



# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

<b>DIPARTIMENTO</b>	Ingegneria
<b>ANNO ACCADEMICO OFFERTA</b>	2021/2022
<b>ANNO ACCADEMICO EROGAZIONE</b>	2021/2022
<b>CORSO DILAUREA MAGISTRALE</b>	ELECTRONICS ENGINEERING
<b>INSEGNAMENTO</b>	HETEROSTRUCTURE DEVICES
<b>TIPO DI ATTIVITA'</b>	C
<b>AMBITO</b>	20925-Attività formative affini o integrative
<b>CODICE INSEGNAMENTO</b>	19700
<b>SETTORI SCIENTIFICO-DISCIPLINARI</b>	ING-INF/01
<b>DOCENTE RESPONSABILE</b>	CUSUMANO PASQUALE Ricercatore Univ. di PALERMO
<b>ALTRI DOCENTI</b>	
<b>CFU</b>	6
<b>NUMERO DI ORE RISERVATE ALLO STUDIO PERSONALE</b>	102
<b>NUMERO DI ORE RISERVATE ALLA DIDATTICA ASSISTITA</b>	48
<b>PROPEDEUTICITA'</b>	
<b>MUTUAZIONI</b>	
<b>ANNO DI CORSO</b>	1
<b>PERIODO DELLE LEZIONI</b>	1° semestre
<b>MODALITA' DI FREQUENZA</b>	Facoltativa
<b>TIPO DI VALUTAZIONE</b>	Voto in trentesimi
<b>ORARIO DI RICEVIMENTO DEGLI STUDENTI</b>	<b>CUSUMANO PASQUALE</b> 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

<b>PREREQUISITI</b>	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.
<b>RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI</b>	<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>
<b>VALUTAZIONE DELL'APPRENDIMENTO</b>	<p>Lo studente può scegliere tra una prova orale o, in alternativa, una prova scritta (1 ora e 30 min) con domande a risposta aperta seguita da una discussione sulle risposte fornite. Valutazione in trentesimi. 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>
<b>OBIETTIVI FORMATIVI</b>	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 pratiche sui LED e i diodi LASER sono concepite per integrare e approfondire quanto svolto a lezione. 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 permette 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.
<b>ORGANIZZAZIONE DELLA DIDATTICA</b>	

	Il corso si compone di un gruppo di lezioni frontali riguardanti i semiconduttori composti, le eterostrutture, il confinamento quantico ed i piu' importanti dispositivi elettronici ad eterostruttura come transistori HBT e FET e dispositivi optoelettronici come LED e diodi LASER. Durante il corso sono previste esercitazioni pratiche nel Laboratorio Didattico di Fotonica riguardanti l'utilizzo di LED e diodi LASER in vari contesti applicativi.
<b>TESTI CONSIGLIATI</b>	Slides of the full course are available to the students through the course webpage at unipa. J. Singh, "Semiconductor Devices – an introduction" McGraw-Hill (1994) ISBN 978-0071139069 P. Battacharya "Semiconductor Optoelectronic Devices", Prentice Hall, 2nd edition (1997) ISBN 978-0134956565 J. Singh "Semiconductor Optoelectronics – Physics and technology", McGrawHill (1995) ISBN 978-0070576377 The above paper books are available for on loan at the Engineering Central Library or at the ex DEIM library (block 9).

### PROGRAMMA

ORE	Lezioni
6	Concetti di base della meccanica quantistica - Nanostrutture e confinamento quantico: quantum wells, wires e dots. Analisi della QW quadrata reale. Potenziale periodico e modello di Kronig-Penney
5	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
5	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 Ricombinazione non-radiativa tramite trappole a meta' gap Superfici dei semiconduttori Fermi level pinning Ricombinazione 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
6	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
7	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
5	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
6	LASER a semiconduttore (diodi LASER) Inversione di popolazione e guadagno ottico per emissione stimolata 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 con regione attiva a Quantum well/strained quantum well
ORE	Laboratori
2	Esercitazione pratica LED e diodi Laser n.1
2	Esercitazione pratica LED e diodi Laser n.2
2	Esercitazione pratica LED e diodi Laser n.3