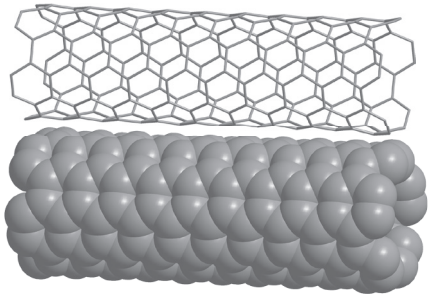
ΕΠΙΔΡΑΣΗ 24 **...ΣΤΗ ΝΑΝΟΕΠΙΣΤΗΜΗ: Νανοσύρματα**

Η έρευνα σε υλικά νανομεγέθους άρχεται από την πιθανότητα ότι θα αποτελέσουν τη βάση για φτηνότερες και μικρότερες ηλεκτρονικές συσκευές. Η σύνθεση *νανοσυρμάτων*, ατομικών συσσωρεύσεων νανομεγέθους που άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα, αποτελεί μεγάλο βήμα στην κατασκευή νανοσυσκευών. Ένας σημαντικός τύπος νανοσύρματος βασίζεται σε νανοσωλήνες άνθρακα, οι οποίοι, όπως και ο γραφίτης, μπορούν να άγουν ηλεκτρόνια μέσω απεντοπισμένων μοριακών τροχιακών π που σχηματίζονται από μη υβριδισμένα τροχιακά 2p στον άνθρακα. Πρόσφατες μελέτες έδειξαν μια συσχέτιση μεταξύ της δομής και της αγωγιμότητας σε νανοσωλήνες μονού τοιχώματος (SWNT) που δεν εμφανίζεται στον γραφίτη. Ο SWNT του Σχ. 1 είναι ημιαγωγός. Αν τα εξάγωνα περιστραφούν κατά 90° γύρω από τον έκτης τάξης άξονά τους, ο SWNT που προκύπτει είναι μεταλλικός αγωγός.

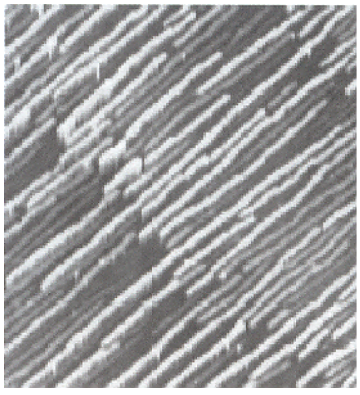
Οι νανοσωλήνες άνθρακα είναι ελπιδοφόρες δομικές μονάδες όχι μόνο γιατί έχουν χρήσιμες ηλεκτρικές ιδιότητες αλλά επίσης διότι έχουν ασυνήθιστες μηχανικές ιδιότητες. Παραδείγματος χάριν, ένας SWNT έχει μέτρο ελαστικότητας του Young περίπου πέντε φορές μεγαλύτερο και αντοχή εφελκυσμού περίπου 375 φορές μεγαλύτερη από εκείνη του ατσαλιού.

Οι νανοσωλήνες πυριτίου μπορούν να κατασκευαστούν με εστίαση μιας δέσμης παλμικού λέιζερ πάνω σε έναν μεταλλικό στόχο που αποτελείται από πυρίτιο και σίδηρο. Το λέιζερ εκδιώκει άτομα Fe και Si από την επιφάνεια του στόχου, σχηματίζοντας ατμούς που μπορούν να συμπυκνωθούν προς υγρά νανοσυσσωματώματα $FeSi_n$ σε αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες. Το διάγραμμα φάσεων για αυτό το σύνθετο μείγμα δείχνει ότι στερεό πυρίτιο και υγρό $FeSi_n$ συνυπάρχουν σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 1473 K. Είναι λοιπόν δυνατόν να καταβυθιστεί το στερεό πυρίτιο από το μείγμα αν οι πειραματικές συνθήκες ελεγχθούν έτσι ώστε τα νανοσυσσωματώματα $FeSi_n$ να διατηρηθούν σε υγρή κατάσταση υπέρκορη σε πυρίτιο. Έχει παρατηρηθεί ότι το ίζημα πυριτίου αποτελείται από νανοσύρματα με διαμέτρους περίπου 10 nm και μήκη μεγαλύτερα του 1 μm.

Νανοσύρματα κατασκευάζονται επίσης με *επίταξη μοριακών δεσμών* (molecular beam epitaxy, MBE), κατά την οποία αέρια άτομα ή μόρια ψεκάζονται πάνω σε κρυστάλλινη επιφάνεια σε έναν θάλαμο υπερυψηλού κενού. Το αποτέλεσμα είναι ο σχηματισμός πολύ εύτακτων δομών. Μέσω προσεκτικού ελέγχου της θερμοκρασίας του θαλάμου και της διαδικασίας ψεκασμού, είναι δυνατόν να επικαθήσουν λεπτές μεμβράνες πάνω σε μια επιφάνεια ή να δημιουργηθούν συγκροτήματα νανομεγέθους με συγκεκριμένα σχήματα. Παραδείγματος χάριν, στο Σχ. 2 φαίνεται μια εικόνα AFM νανοσυρμάτων γερμανίου πάνω σε επιφάνεια πυριτίου. Τα σύρματα έχουν ύψος περίπου 2 nm, πλάτος 10–32 nm, και μήκος 10–600 nm.



Σχήμα 1 Σε έναν νανοσωλήνα μονού τοιχώματος (SWNT), άτομα άνθρακα υβριδισμού sp^2 σχηματίζουν εξαγωνικούς δακτυλίους που αναπτύσσονται ως σωλήνες με διαμέτρους μεταξύ 1 και 2 nm και μήκη αρκετών μικρομέτρων.



Σχήμα 2 Νανοσύρματα γερμανίου κατασκευάζονται πάνω σε επιφάνεια πυριτίου με επίταξη μοριακών δεσμών. Οι εικόνες έχουν ληφθεί με ατομική μικροσκοπία δύναμης, μια τεχνική που περιγράφεται στην Ενότητα 19Α (Αναπαραγωγή με άδεια από το T. Ogino *et al.*, *Acc. Chem. Res.* **32**, 447 (1999).)