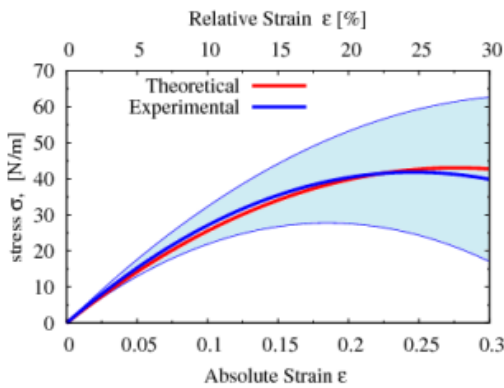


Γραφένιο : μηχανικές και ηλεκτρικές ιδιότητες.

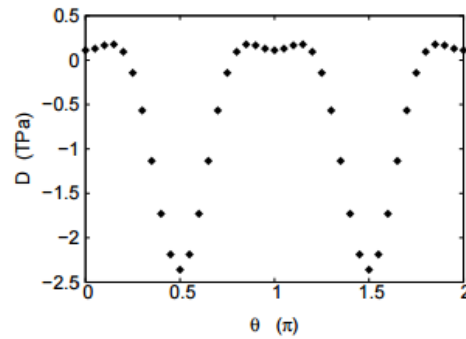
Σαζακλή Αγγελική*

Τμήμα Εφαρμοσμένων Μαθηματικών, Πανεπιστήμιο Κρήτης, Ηράκλειο.

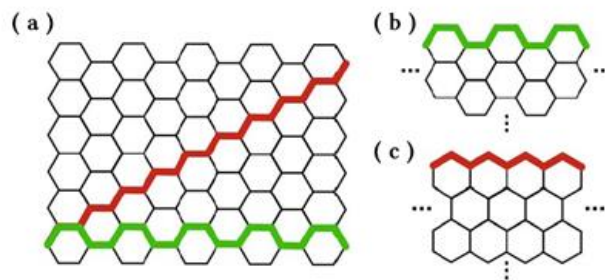
Το γραφένιο είναι μια μονοστοιβάδα ομοιοπολικά συνδεδεμένων ατόμων άνθρακα. Αναπαριστά ένα νέο 2D υλικό και λόγω της εξαγωνικής κρυσταλλικής του δομής έχει μοναδικές μηχανικές και ηλεκτρικές ιδιότητες. Σε μια πρώτη πειραματική ανάλυση της αντοχής που διέπει το γραφένιο, που έγινε από τον Lee και τους συνεργάτες του, βρέθηκε ότι το γραφένιο παρουσιάζει τόσο μη γραμμική ελαστική συμπεριφορά όσο και εύθρυπτες ρωγμές [1]. Η μη γραμμική ελαστική απόκριση του γραφενίου στη εφελκυστική τάση περιγράφεται ως εξής: $\sigma = E\varepsilon + D(\varepsilon^2)$ [2]. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του πειράματος, το γραφένιο χαρακτηρίζεται από μέτρο ελαστικότητας Young $E=1.0$ TPa και ελαστική δυσκαμψία τρίτης τάξης ίση με $D=-2.0$ TPa. Ταυτόχρονα, το γραφένιο μπορεί να λυγίσει εύκολα, η ελαστική σταθερά του γραφενίου μετρήθηκε και βρέθηκε να κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 1-5 N/m και το σημείο θραύσης του είναι 130 GP (σημείο θραύσης διαμαντιού 2,8GP) [3]. Επιπλέον αποκαλύφθηκε πειραματικά ότι οι ρωγμές από τις θραύσεις διαδίδονται κυρίως σε ευθείες γραμμές - είτε στην κατεύθυνση armchair είτε στην κατεύθυνση zigzag [4]. Έχει επιπλέον παρατηρηθεί το φαινόμενο να δημιουργούνται ρωγμές σε μεμβράνες γραφενίου και υπό την παρατήρηση από μικροσκόπιο TEM (παρατήρηση που έγινε από τον Kim και τους συνεργάτες του) [5]. Τέλος παρατηρήθηκε ότι οι μεμβράνες πολυκρυσταλλικού γραφενίου έχουν αρκετά μικρότερη αντοχή από το μονατομικό φύλλο γραφενίου (~ 35 GPa αντί για 130 GPa) [3]. Το γραφένιο έχει υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα. Παρουσιάζει θαυμαστή κινητικότητα ηλεκτρονίων σε θερμοκρασία δωματίου, η οποία είναι σχεδόν ανεξάρτητη από τη θερμοκρασία για τιμές μεταξύ 10K και 100K [6]. Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση των μεμβρανών του γραφενίου είναι 10^{-6} Ω·cm, μικρότερη και από την ειδική ηλεκτρική αντίσταση του αργύρου, η οποία είναι η χαμηλότερη από όλα τα άλλα υλικά σε θερμοκρασία δωματίου [7]. Παρόλη τη μηδενική πυκνότητα φορέα γύρω από τα σημεία Dirac το γραφένιο παρουσιάζει μια ελάχιστη αγωγιμότητα της τάξεως του $4e^2/h$ [8]. Η πηγή αυτής της ελάχιστης αγωγιμότητας δεν έχει ακόμη εντοπιστεί. Τα ηλεκτρόνια του γραφενίου μπορούν να καλύψουν αποστάσεις μικρομέτρων χωρίς σκέδαση ακόμα και σε θερμοκρασία δωματίου. Το γραφένιο, πέρα από την πολύ υψηλή αγωγιμότητα, διακρίνεται και από άλλες πολύ ενδιαφέρουσες ηλεκτρικές ιδιότητες. Μερικές από αυτές είναι το ημι-ακέραιο κβαντικό φαινόμενο Hall (όπου σε αντίθεση με ό,τι ισχύει συνήθως, προστίθεται $\frac{1}{2}$ στο επίπεδο Landau που καθορίζει την αγωγιμότητα Hall) καθώς και ότι τα ηλεκτρόνια που φέρει συμπεριφέρονται σαν φερμιόνια Dirac χωρίς μάζα [6].



Εικ.1 : θεωρητική και πειραματική καμπύλη για την ελαστική απόκριση του γραφενίου [1].



Εικ.2 : δυσκαμψία 3^{ης} τάξης του γραφενίου [9].



Εικ.3 : (a) πλέγμα γραφενίου απεικονίζει τους δυο τρόπους θραύσης του. (b) θραύση τύπου armchair (c) θραύση τύπου zigzag [10].

Βιβλιογραφία

- [1]. arxiv.org/pdf/1001.4112.pdf
- [2]. C. Lee, X. Wei, J.W. Kysar and J. Hone // *Science* 321 (2008) 385.
- [3]. Lee, C.; Wei, X.; Kysar, J. W.; Hone, J. (2008). "Measurement of the Elastic Properties and Intrinsic Strength of Monolayer Graphene". *Science* 321
- [4]. D. Sen, K.S. Novoselov, P. Reis and M.J. Buehler // *Small* 6 (2010) 1108
- [5]. K. Kim, V.I. Artyukhov, W. Regan, Y. Liu, M.F. Crommie, B.I. Yakobson and A. Zettl // *Nano Lett.* 12 (2012) 293.
- [6]. Novoselov, K. S.; Geim, A. K.; Morozov, S. V.; Jiang, D.; Katsnelson, M. I.; Grigorieva, I. V.; Dubonos, S. V.; Firsov, A. A. (2005). "Two-dimensional gas of massless Dirac fermions in graphene". *Nature* 438.
- [7]. Chen, J. H.; Jang, Chaun; Xiao, Shudong; Ishigami, Masa; Fuhrer, Michael S. (2008). "Intrinsic and Extrinsic Performance Limits of Graphene Devices on SiO₂". *Nature Nanotechnology* 3.5
- [8]. Geim & Novoselov 2007, "The rise of graphene". *Nature Materials* 6.
- [9]. Jiang, Jin-Wu, Jian-Sheng Wang, and Baowen Li. "Elastic and nonlinear stiffness of graphene: A simple approach". *Physical Review B v.81* (2010).
- [10]. electronicstructure.wikidot.com/Yasmin