

| | |
|---|---|
| FACOLTÀ | INGEGNERIA |
| ANNO ACCADEMICO | 2013/14 |
| CORSO DI LAUREA (o LAUREA MAGISTRALE) | Laurea Magistrale in Ingegneria Elettronica |
| INSEGNAMENTO | Nanoelettronica |
| TIPO DI ATTIVITÀ | Caratterizzante |
| AMBITO DISCIPLINARE | Ingegneria Elettronica |
| CODICE INSEGNAMENTO | |
| ARTICOLAZIONE IN MODULI | NO |
| NUMERO MODULI | - |
| SETTORI SCIENTIFICO DISCIPLINARI | ING-INF/01 |
| DOCENTE RESPONSABILE | Roberto Macaluso Ricercatore Università di Palermo |
| CFU | 9 |
| NUMERO DI ORE RISERVATE ALLO STUDIO PERSONALE | 144 |
| NUMERO DI ORE RISERVATE ALLE ATTIVITÀ DIDATTICHE ASSISTITE | 81 |
| PROPEDEUTICITÀ | Fisica dei materiali per l'elettronica, Microtecnologie. |
| ANNO DI CORSO | 2° |
| SEDE DI SVOLGIMENTO DELLE LEZIONI | Dipartimento di Energia, ingegneria dell'Informazione e modelli Matematici (DEIM). |
| ORGANIZZAZIONE DELLA DIDATTICA | Lezioni frontali, esercitazioni in aula, esercitazioni in laboratorio, visite in campo, seminari. |
| MODALITÀ DI FREQUENZA | Facoltativa |
| METODI DI VALUTAZIONE | Prova Orale |
| TIPO DI VALUTAZIONE | Voto in trentesimi |
| PERIODO DELLE LEZIONI | Secondo semestre, terzo e quarto modulo |
| CALENDARIO DELLE ATTIVITÀ DIDATTICHE | Consultare il sito www.ingegneria.unipa.it |
| ORARIO DI RICEVIMENTO DEGLI STUDENTI | Al termine di ogni lezione (nel periodo di lezioni); per appuntamento (negli altri periodi) |

RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI

Conoscenza e capacità di comprensione

Lo studente al termine del Corso avrà piena conoscenza dei materiali e del funzionamento dei più importanti dispositivi nanoelettronici, delle tecniche di crescita e caratterizzazione delle nanostrutture e del vasto campo di applicazione dei nanodispositivi studiati. In particolare, lo studente sarà in grado di comprendere, partendo dai limiti fisici e tecnologici della tecnologia CMOS, attualmente dominante il mercato dei circuiti elettronici integrati, quali tecnologie e materiali alternativi potranno essere utilizzati per ottenere dispositivi sempre più compatti, veloci e a bassa dissipazione di potenza.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione

Lo studente sarà in grado di applicare le conoscenze acquisite sia per la crescita e la

caratterizzazione di nuovi materiali nanostrutturati, sia per estendere l'applicazione dei materiali e dei nanodispositivi già studiati ad altre applicazioni.

Autonomia di giudizio

Lo studente acquisirà competenze tali da essere in grado di confrontare sia da un punto di vista tecnico-scientifico sia da un punto di vista economico, materiali, tecnologie e dispositivi diversi per la nanoelettronica, correlandoli alle particolari applicazioni considerate di volta in volta. Questa capacità di confronto, unita alla conoscenza della fisica che sta alla base dei dispositivi studiati, gli consentirà di potersi cimentare nella progettazione di nuovi nanodispositivi.

Abilità comunicative

Lo studente acquisirà la capacità di comunicare efficacemente in modo scritto ed orale su argomenti e problematiche inerenti l'oggetto del corso anche in un contesto internazionale: particolare attenzione è infatti rivolta alla terminologia in lingua inglese. Sarà in grado di sostenere conversazioni su tematiche riguardanti la scelta dei materiali nanostrutturati e dei nanodispositivi per scopi specifici, di evidenziare problemi relativi ai limiti del loro funzionamento e di offrire soluzioni.

Capacità d'apprendimento

Lo studente apprenderà le interazioni tra la fisica dei nanodispositivi ed il loro impiego nelle applicazioni più comuni e questo gli consentirà di competere in un settore in continua crescita e oggi estremamente strategico per tutte le economie avanzate, il quale abbraccia un vasto campo di applicazioni. Lo studente potrà quindi lavorare nella progettazione e nella fabbricazione di prodotti ad elevato contenuto scientifico ed innovativo in tutti i settori industriali e della ricerca applicata basati sulle nanotecnologie.

OBIETTIVI FORMATIVI DEL MODULO

Il corso fornisce, assieme allo stato dell'arte della tecnologia CMOS attualmente dominante il mercato dei circuiti integrati, e alle problematiche relative allo *scaling* dei dispositivi attualmente in commercio, conoscenze specifiche sulla fisica e sulla tecnologia di nuovi dispositivi quantici basati su nanostrutture o nuovi materiali quali grafene, nanotubi di carbonio, *nanowires* di semiconduttori, i quali costituiscono per l'industria dei semiconduttori una possibile prospettiva futura per realizzare circuiti integrati sempre più densi, veloci e a bassissima dissipazione di potenza.

| ORE FRONTALI | LEZIONI FRONTALI |
|---------------------|--|
| 1 | Introduzione alla nanoelettronica. |
| 10 | Verso le dimensioni nanometriche: <i>scaling</i> dei dispositivi CMOS e sue problematiche. Effetti di canale corto, problemi di affidabilità. |
| 5 | MOSFET avanzati: <i>strained silicon</i> , dielettrici ad alto k, tecnologia del silicio su isolante (SOI), MOSFET a doppio gate. |
| 4 | Trasporto elettronico nelle nanostrutture. |
| 2 | Transistori a singolo elettrone. |
| 6 | Nuovi materiali per la nanoelettronica e loro proprietà: nanotubi di carbonio, grafene, <i>nanowires</i> di semiconduttori. Metodi di crescita. Altri materiali nanostrutturati. |
| 6 | Strumenti e tecniche di caratterizzazione di nanostrutture e nanomateriali: microscopio elettronico a scansione (SEM) e in trasmissione (TEM), microscopio a scansione per effetto tunnel (STM), microscopio a forza atomica (AFM), diffrattometro a raggi x (XRD). Spettroscopia Raman, |
| 4 | Tecniche di fabbricazione di nanodispositivi: extreme-UV lithography, litografia a fascio elettronico, nano imprinting e dip-pen nanolithography. |

| | |
|------------------------------|--|
| 4 | Dispositivi a nanotubi di carbonio: carbon nanotube field effect transistor, sensori di gas, biosensori. Impiego dei nanotubi nelle interconnessioni. |
| 2 | Formazione spontanea e ordinamento di nanostrutture (strutture <i>self-assembled</i> - tecnologia <i>bottom-up</i>). |
| 3 | Dispositivi su scala nanometrica basati su effetti quantistici: diodi e transistori a tunneling risonante. |
| | |
| ESERCITAZIONI | |
| | |
| 10 | MOSFET a canale corto. |
| 3 | Trasporto elettronico nelle nanostrutture |
| 5 | Diodo a tunneling risonante. |
| 5 | Microscopio elettronico a scansione (SEM) – sperimentale. |
| 4 | Diffratometro a raggi x (XRD) – sperimentale. |
| 7 | Fabbricazione e caratterizzazione di materiali nanostrutturati organici/inorganici e ibridi – sperimentale. |
| | |
| TESTI CONSIGLIATI | <ul style="list-style-type: none"> • R. S. Muller, T. I. Kamins: Device electronics for integrated circuits – Wiley, 2003. • V. Mitin, V. Kochelap, M. Stroscio: Introduction to Nanoelectronics – Cambridge University Press, 2008. • H.-S. P. Wong, D. Akinwande: Carbon Nanotube and graphene device physics – Cambridge University Press, 2011. |