισμένο πάχος σε τεράστια κλίμακα (από μερικά νανόμετρα μέχρι χιλιοστά του μέτρου). Το υλικό επικάλυψης διαλύεται σε ένα διαλυτικό και στάζεται πάνω στην επιφάνεια η οποία έχει μονταριστεί πάνω σε μια πλάκα στροφοδίνης. Το διαλυτικό εξατμίζεται και πάνω στην επιφάνεια μένει μια ομοιογενή στρώση. Το πάχος της επικάλυψης ρυθμίζεται από την ταχύτητα της στροφοδίνης, το χρόνο της και το ιξώδες του υγρού.

SQUID (Superconducting Quantum Interference Device) :: Μηχανισμός

Υπεραγωγικής Κβαντικής Παρέμβασης (ΜΥΚΠ)

Ανίχνευση υπερ-μικρών αλλαγών σε μαγνητικά πεδία. Ένας ΜΥΚΠ είναι φτιαγμένος από μια ή περισσότερες συνενώσεις Josephson με τη χρήση μιας λεπτής κβαντικής μηχανικής επίδρασης πάνω στο υπερ-ρεύμα ή τη σήραγγα όπου το ρεύμα ρέει ανάμεσα στους δυο υπεραγωγούς στην παρουσία ενός εξωτερικού μαγνητικού πεδίου. Ένας ΜΥΚΠ είναι ικανός να ανιχνεύσει μια αλλαγή στο μαγνητικό πεδίο της τάξης του fT (femtotesla) που είναι πολύ μικρότερο από το μαγνητικό πεδίο της γης. Τα ΜΥΚΠ χρησιμοποιούνται για να μετρηθούν για παράδειγμα, τα μαγνητικά πεδία των εγκεφάλων των θηλαστικών. Βλέπε επίσης την «επίδραση Josephson».

Star Trek scenario :: Σενάριο Σταρ Τρεκ

Κάποιος κατασκευάζει τυχόν επικίνδυνες αυτο-αντιγράφοντες συσκευές που απλώνονται καταστροφικά.

Substrate :: Υπόστρωμα

Ένας μεταφορές στερεού υλικού όπου μπορεί να προσροφήξει άλλο υλικό ή μπορούν να γίνουν αντιδράσεις επιφανείας.

Superconductor :: Υπεραγωγός

Ένα υλικό που μεταφέρει ηλεκτρικό χωρίς απώλεια κάτω από μια συγκεκριμένη θερμοκρασία. Σ' αυτή τη λεγόμενη καίρια θερμοκρασία, η ηλεκτρική αντίσταση πέφτει στο μηδέν. Συνήθως, η καίρια θερμοκρασία είναι κάτω από τους 250 βαθμούς εκατονταβαθμίου και απαιτείται μια τεράστια ικανότητα ψύξης. Ορισμένα υλικά επιδεικνύουν υπεραγωγιμότητα σε υψηλές θερμοκρασίες (Υπεραγωγοί Υψηλών Θερμοκρασιών, ΥΥΘ) και μπορεί να είναι χρήσιμα για μελλοντικές εξελίξεις και εφαρμογές.

Superlattices :: Υπερ-δουκτιωτά

Η επιφάνεια που τα άτομα ενός κρυστάλλου μπορούν να αναδιατάξουν αυθόρμητα με μια διαφορετική συμμετρία από αυτή του όγκου της δομής. Αυτή η διαδικασία ανακατασκευής προκαλείται από την ελεύθερη ενέργεια της επιφάνειας. Έχουμε ένα παράδειγμα στις επιφάνειες της σιλικόνης που ονομάζονται Si(111) 7x7. Η ανακατασκευή εξαρτάται από τον κρυσταλλογραφικό προσανατολισμό (εδώ υποδηλώνεται ως 111 και η συμμετρία της υπερ-δομής δίνεται από τα δυο ψηφία που ακολουθούν). Τα υπερ-δουκτιωτά αναφέρονται καμιά φορά και ως υπερ-δομές.

Superposition (quantum mechanical) :: Υπερτοποθέτηση (κβαντική μηχανική)

Μια αρχή της κβαντικής μηχανικής. Ένα αντικείμενο σε μια μοριακή ή ατομική κλίμακα μπορεί να είναι ταυτόχρονα σε δυο ή περισσότερες καταστάσεις. Το αντικείμενο μπορεί να είναι στην κατάσταση A και στην κατάσταση B, παρά στην κατάσταση A ή B, για παράδειγμα, ενώ A και B μπορεί να είναι η ενέργεια ή τοποθεσία κλπ. Όταν μετρείται η ενέργεια ή η τοποθεσία, το σύστημα πρέπει να επιλέξει την κατάσταση A ή B ανάλογα με την πιθανότητά τους.

Surface tension :: Πίεση επιφάνειας

Η αναλογία της εργασίας που χρειάζεται για την αύξηση της περιοχής της επιφάνειας ενός υγρού και την ίδια την περιοχή της επιφάνειας. Τα μόρια στη στρώση της επιφάνειας έλκουν το ένα το άλλο και επιφέρουν το φαινόμενο της επιφανειακής πίεσης. Η εργασία πρέπει να γίνει κατά αυτών των δυνάμεων έλξης για την αύξηση της περιοχής της επιφάνειας. Από την άλλη πλευρά η ενέργεια χειρός ή εργασία απελευθερώνεται όταν η περιοχή της επιφάνειας μειώνεται. Αφού η σφαίρα έχει τη μικρότερη περιοχή για ένα στερεωμένο όγκο, όλα τα σταγονίδια τείνουν να είναι στρογγυλά.

Surfactant :: Επιδερμική Δραστικότητα

Ένας παράγων που δρα στην επιφάνεια. Προσροφούνται εύκολα πάνω σε επιφάνειες και στην περίπτωση ενός υγρού ως υπόστρωμα, μειώνουν την πίεση της επιφάνειας. Τα απορρυπαντικά και οι παράγοντες καθαρισμού είναι εξέχοντα παραδείγματα. Μειώνουν την πίεση της επιφάνειας του νερού επιφέροντας καλύτερη ικανότητα καθαρισμού ή ιδιότητα βρεξίματος.

Van der Waals forces :: Δυνάμεις Van der Waals

Δυνάμεις έλξης ή απώθησης ανάμεσα σε ουδέτερα άτομα και μόρια. Μπορούν να διαιρεθούν σε δυνάμεις ανάμεσα σε σωματίδια με και χωρίς μόνιμα δίπολα. Τα άτομα και τα μόρια χωρίς μόνιμη δίπολη ροπή έλκουν το ένα το άλλο μέσω κυμαινόμενες δίπολες ροπές (δυνάμεις σκεδασμού ή δυνάμεις σκεδασμού London). Οι δυνάμεις Van der Waals ανάμεσα σε σωματίδια με μόνιμη δίπολη ροπή μπορεί να είναι είτε έλξης είτε απώθησης. Πήραν το όνομα του J.D. van der Waals, το 1837-1923.

Virtual reality system :: Σύστημα Εικονικής Πραγματικότητας

Ένας συνδυασμός υπολογιστού και διασυνδεδεμένες διατάξεις μηχανισμών (Ματογυάλια, γάντια κλπ) που παρουσιάζει έναν χρήστη με την ψευδαίσθηση ότι είναι σε έναν τρισδιάστατο κόσμο αντικειμένων που δημιουργήθηκαν από υπολογιστή.

Virus :: Ιός

Ένα παράσιτο (που αποτελείται αρχικά από γενετικό υλικό) που εισβάλλει τα κύτταρα και παίρνει τον έλεγχο της μοριακής τους μηχανικής με σκοπό να αναπαραχθεί.

XPS (x-ray photoelectron or photoemission spectroscopy) :: Φασματοσκοπία με ακτίνες X φωτοηλεκτρονίου ή φωτοεκπομπής (ΧΦΦ)

Η εξέταση των ηλεκτρονίων που εκπέμπονται από μια επιφάνεια δείγματος μέσω φωτισμού με ακτίνες X (επίδραση φωτοηλεκτρική). Η ΧΦΦ παρέχει χημικές πληροφορίες μέσω της κινητικής ενέργειας των ανιχνευμένων ηλεκτρονίων και πληροφορίες σχετικά με τη χημική ένωση που ενέχεται. Μπορεί να επιτευχθεί πλάγια ευκρίνεια μέσω μια πηγή σάρωσης ακτινών X. Η Φασματογραφία ηλεκτρονίου για χημική ανάλυση (ΦΗΧΑ) είναι συνώνυμη της ΧΦΦ.