AFM- Atomic Force Microscopy

Ολυμπία Μαλιάκα
Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Κρήτης, Ηράκλειο

Η μικροσκοπία ατομικής δύναμης είναι τεχνική μικροσκοπίας με διακριτική ικανότητα της τάξης κλασμάτων του νανομέτρου, δηλαδή ατομικής κλίμακας με εφαρμογές σε βιολογία, επιστήμη πολυμερών, νανοτεχνολογία, ιατρική και άλλες.[i] Η αρχή λειτουργίας του μικροσκοπίου ατομικής δύναμης βασίζεται σε ατομικές δυνάμεις που αναπτύσσονται λόγω της αλληλεπίδρασης του δείγματος με την ακίδα του μικροσκοπίου.[ii] Μέσω της συγκεκριμένης τεχνικής καθίσταται δυνατή η τοπολογική απεικόνιση του δείγματος σε 3 διαστάσεις, η μέτρηση των αναπτυσσόμενων δυνάμεων μεταξύ δείγματος και ακίδας και η χειραγώγιση ατόμων.[iii]

Τα βασικά μέρη από τα οποία απαρτίζεται το μικροσκόπιο είναι ένας εύκαμπτος ανακλαστικός βραχίονας με μια λεπτή ακίδα στην άκρη του και ένας ανιχνευτής. Το υλικό της ακίδας είναι συνήθως πυρίτιο ή βόριο-πυριτικό γυαλί ή νιτρίδιο πυριτίου. Ανάλογα με την αλληλεπίδραση υπό εξέταση, η ακίδα έχει ένα στρώμα χρυσού,διαμαντιού ή μαγνητικό στρώμα για την ανίχνευση μαγνητικών ιδιοτήτων.
Υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι λειτουργίας του μικροσκοπίου ατομικής δύναμης. Ο πρώτος πραγματοποιείται μέσω άμεσης επαφής με το δείγμα και ο δεύτερος από απόσταση.[iv] Στην πρώτη περίπτωση. Η ακίδα σαρώνει το δείγμα και απωθείται ή έλκεται από αυτό λόγω δυνάμεων Van der Waals, Ηλεκτροστατικών, Χημικών, Coulomb και άλλων. Δημιουργείται δυναμικό Lennard-Jones που δίνεται από τον τύπο $V = \frac{A}{r^{12}} - \frac{B}{r^{6}}$, με A,B σταθερές και r η απόσταση ακίδας και δείγματος.[v] Διοδικό laser προσπίπτει στον βραχίονα και ανακλάται σε διαφορετικές γωνίες, ανάλογα με την κίνηση του βραχίονα, και άρα ανάλογα με την αλλεπίδραση μεταξύ δείγματος και ακίδας. Η ανάκλαση του laser προσπίπτει σε ανιχνευτή συνδεδεμένο με υπολογιστή, όπου εμφανίζεται η τοπολογία του δείγματος και οι αντίστοιχες μετρήσεις. [ii,vi]

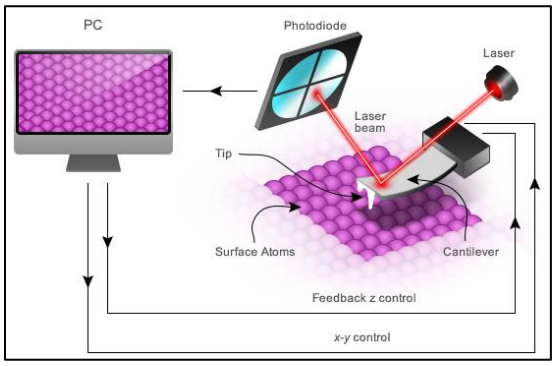

Figure 1. Σχεδιάγραμμα του AFM σε σύνδεση με υπολογιστή. [vi]

Στη δεύτερη περίπτωση, η ακίδα ταλαντώνεται ελαφρώς πάνω από την συχνότητα συντονισμού και δεν έρχεται σε επαφή με το δείγμα. Οι δυνάμεις μεγάλης εμβέλειας μειώνουν την συχνότητα συντονισμού του βραχίονα. Αλλάζοντας την απόσταση ακίδας-δείγματος διατηρείται σταθερό το πλάτος ταλάντωσης. Καταγράφοντας την απόσταση μεταξύ ακίδας-δείγματος σε κάθε σημείο κατασκευάζεται τοπογραφική εικόνα της επιφάνειας του δείγματος. Πολλά δείγματα έχουν στρώμα υγρασίας εάν βρίσκονται σε συνθήκες περιβάλλοντος και έτσι είναι δύσκολη η ακριβής μέτρηση. Εάν η ακίδα είναι αρκετά κοντά στο δείγμα ώστε να ανιχνεύει τις δυνάμεις μικρής εμβέλειας τότε είναι αρκετά κοντά ώστε να κολλήσει στην υγρασία.

Τα είδη δείγματος που μπορούν να μελετηθούν ποικίλουν. Ανάμεσα σε άλλα είναι δυνατή η τοπολογική

απεικόνιση αγώγιμων και μονωτικών υλικών που στην επιφάνεια τους έχουν απορροφηθεί οργανικά μόρια[ii,viii], η απεικόνιση βιομορίων και ο πολυμερισμός πρωτεϊνών.[vii] Ένα παράδειγμα χρήσης του μικροσκοπίου ατομικής δύναμης φαίνεται στην εικόνα 2. Σε λειτουργία μη επαφής πάρθηκαν οι εικόνες ταινίας γραφενίου επάνω σε SiC (0001). Το γραφένιο καλλιεργήθηκε στον κρύσταλλο με θερμική αποσύνθεση σε συνθήκες υψηλού κενού και ατμοσφαιρικής πίεσης.[viii]

Συνοψίζοντας, το μικροσκόπιο ατομικής δύναμης εκμεταλλεύεται την αλληλεπίδραση μεταξύ του δείγματος και της ακίδας και μέσω αυτού είναι δυνατή η απεικόνηση επιφανειών και των ατελειών τους σε ατομική κλίμακα. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι λειτουργίας του μικροσκοπίου, με βασικούς αυτός της επαφής και αυτός της εξ'απόστασης για την μελέτη διαφόρων υλικών.

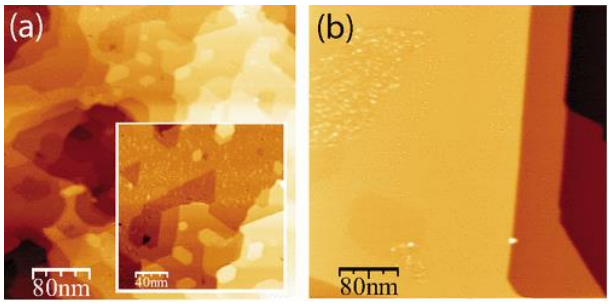

Figure 2. (a) Ταινίες γραφένιου σε SiC (0001) σε συνθήκες υψηλού κενού και (b) σε περίπου ατμοσφαιρική πίεση[viii]

References

[i] https://en.wikipedia.org/wiki/Atomic_force_microscopy (last accessed: 20/04/20)

[ii] Giessibl, F. J. (2003). Advances in atomic force microscopy. *Reviews of modern physics*, *75*(3), 949.

[iii] Binnig, G., Quate, C. F., & Gerber, C. (1986). Atomic force microscope. Physical review letters, 56(9), 930.

[iv] Morita, S., Giessibl, F. J., Meyer, E., & Wiesendanger, R. (Eds.). (2015). Noncontact atomic force microscopy (Vol. 3). Springer.

[v] http://web.physik.uni-rostock.de/cluster/students/fp3/AFM_E.pdf (last accessed: 30/04/20)

[vi] https://myscope.training/legacy/spm/background/ (last accessed: 20/04/20)

[vii] Hansma, H. G. (1996). Atomic force microscopy of biomolecules. Journal of Vacuum Science & Technology B: Microelectronics and Nanometer Structures Processing, Measurement, and Phenomena, 14(2), 1390-1394.

[viii] Filleter, T., & Bennewitz, R. (2010). Structural and frictional properties of graphene films on SiC (0001) studied by atomic force microscopy. Physical Review B, 81(15), 155412.