

Titolo: Spettroscopia ultraveloce di materiali bidimensionali a singolo strato atomico: grafene e oltre il grafene.

Il progetto di tesi proposto riguarda lo studio delle dinamiche elettroniche in cristalli bidimensionali a singolo strato atomico. Un esempio dei materiali che saranno studiati è il grafene, costituito da un unico strato di atomi di carbonio covalentemente legati. Nel grafene, in teoria, i portatori di carica (eccitoni) non si muovono come normali particelle con massa, ma piuttosto come fotoni, particelle senza massa. Come risultato gli elettroni presentano maggiore mobilità che nel silicio e mostrano comportamenti riconducibili alla meccanica quantistica anche a temperature ambiente. Il limite del grafene è, però, che non ha gap e quindi non presenta comportamento semiconduttivo.

Recentemente è stata introdotta una nuova classe di semiconduttori a singolo strato atomico (*transition metal dichalcogenides* - *TMD*) che presentano nuove e peculiari proprietà elettroniche. Un esempio è fornito dall' MoS_2 che è costituito da uno strato di atomi di Molibdeno tra due strati di atomi di Zolfo. Si trova che mentre il cristallo *bulk* MoS_2 è un materiale a gap indiretta, quando lo spessore è ridotto a singolo strato atomico, il materiale diventa semiconduttore a gap diretta. Il risultato è un notevole aumento dell'efficienza di fotoluminescenza (3-4 ordini di grandezza) e un pronunciato cambio in assorbimento. I *TMD* possono rappresentare semiconduttori ideali per fotovoltaico grazie alla loro band gap che è ideale per celle solari. Inoltre grafene e MoS_2 costituiscono in prospettiva i *mattoni fondamentali* per applicazioni alla nanoelettronica come ad esempio realizzazione di *transistors* su scala atomica. Questi materiali (grafene e *TMD*) saranno realizzati in laboratorio con tecniche di esfoliazione meccanica, sotto forma di strati isolati o combinati in etero-strutture con un preciso controllo strato per strato della sequenza. Il design delle etero-strutture consentirà la realizzazione di nuovi materiali con proprietà innovative nella risposta ottica ed elettronica.

Le dinamiche, sia elettroniche che fononiche, in tali materiali avvengono su scale temporali ultraveloci (10^{-3} s). Il loro studio sperimentale richiederà pertanto l'uso di tecniche di spettroscopia ottica ultraveloce basata su sorgenti ottiche al femtosecondo. Con tali tecniche presenti nel nostro laboratorio vogliono esaminare tematiche che riguardano: (a) dinamica ultraveloce di eccitoni in grafene, (b) formazione di stati multi-eccitonici in MoS_2 e corrispondenti energie di legame, (c) accoppiamento elettrone-fonone, (d) processi di trasferimento di carica ed energia nelle etero-strutture.

Laboratori (docenti di riferimento): Laboratorio Biofotonica (Felice Gesuele, Raffaele Velotta, Carlo Altucci).