



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

DIPARTIMENTO	Ingegneria
ANNO ACCADEMICO OFFERTA	2016/2017
ANNO ACCADEMICO EROGAZIONE	2016/2017
CORSO DILAUREA MAGISTRALE	INGEGNERIA ELETTRONICA
INSEGNAMENTO	DISPOSITIVI A ETEROSTRUTTURA
TIPO DI ATTIVITA'	C
AMBITO	20925-Attività formative affini o integrative
CODICE INSEGNAMENTO	10552
SETTORI SCIENTIFICO-DISCIPLINARI	ING-INF/01
DOCENTE RESPONSABILE	CUSUMANO PASQUALE Ricercatore Univ. di PALERMO
ALTRI DOCENTI	
CFU	9
NUMERO DI ORE RISERVATE ALLO STUDIO PERSONALE	144
NUMERO DI ORE RISERVATE ALLA DIDATTICA ASSISTITA	81
PROPEDEUTICITA'	
MUTUAZIONI	
ANNO DI CORSO	1
PERIODO DELLE LEZIONI	2° semestre
MODALITA' DI FREQUENZA	Facoltativa
TIPO DI VALUTAZIONE	Voto in trentesimi
ORARIO DI RICEVIMENTO DEGLI STUDENTI	CUSUMANO PASQUALE Lunedì 8:00 8:01 Si prega di concordare il ricevimento via mail: pasquale.cusumano@unipa.it Please arrange in advance by sending an email request to: pasquale.cusumano@unipa.it

DOCENTE: Prof. PASQUALE CUSUMANO

PREREQUISITI	Conoscenza dei concetti fondamentali sui semiconduttori e sulla struttura e il funzionamento dei dispositivi a semiconduttore come giunzione pn, transistori bipolari e ad effetto di campo. La conoscenza delle microtecnologie del Silicio e dei concetti principali di meccanica quantistica e dei laser è vantaggiosa sebbene non indispensabile.
RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI	<p>Conoscenza e capacità di comprensione Lo studente, al termine del corso, avrà acquisito familiarità con i semiconduttori composti, le tecniche di crescita massiva ed epitassiale e le strutture a confinamento quantico (quantum wells, wires e dots). Lo studente, inoltre, avrà acquisito una solida conoscenza della struttura e del funzionamento fisico dei transistori bipolari ad eterogiunzione, di quelli ad effetto di campo come MESFET e MODFET e dei dispositivi optoelettronici emissivi come LED e diodi laser ed i relativi campi di applicazione.</p> <p>Capacità di applicare conoscenza e comprensione Lo studente avrà acquisito la capacità di saper: 1) progettare eterostrutture per dispositivi elettronici ed optoelettronici basati sui semiconduttori composti; 2) eseguire misure per la caratterizzazione di tali dispositivi; 3) capire e valutare le prestazioni richieste ai dispositivi nei rispettivi campi di applicazione.</p> <p>Autonomia di giudizio Lo studente avrà acquisito la capacità di valutare e confrontare le prestazioni specificate nei "data sheet" dai costruttori di dispositivi relativamente ai transistori bipolari ad eterogiunzione, MESFET, MODFET, LED e diodi laser, e scegliere i più idonei in base al campo di applicazione.</p> <p>Abilità comunicative Lo studente sarà in grado di esporre con competenza e proprietà di linguaggio argomenti riguardanti la tecnologia, la struttura e il funzionamento fisico dei dispositivi elettronici ed optoelettronici ad eterostruttura basati sui semiconduttori composti, anche in contesti altamente specializzati.</p> <p>Capacità d'apprendimento Lo studente sarà in grado di studiare ed approfondire autonomamente altre tipologie di dispositivi a eterostruttura non trattati durante il corso (fotodiodi, celle solari, modulatori ottici etc.) e capirne la relativa struttura, il funzionamento fisico ed i campi di applicazione.</p>
VALUTAZIONE DELL'APPRENDIMENTO	<p>Esame orale e valutazione in trentesimi. La prima domanda riguarda lo svolgimento di un esercizio scelto tra quelli svolti durante il corso e raccolti in apposito quaderno manoscritto che lo studente deve portare agli esami. Seguono almeno 3 domande sugli argomenti del programma del corso. L'esame è strutturato per verificare le conoscenze acquisite, la capacità elaborativa, l'abilità espositiva e le proprietà di linguaggio dello studente. La valutazione si basa sui seguenti criteri:</p> <p>a) eccellente (30 - 30 e lode): ottima conoscenza degli argomenti, ottima proprietà di linguaggio, buona capacità analitica, lo studente è in grado di applicare le conoscenze per risolvere i problemi proposti;</p> <p>b) molto buono (26 - 29): buona padronanza degli argomenti, piena proprietà di linguaggio, lo studente è in grado di applicare le conoscenze per risolvere i problemi proposti;</p> <p>c) buono (24 - 25): conoscenza di base dei principali argomenti, discreta proprietà di linguaggio, con limitata capacità di applicare autonomamente le conoscenze alla soluzione dei problemi proposti;</p> <p>d) soddisfacente (21 - 23): non ha piena padronanza degli argomenti principali dell'insegnamento ma ne possiede le conoscenze, soddisfacente proprietà di linguaggio, scarsa capacità di applicare autonomamente le conoscenze acquisite;</p> <p>e) sufficiente (18 - 20): minima conoscenza di base degli argomenti principali dell'insegnamento e del linguaggio tecnico, scarsissima o nulla capacità di applicare autonomamente le conoscenze acquisite</p> <p>f) insufficiente: non possiede una conoscenza minima accettabile dei contenuti degli argomenti trattati nell'insegnamento.</p>
OBIETTIVI FORMATIVI	Il corso fornisce i fondamenti dei moderni dispositivi elettronici ed optoelettronici ad eterostruttura basati sui semiconduttori composti. Esso ha lo scopo di stimolare e predisporre lo studente all'analisi, al progetto e al corretto utilizzo di tali dispositivi. Le esercitazioni teoriche sono concepite per integrare e approfondire gli argomenti delle lezioni e forniscono una metodologia orientata alla soluzione dei problemi di analisi e di progetto. I transistori ad eterostruttura operano alle alte frequenze e sono pertanto impiegati nei sistemi wireless ed a microonde mentre i LED ed i diodi laser sono utilizzati nei sistemi di telecomunicazione in fibra ottica, nei display e nei sistemi di illuminazione. La conoscenza dei suddetti dispositivi può permettere quindi l'inserimento in attività professionali nei settori delle Microonde e delle Telecomunicazioni ottiche, sia in ambito industriale sia nel settore della ricerca e sviluppo.

ORGANIZZAZIONE DELLA DIDATTICA	Il corso consiste di 59 ore di lezioni frontali, 10 esercitazioni teoriche di 2 ore ciascuna (20 ore) e una dimostrazione pratica (2 ore) in laboratorio sui LED e i diodi LASER. Sono previsti una visita presso una industria del settore elettronico ed un seminario finale su semiconduttori organici e OLED.
TESTI CONSIGLIATI	Slides of the complete course can be downloaded from the teacher pages at unipa website. J. Singh, "Semiconductor Devices – an introduction" McGraw-Hill (1994) P. Battacharya "Semiconductor Optoelectronic Devices", Prentice Hall, 2nd edition (1997) J. Singh "Semiconductor Optoelectronics – Physics and technology", McGrawHill (1995)

PROGRAMMA

ORE	Lezioni
4	Introduzione - Nanostrutture e confinamento quantico: quantum wells, wires e dots. Analisi di QW quadrata reale e QW triangolare ideale
4	Richiami di fisica dello stato solido, Proprieta' dei diagrammi a bande E(k) dei semiconduttori, semiconduttori a gap diretto e indiretto, Densita' degli stati per bulk e per QW e conseguenze per l'inversione di popolazione
7	Concetti avanzati sui semiconduttori Drogaggio degenero (integrale di Fermi-Dirac, approssimazione di Joyce-Dixon) Non equilibrio (iniezione ad alto livello) e quasi livelli di Fermi applicazione al caso della giunzione pn Riconbinazione non-radiativa tramite trappole a meta' gap Superfici dei semiconduttori Fermi level pinning Riconbinazione non radiativa superficiale
2	Guide ottiche e riflessione interna totale Guide ottiche planari e modi di propagazione Guide ottiche 2D e metodo dell'indice efficace
4	Semiconduttori composti binari IV-IV, III-V e II-VI Leghe ternarie e quaternarie, legge di Vegard, costante reticolare e gap Possibilita' di crescita epitassiale con costante reticolare adattata al substrato Strati deformati elasticamente (strained layers), effetti della deformazione su gap e massa efficace dei portatori di carica Cenni alla crescita di self-assembled quantum dots
6	Crescita dei semiconduttori massivi Metodo della fornace: a gradiente di raffreddamento, metodo di Bridgman Metodo del tiraggio: Czochralski con incapsulamento liquido (LEC) Crescita epitassiale: da fase liquida LPE, da fase vapore VPE (idruri, alogenuri e metallorganici) e da fasci molecolari (MBE)
6	Eterogiunzioni brusche: isotipo Nn e comportamento rettificante o ohmico in dipendenza dei drogaggi, anisotipo Pn e comportamento rettificante con trasporto unipolare della corrente diretta doppia eterogiunzione PpN, PiN ed NpN, tracciatura del diagramma a bande a circuito aperto e con polarizzazione e stima del potenziale di contatto (built-in voltage), cenno all'eterogiunzione graduale Modulation doping e delta-doping
12	Transistori bipolari a eterogiunzione (HBT) Transistori a effetto di campo MESFET FET ad eterostruttura (HFET) FET a modulazione di drogaggio (MODFET o HEMT) Circuito a piccolo segnale in alta frequenza e frequenza di transizione
6	Proprieta' ottiche dei semiconduttori: assorbimento ed emissione Centri di ricombinazione radiativa nei semiconduttori a gap indiretto Diodi emettitori di luce (Light emitting diodes, LEDs) Emissione spontanea LED ad omogiunzione LED a doppia eterostruttura
8	LASER a semiconduttore (diodi LASER) Emissione stimolata ed inversione di popolazione Guadagno ottico nei semiconduttori: bulk e quantum well Cavita' ottica di Fabry-Perot e modi longitudinali Doppia eterostruttura e modi trasversi Corrente di soglia per l'oscillazione laser Potenza di uscita, efficienza differenziale ed efficienza di conversione della potenza Diodi laser a Quantum well/strained quantum well
ORE	Esercitazioni
2	Quantum well quadrata reale e triangolare ideale, stima dell'energia dello stato fondamentale tramite il principio di indeterminazione di Heisenberg
2	Proprieta' dei diagrammi a bande e concetti avanzati sui semiconduttori
2	Guide ottiche, leghe quaternarie, strain e spessore critico

ORE	Esercitazioni
2	Epitassia LPE ed a fasci molecolari MBE
2	Eterogiunzioni e tracciatura in scala dei diagrammi a bande
2	Transistori bipolari ad eterogiunzione HBT
2	MODFET ed HFET
2	Propieta' ottiche dei semiconduttori, assorbimento ed emissione
2	Light emitting diodes (LED)
2	Diodi LASER
ORE	Laboratori
2	Dimostrazione pratica su LED e diodi LASER, soglia, spettro di emissione e campo vicino