

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO



Dipartimento di Fisica “E. R. Caianiello”

Corso di Dottorato XXXIV Ciclo in Matematica, Fisica ed Applicazioni

Summary of the Ph.D. Thesis in Physics

Nanostructured materials for a new generation of electronic devices

Academic Year 2020/2021

Supervisor:

Prof. Antonio Di Bartolomeo

Candidate:

Alessandro Grillo

Ph.D. Coordinator:

Prof. Carmine Attanasio

Summary

La tesi "*Nanostructured materials for a new generation of electronic devices*" di Alessandro Grillo mira a evidenziare i principali risultati ottenuti durante il progetto di dottorato del candidato sui materiali nanostrutturati per applicazioni elettroniche. In particolare, lo scopo principale di tale progetto era investigare come nuove classi di materiali mono e bidimensionali potessero essere sfruttate per realizzare diversi tipi di dispositivi, come transistor ad effetto di campo ed emettitori di campo.

La tesi è divisa in tre capitoli che trattano i seguenti argomenti:

- Il Capitolo 1 contiene una breve descrizione dello stato dell'arte della tecnologia moderna dei MOSFET seguita da una panoramica delle nuove possibilità introdotte dalla scoperta dei materiali bidimensionali. In particolare, nei primi paragrafi vengono riportati i principi di funzionamento dei tradizionali transistor ad effetto di campo prestando particolare attenzione alle loro caratteristiche tensione-corrente, figure di merito e applicazioni pratiche. Nel paragrafo successivo vengono riportati i principali effetti non-ideali derivanti da una eccessiva riduzione delle dimensioni dei dispositivi, necessaria per migliorarne le prestazioni. Infine, gli ultimi due paragrafi trattano della scoperta del grafene e di altri materiali stratificati e del loro possibile utilizzo come canale dei transistor per evitare gli effetti di canale corto. Vengono riportati i principi di funzionamento dei transistor basati su grafene e i loro limiti intrinseci, principalmente dovuti all'assenza di gap energetico. Nell'ultima sezione vengono discusse le proprietà di altre classi di materiali bidimensionali, come i dicalcogenuri di metalli di transizione, i composti dei gruppi IV e V, il fosforo nero e i materiali isolanti stratificati che, grazie alle loro sorprendenti proprietà meccaniche ed elettriche, potrebbero giocare un ruolo fondamentale nelle future applicazioni elettroniche.

- Il Capitolo 2 riporta i risultati originali ottenuti dal candidato dallo studio di tre diversi materiali bidimensionali (diseleniuro di tungsteno, fosforo nero e arseniuro di germanio) utilizzati come canale di transistor ad effetto di campo. In particolare, nel primo paragrafo, vengono investigate le proprietà elettriche del diseleniuro di platino, un membro della famiglia dei dicalcogenuri di metalli di transizione. Studiando la risposta elettrica del materiale quando esposto a irradiazione laser supercontinua, è stato dimostrato che la pressione esterna è responsabile di una diversa risposta alla luce, portando a una fotoconduttività positiva o negativa rispettivamente in vuoto e a pressione ambiente. Nel secondo paragrafo vengono presentati i risultati di uno studio sui transistor ad effetto di campo di fosforo nero. Lo scopo della ricerca era realizzare memorie non volatili sfruttando la presenza di difetti intrinseci e difetti all'interfaccia fosforo nero/diossido di silicio ottenendo dispositivi con buone proprietà di resistenza e di ritenzione. Il polimetilmetacrilato (PMMA) è stato utilizzato come strato di copertura per prevenire il degrado del canale, tipico dei dispositivi a fosforo nero, senza influire sulle proprietà elettriche. Successivamente, nel terzo paragrafo, viene riportato uno studio sulle proprietà elettriche dei transistor ad effetto di campo di arseniuro di germanio in funzione della temperatura. I dispositivi sono stati misurati su un'ampia gamma di temperature rivelando che la densità dei portatori presenta un ampio picco intorno a 75 K. Tale anomalia è stata spiegata attraverso un modello di spessore del canale conduttivo dipendente dalla temperatura che è stato corroborato dall'osservazione di una conduzione a salti di portatori tridimensionale variabile a temperature più basse che diventa di tipo a banda a temperature più elevate. Infine, il quarto paragrafo presenta una discussione sull'analisi delle misurazioni corrente-tensione di materiali bidimensionali influenzati dalla presenza di barriere di Schottky su entrambi i contatti. Viene proposto un modello per analizzare i meccanismi di trasporto di questi dispositivi e viene testato su diverse curve corrente-tensione di diverse nanostrutture, rivelando un perfetto accordo tra le previsioni teoriche e i dati sperimentali.

- Il Capitolo 3 riporta altri risultati originali, ottenuti durante il progetto di dottorato, sulle proprietà di emissione di campo di materiali nanostrutturati, come nanotubi e nanopilastrini. È stata investigata la risposta agli stimoli esterni, come lo stress elettrico e meccanico, e sono state riportate nuove proprietà intrinseche di questi dispositivi nanostrutturati. In particolare, nel primo paragrafo, viene riportato uno studio sperimentale sulle proprietà di emissione di campo di un singolo nanopilastrino di ossido di gallio. Questo materiale è stato selezionato per le sue eccellenti proprietà fisiche e chimiche, che unite al suo ultra-vasto bandgap lo rendono promettente per condurre alte densità di corrente senza danni. Come previsto, i risultati sperimentali hanno dimostrato che l'ossido di gallio modellato sotto forma di nanopilastrini può essere un emettitore di campo performante e competitivo con basso campo di accensione e densità di corrente molto elevate. Infine, nel secondo paragrafo, viene riportato uno studio sperimentale sulle proprietà elettriche dei nanotubi di disolfuro di tungsteno a pareti multiple sotto irradiazione di fascio di elettroni e sforzo assiale. I buoni risultati di merito suggeriscono che i nanotubi di disolfuro di tungsteno possono essere adatti per la realizzazione di dispositivi emettitori di campo pratici. Inoltre, le variazioni nella resistività per uno sforzo fino al 12% hanno evidenziato un'altra possibile applicazione come sensori di deformazione piezoresistivi.