

Titolo del programma: “Caratterizzazione sulla nanoscale di eterostrutture in materiali 2D”

Abstract

Il programma proposto prevedeva la caratterizzazione sulla nanoscala di eterostrutture multistrato composte da materiali 2D. Si sono realizzate allo scopo campioni di disulfuro di tungsteno (WS₂) su Grafene. [1] Queste eterostrutture sono di interesse scientifico e tecnologico per poter realizzare nano-dispositivi che abbiano interessanti proprietà termo-elettriche grazie all'elevato confinamento spaziale. Per la caratterizzazione si sono impiegate tecniche microscopiche a scansione di sonda (SPM) in grado di fornire informazioni sulle proprietà meccaniche ed elettriche delle superfici analizzate.

Campioni analizzati

I campioni sono stati realizzati presso il laboratorio NEST-SNS. [2] Il substrato è costituito da un cristallo di carburo di silicio (SiC) sul quale viene prima cresciuto un monostrato di Grafene (come buffer che non ha ancora le proprietà del Grafene) ed un ulteriore monostrato continuo di Grafene. Su di esso infine viene depositato WS₂ con una ricopertura inferiore al monostrato. Il WS₂ nuclea terrazze di forma triangolare, come riportato schematicamente in Figura 1.

Misure meccaniche

I dati morfologici combinati con analisi SEM e Raman (dati non riportati di misure condotte presso NEST-SNS) ci indicano che il film di WS₂ ha una ricopertura inferiore al monostrato con terrazze a forma triangolare sopra il Grafene (Figura 2a). Inizialmente si è provveduto a caratterizzare il campione usando tre differenti tecniche SPM, tutte capaci di rivelare le proprietà meccaniche della superficie oltre che la morfologia: microscopia a ultrasuoni (UFM), bimodale (B-SPM) e risonanza di contatto (CR-SPM). [3-5]

Innanzitutto si può notare la presenza dei gradini del cristallo di SiC sottostante (Figura 2a). Essi si estendono diagonalmente dal basso a sinistra verso l'alto a destra. Inoltre si nota una depressione in direzione opposta, con un'altra più stretta appena sopra. Esse sono crepe formatasi probabilmente durante il raffreddamento del campione dopo la crescita del WS₂ a circa 900°C. Qui il SiC emerge in superficie. Nel tempo, l'esposizione agli agenti atmosferici (ossigeno e acqua), fa sì che i bordi delle terrazze di WS₂ si ossidino (Figura 2c).

La parte ossidata ha la forma di un cordolo granulare che presenta un contrasto più scuro in UFM, cioè con un modulo elastico inferiore (Figura 2d). Le immagini UFM ci indicano anche che non c'è contrasto elastico fra le isole di WS₂ e il Grafene, mentre il contrasto UFM è più scuro nelle crepe dove il SiC emerge (Figura 2b). I dati forniti dal B-SPM danno un contrasto simile a quello UFM (Figura 3b). Il terzo metodo CR-SPM dà invece un contrasto diverso dai precedenti. Le terrazze triangolari sono più chiare del resto (Figura 4b). Questo però potrebbe essere dovuto al fatto che in questo caso la forza d'attrito non è annullata essendo la punta in contatto continuo con la superficie. Difatti si è notato che del materiale si sposta a seconda della forza impressa. Il contrasto stesso varia a causa di questo, come è possibile notare in Figura 4d. Per cui è probabile

che questo contrasto non sia dovuto a variazioni nelle proprietà elastiche ma in quelle di taglio. Si sa infatti che le isole sono debolmente adese al Grafene.

Misure elettriche

Per la caratterizzazione elettrica si sono poi utilizzati sia Kelvin SPM (KPFM) che Conductive SPM (CPM). Il primo in modalità di non contatto, utilizzando il primo modo con eccitazione elettrica al secondo modo della levetta, permette di rilevare differenze superficiali nel valore del livello di Fermi. [6] Il secondo invece, operando in contatto, permette la misura di conduzione elettrica relativa delle aree sottostanti. [7]

Il contrasto in KPFM si presenta piuttosto complesso e di non chiara interpretazione al momento (Figura 5). Si nota innanzitutto che le terrazze triangolari sono diverse dal Grafene. I bordi ossidati hanno anche essi contrasto diverso dal resto. Infine anche le zone depresse, le fratture dove il SiC emerge all'aria, hanno un contrasto diverso. Al loro interno poi si può notare un'ulteriore differenza. In Figura 6 riportiamo anche il contrasto che si ottiene nelle aree dove più strati di WS₂ crescono uno sopra l'altro.

Al contrario il CPM non ha dato risultati rilevanti al momento. Si pensa che la causa possa essere duplice: il materiale in cui è costituita la punta potrebbe usurarsi con lo sfregamento; la punta potrebbe essere troppo piccola e quindi la corrente troppo bassa.

Sommario

Durante il periodo di permanenza del Professor Kolosov, si sono potuti caratterizzare sia meccanicamente che elettricamente campioni costituiti da isole di WS₂ su Grafene. Le misure ci permettono di ottenere informazioni importanti sulle interfacce fra i due materiali in vista di produrre nano dispositivi e nano giunzioni. Inoltre si è potuto verificare l'ossidazione dei bordi delle terrazze di WS₂ quando esposti all'atmosfera. E' probabile che esso sia dovuto dalla acqua piuttosto che dall'ossigeno presenti nell'aria. Le pubblicazioni previste con i dati ottenuti sono due: una sulle modalità di ossidazione delle terrazze di WS₂; l'altra sulle proprietà meccaniche-elettriche correlate con la morfologia SPM, SEM e Raman.

Referenze

1. Q. H. Wang et al. *Nat. Nanotechnol.* **7**, 699, 2012
2. Rossi A. et al. *2D Mater.* **3**, 031013, 2016
3. O. Kolosov et al. *Japan J. of Appl. Phys. Part 2-Letters* **32**, L 1095, 1993
4. T. R. Rodriguez and R. Garcia, *Appl. Phys. Lett.* **84**, 3 (2004)
5. G. Stan et S. D. Solares, *Beilstein J. Nanotechnol.* **5**, 278–288, 2014
6. D. Kohl et al. *Microelectronic Engineering* **176**, 28-32, 2017
7. L. Mario *Conductive Atomic Force Microscopy*, Berlin: Wiley-VCH, ISBN 978-3-527-34091-0

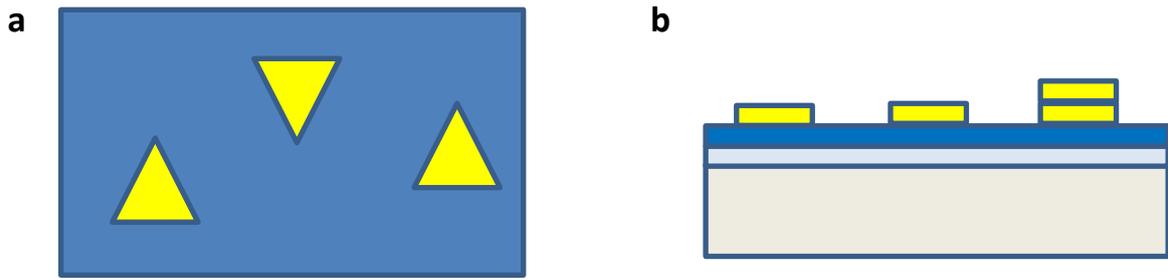


Figura 1. Schema dell'eterostruttura con le terrazze di WS2 in giallo, il buffer e lo strato di Grafene in azzurro e blu, il SiC in grigio.

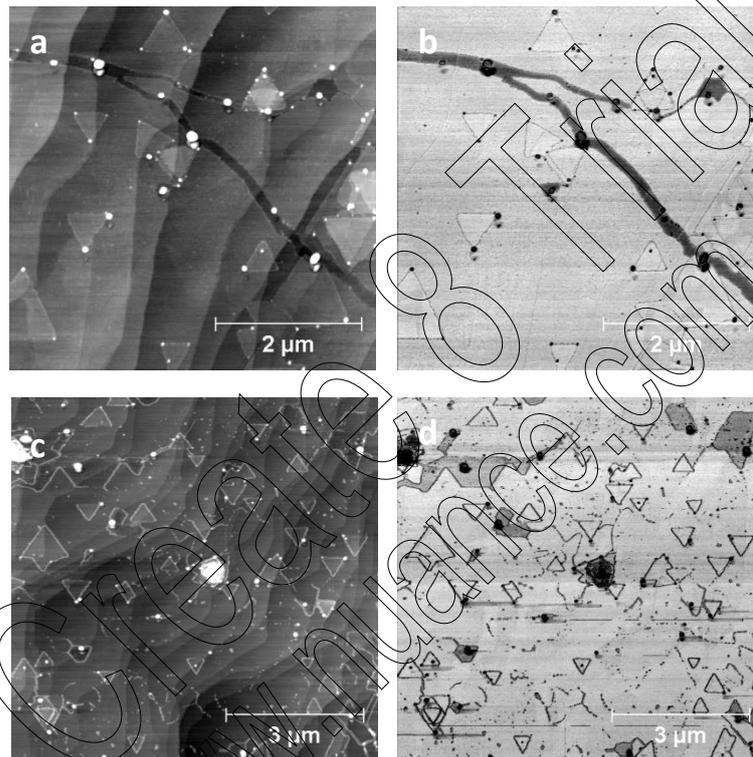


Figura 2. Morfologia e UFM del campione appena esposto all'aria (a,c) e dopo tre giorni (b,d).

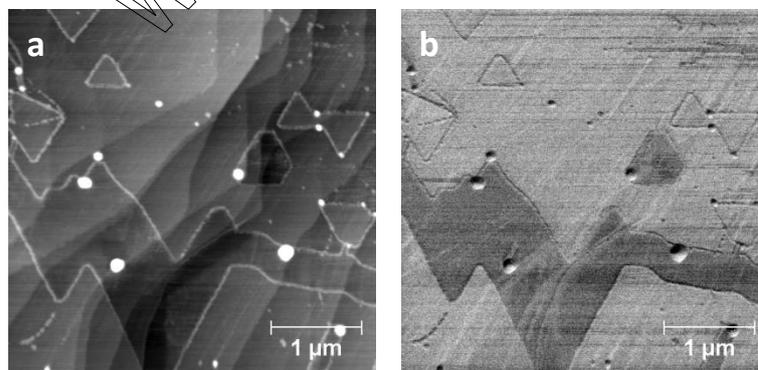


Figura 3. Morfologia e B-SPM (a,b) dopo due giorni di esposizione all'aria.

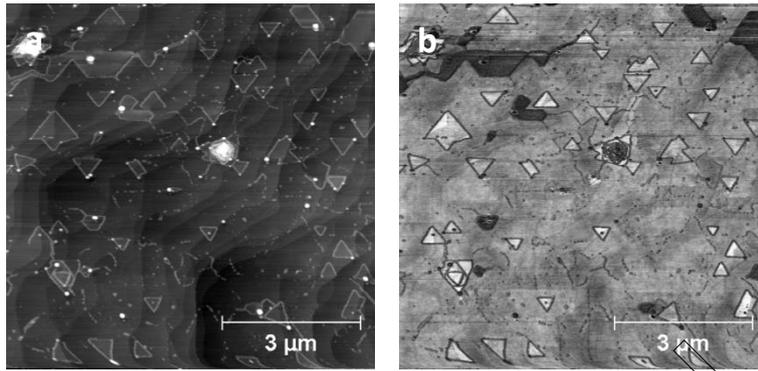


Figura 4. Morfologia e CR-SPM (a,b) dopo due giorni di esposizione all'aria.

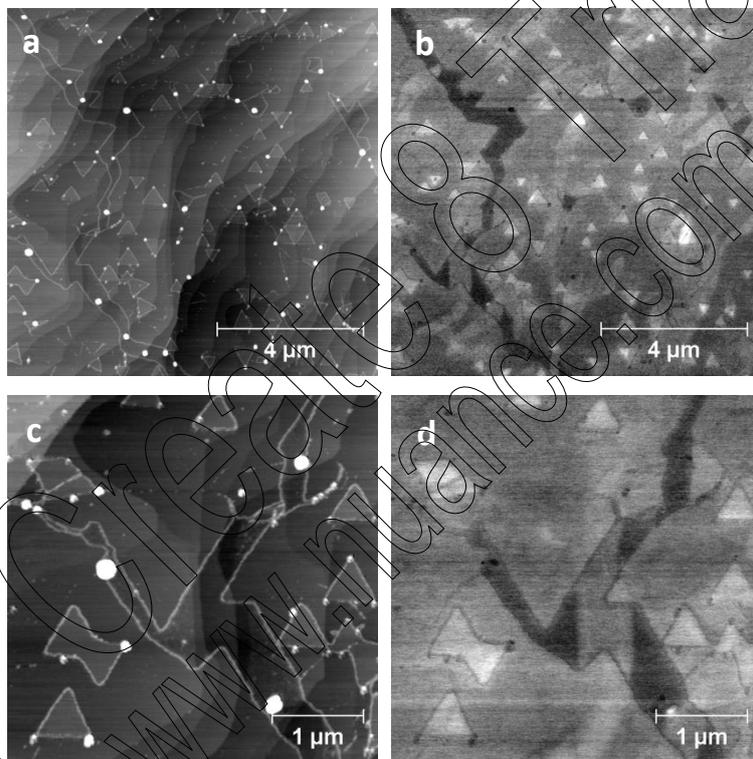


Figura 5. Morfologia e KPFM (a,b) dopo due giorni di esposizione all'aria.

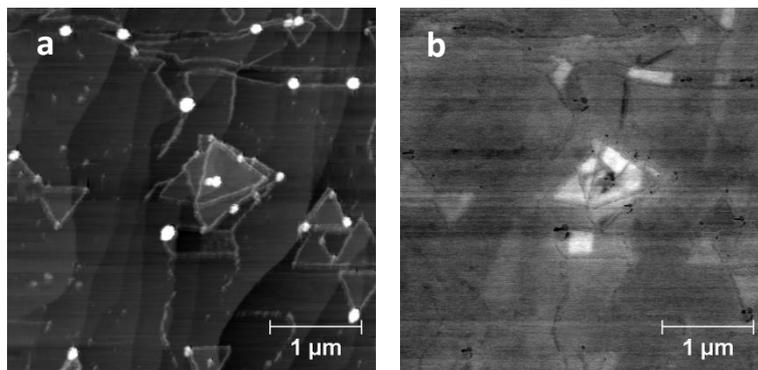


Figura 6. Morfologia e KPFM (a,b) dopo due giorni di esposizione all'aria.