



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PALERMO

FACOLTA'	SCUOLA POLITECNICA
ANNO ACCADEMICO OFFERTA	2015/2016
ANNO ACCADEMICO EROGAZIONE	2015/2016
CORSO DI LAUREA MAGISTRALE	INGEGNERIA ELETTRONICA
INSEGNAMENTO	DISPOSITIVI OPTOELETTRONICI
TIPO DI ATTIVITA'	B
AMBITO	50364-Ingegneria elettronica
CODICE INSEGNAMENTO	13513
SETTORI SCIENTIFICO DISCIPLINARI	ING-INF/01
DOCENTE RESPONSABILE	MOSCA MAURO Ricercatore Univ. di PALERMO
CFU	9
NUMERO DI ORE RISERVATE ALLO STUDIO PERSONALE	144
NUMERO DI ORE RISERVATE ALLA DIDATTICA ASSISTITA	81
PROPEDEUTICITA'	
ANNO DI CORSO	1
SEDE	Vedi Calendario Lezioni
PERIODO DELLE LEZIONI	Periodo 1°
TIPO DI VALUTAZIONE	Voto in trentesimi
MODALITA' DI FREQUENZA	Facoltativa

DOCENTE: Prof. MAURO MOSCA

ORGANIZZAZIONE DELLA DIDATTICA	Lezioni frontali, esercitazioni teoriche, laboratorio
METODO DELLA VALUTAZIONE	Prova orale
CALENDARIO DELLE ATTIVITA' DIDATTICHE	Vedi Calendario Lezioni
ORARIO DI RICEVIMENTO DEGLI STUDENTI	
RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI	<p>Conoscenza e capacità di comprensione Il corso si propone d'introdurre lo studente ai principi dell'optoelettronica moderna e di fornire alcuni concetti avanzati nell'ambito dei dispositivi optoelettronici (sorgenti, celle solari e rivelatori). Per ogni dispositivo verranno forniti i principi teorici basilari, le metodologie di caratterizzazione e le applicazioni. Particolare enfasi sarà data ai dispositivi commerciali e alle applicazioni di tali dispositivi. La parte introduttiva del corso – riguardante essenzialmente i principi dell'optoelettronica tradizionale – sarà corredata da una serie di esercitazioni numeriche, atte a verificare la comprensione e il grado di maturità e di assimilazione dei concetti esposti. Agli studenti sarà inoltre richiesto di svolgere alcune esercitazioni sperimentali presso il laboratorio didattico di fotonica. Al termine del corso gli studenti avranno acquisito una conoscenza globale dei principi dell'optoelettronica e, in particolare, delle sorgenti e dei rivelatori optoelettronici moderni, oltre che delle celle solari dalla prima all'ultima generazione, e ne comprenderanno i principi di funzionamento e le loro applicazioni.</p> <p>Capacità di applicare conoscenza e comprensione Grazie ad un approccio dinamico orientato verso le applicazioni, ci si aspetta che lo studente sia in grado di sapere applicare al mondo reale quanto appreso in aula. Le esercitazioni numeriche e di laboratorio forniranno un supporto fondamentale a tal scopo, poiché permetteranno agli studenti stessi di applicare ai dispositivi reali le nozioni apprese durante le ore di lezione frontale.</p> <p>Autonomia di giudizio Il corso ha lo scopo non solo di arricchire le conoscenze dei dispositivi optoelettronici moderni, ma anche di far acquisire i metodi con i quali si affronta la loro caratterizzazione. Gli studenti saranno pertanto in grado di interpretare e giustificare il comportamento dei vari dispositivi. Avranno inoltre acquisito una metodologia propria di analisi dei dispositivi e delle metodologie di caratterizzazione e di misura, in modo da risolvere un problema nel modo più efficace possibile; attraverso tali metodologie essi saranno in grado di scegliere i componenti più adatti per l'applicazione richiesta.</p> <p>Abilità comunicative Gli studenti acquisiranno la capacità di comunicare ed esprimere problematiche inerenti i dispositivi optoelettronici e le loro applicazioni. In particolare saranno in grado di sostenere un dibattito o un colloquio sia sulle tradizionali, che sulle più moderne e innovative sorgenti fotoniche (coerenti e non coerenti), sui fotorivelatori di ultima generazione e sulle celle fotovoltaiche.</p> <p>Capacità d'apprendimento Agli studenti verranno indicati i mezzi per completare ed affinare le nozioni acquisite durante il corso universitario. In particolare, essi saranno in grado di affrontare in autonomia diverse problematiche relative alla comprensione fisica e alla caratterizzazione dei dispositivi optoelettronici moderni, oltre che alla scelta dell'applicazione più opportuna. Questa padronanza consentirà loro di accedere senza sforzo sia ad ambiti professionali di alto livello tecnico nel settore, sia a corsi di dottorato dell'area elettronica e fotonica.</p>
OBIETTIVI FORMATIVI	Conoscenza dell'optoelettronica di base e dei principi fisici di funzionamento dei moderni dispositivi optoelettronici, delle loro applicazioni, delle metodologie di caratterizzazione e misura.
TESTI CONSIGLIATI	<ul style="list-style-type: none">- Dispense fornite dal docente- J. Singh: Semiconductor Optoelectronics: Physics and technology, Mc-Graw-Hill, Inc. (1995)- S. M. Sze, M. K. Lee: Semiconductor Devices. Physics and Technology (3rd edition), John Wiley & Sons, Inc. (2012)- C. W. Wilmsen, H. Temkin, L. A. Coldren: Vertical-Cavity Surface-Emitting Lasers: Design, Fabrication, Characterization, and Applications, Cambridge University Press (2001)- E. F. Schubert: Light-Emitting Diodes, Cambridge University Press (2006)- D. Sands: Diode lasers, IoP Publishing (2005)- S. D. Gunapala, D. R. Rhiger, C. Jagadish: Advances in Infrared Photodetectors (Semiconductors and Semimetals, Vol. 84), Elsevier (2011)

- M. Henini, M. Razeghi: Optoelectronic devices: III Nitrides, Elsevier (2005)
 - A. Buckley: Organic Light-Emitting Diodes (OLEDs): Materials, devices and applications, Woodhead Publishing (2013)

Lezioni

ORE	ARGOMENTO
1	INTRODUZIONE AL CORSO
1	NATURA DELLA LUCE E SUE PROPRIETA': Richiami di ottica ondulatoria e quantistica: Riflessione e rifrazione. Interferenza e diffrazione. Effetto fotoelettrico. Fotoni. Natura duale della luce. Spettro elettromagnetico. Dispersione. Reticolo di diffrazione. Spettrometro
1	MODULAZIONE DELLA LUCE: Polarizzazione della luce. Polarizzatori. Attività ottica. Modulatore elettro-ottico: effetto Pockels, effetto Kerr
2	SPECCHI DIELETRICI E MICROCAVITA' OTTICHE: Problematiche legate all'uso degli specchi metallici nei dispositivi optoelettronici. Coefficiente di riflessione nel caso di due dielettrici e calcolo della riflettività. Caso aria-film dielettrico-substrato: calcolo della riflettività. Diagramma di riflettività: influenza dell'indice di rifrazione del substrato e dello spessore del film dielettrico. Scelta dei materiali per la realizzazione di uno specchio dielettrico
4	PRINCIPI FISICI E PROPRIETA' DEI FOTORIVELATORI: Rivelatori termici: termoelettrici, bolometri, piroelettrici. Dispositivi emissivi: fotocatodi, NEA. Rivelatori fotonici: fotomoltiplicatori, fotoconduttori, fotovoltaici. Circuiti applicativi. Risposta e guadagno. Rivelatori MQW. Fotodiodi: fotodiodi al silicio, materiali per fotodiodi. Tempo di risposta. Rumore. Rivelatori Schottky e MSM. Rivelatori APD. Fototransistor. CCD
3	PRINCIPI FISICI E PROPRIETA' DEI LED: Iniezione e luminescenza. Ricombinazione radiativa: meccanismi, equazione di ricombinazione bimolecolare. Ricombinazione non radiativa. Larghezza di emissione. Struttura e fabbricazione dei LED. Estrazione della luce. Diagramma di radiazione. Tempo di risposta. Proprietà elettriche e resistenze parassite. Caratteristica intensità radiante-corrente. Circuiti applicativi (d.c., a.c., modulazione on/off e lineare). Efficienza
4	PRINCIPI FISICI E PROPRIETA' DEI LASER: Radiazione emessa ed assorbita. Relazioni di Einstein. Inversione di popolazione. Laser a tre livelli: guadagno. Laser a quattro livelli. Risonatori ottici. Oscillazioni laser: innesco. Proprietà dei laser. Modi longitudinali. Doppler shift. Modi trasversali. Laser impulsati: Q-switching. Laser ad Argon. Laser a Nd:YAG. Laser a semiconduttore: modello a bande di energia, polarizzazione, drogaggio, lasing conditions, perdite, laser ad eterogiunzione, caratteristica intensità radiante-corrente.
3	ETEROSTRUTTURE E CRESCITA EPITASSIALE: Semiconduttori composti. Struttura della materia e tipi di reticoli cristallini. Struttura cristallina del diamante e della zincoblenda. Struttura della Wurtzite. Crescita epitassiale: da fase liquida (LPE), da fase vapore (VPE, MOCVD), a fasci molecolari (MBE). Diagrammi bandgap-parametro di maglia nei semiconduttori composti. Legge di Vegard. Band engineering. Regola di Anderson. Allineamenti di bande e tipi di eterostrutture (I, II, III). Difetti cristallini. Eterostrutture "lattice-matched". Eterostrutture "lattice mismatched". Materiali pseudomorfi. Strained layers. Dislocazioni di tipo "misfit" e "threading". Spessore critico. Substrati virtuali (free-standing)
4	MATERIALI PER DISPOSITIVI OPTOELETTRONICI: Elementi e leghe utilizzati in optoelettronica. Materiali a gap indiretta e transizioni relative. Le leghe GaAsP, GaP, GaAsP:N, and GaP:N. I sistemi AlGaAs/GaAs. I sistemi AlGaInP/GaAs. Il carburo di silicio (SiC). I sistemi GaN, AlGaIn, InGaIn, AlGaInN: problematiche, dislocazioni, metodi per ridurre le dislocazioni, crescita ELOG. Polarizzazione spontanea e piezoelettrica nei nitruuri. Regioni attive sottili e spesse nei nitruuri. Contatti ohmici ed effetti di polarizzazione nei nitruuri. Drogaggio p del GaN. Effetti di ricombinazione nelle dislocazioni. Teorie accreditate per spiegare l'elevata efficienza dei nitruuri. Il "green-gap".
3	TECNICHE DI CARATTERIZZAZIONI DI MATERIALI E DISPOSITIVI: Misure L-I-V. Profilo di drogaggio tramite misure C-V. Misure C-V tramite metodo elettrochimico (ECV). Misure di resistenza e resistività di contatto: metodo TLM. Diffrazione a raggi X (XRD): spettro caratteristico e bremsstrahlung, origine dello spettro, legge di Bragg, metodi di Laue e delle polveri, diffrattometro alla Bragg-Brentano, diffrattogramma 2θ - 2θ , texture e mosaicità, rocking curve (omega-scan), goniometro a 4 cerchi (ω -scan, figura dei poli), legge di Scherrer, deformazioni reticolari
3	LA RIVELAZIONE UV E I RIVELATORI "SOLAR BLIND": La rivelazione ultravioletta. Classificazione dei rivelatori UV. Parametri dei fotorivelatori UV. NEP e detectivity. Materiali per la rivelazione UV. Fotodiodi al Si per l'UV ("UV-enhanced"): a strato d'inversione, altri tipi. Fotorivelatori in SiC. Fotorivelatori in GaN e AlGaIn: fotoconduttori, fotodiodi, Schottky e MSM. Guadagno, responsivity e rumore nei fotoconduttori e nei fotovoltaici basati su nitruuri. Window layer nei fotoconduttori e nei MSM. Applicazioni in biofotonica (erythema-weighted detector). Applicazione come rivelatore di fiamma "solar blind". Componenti commerciali
3	LA RIVELAZIONE IR E I RIVELATORI QWIP (QUANTUM-WELL INFRARED PHOTODETECTORS): Cenni storici. Generalità sulla rivelazione IR. Sviluppo dei sistemi di rivelazione IR. BLIP (background-limited infrared photodetection). FPA (focal-plane arrays): di prima generazione, di seconda generazione, ibridi. Fotodiodi in HgCdTe. Assorbimento intersubbanda e principio fisico dei QWIP. Classificazione dei QWIP: n-doped bound-to-bound, n-doped bound-to-continuum, n-doped bound-to-quasibound, n-doped broadband, n-doped bound-to-bound miniband, n-doped bound-to-continuum miniband, n-doped bound-to-miniband, n-doped step bound-to-miniband. Dark current nei QWIP. Risposta spettrale dei QWIP. Accoppiamento della luce nei QWIP: random reflector, reticolo 2D. Visione dual-band: regime MWIR e LWIR. Applicazioni: visione notturna, rivelazione di rugosità superficiale, rivelazione di campi minati. Componenti commerciali

Lezioni

ORE	ARGOMENTO
4	CELLE SOLARI DI PRIMA, SECONDA E TERZA GENERAZIONE: Principi di funzionamento delle celle solari. Sistemi a concentrazione. Schema e proprietà di una cella solare al Si monocristallino. Caratteristica I-V. Schema circuitale equivalente di una cella solare. Massima potenza d'uscita. Efficienza e fill factor. Resistenza serie e corrente di ricombinazione. Materiali per celle solari: wafer-based e thin films. Celle tandem e spectrum splitting. Celle PERL (Passivated Emitter and Rear-Locally diffused). Celle tandem monolitiche III-V. Celle al Si amorfo. Celle al Si amorfo drogato e al Si amorfo-microcristallino. Celle CIGS (CuInGaSe). Dye-sensitized solar cells (DSSC)
2	STRUTTURE AVANZATE PER LED AD ALTA EFFICIENZA: Motivi che ostacolano la fabbricazione di LED ad alta efficienza e relative soluzioni. Doppia eterostruttura. Quantum-wells. Eterostruttura a confinamento separato: SCH standard e GRINSCH. Perdita di cariche. Meccanismi radiativi e non radiativi. Cono di emissione luminosa: efficienze di estrazione. Ottimizzazione delle geometrie. Strato finestra spesso e substrato trasparente. Ulteriori tecniche per aumentare l'efficienza: geometrie TIP, specchi riflettenti (lift-off epitassiale), superfici rugose (etching GaN, natural lithography), microriflettori sepolti, strutture rastremate (tecnica del photoresist reflow)
2	LED SUPERLUMINESCENTI (SLED): Principio di funzionamento. Caratteristiche e differenze con i LED e i laser tradizionali. Tipi di SLED: AR coating e lossy region. SLED con guida d'onda inclinata. Bent waveguide. Spettro di emissione. Caratteristica L-I. LED di Burrus. Applicazioni tipiche: tomografia ottica a coerenza di fase (OCT), giroscopi a fibra ottica. Componenti commerciali
5	LED BIANCHI (CON NOZIONI DI RADIOMETRIA, FOTOMETRIA E COLORIMETRIA): La visione umana. Grandezze radiometriche e fotometriche: intensità radiante e luminosa, flusso radiante e luminoso, irradianza e illuminanza, radianza e luminanza. Curva di sensibilità dell'occhio umano. Efficacia ed efficienza luminosa. Funzioni color-matching. Valori di tristimolo. Coordinate cromatiche. Diagramma di cromaticità (CIE - 1931). Ellissi di MacAdam. Diagramma di cromaticità uniforme (CIE - 1976). Coordinate cromatiche uniformi. Lunghezza d'onda dominante e purezza di colore. LED nel diagramma di cromaticità. Colore e cromaticità. Radiazione di corpo nero di Planck. Luogo geometrico di Planck nel diagramma di cromaticità. Temperatura di colore e temperatura di colore correlata. Sintesi additiva. Color gamut. Resa del colore. Indice di resa cromatica (Color Rendering Index - CRI). Generazione di luce bianca con LED: sorgenti dicromatiche, tricromatiche e tetracromatiche, discrete e monolitiche. Color mixing di due LED. Efficacia luminosa di LED dicromatici e tricromatici. Dipendenza dalla temperatura (per LED tricromatici). Generazione di luce bianca tramite frequency-down conversion: fosfori. Efficienza dei fosfori. Materiali utilizzati per la down-conversion: fosfori, coloranti organici (dyes), semiconduttori. LED PRS(photon recycling semiconductors). Fosfori basati su granati drogati con terre rare. Il Ce:YAG: spettro di emissione, gamut nel diagramma di cromaticità. LED bianchi per conversione di fosfori e basati su Ce:YAG: di prima generazione, ad alto CRI. Uniformità di colore. Distribuzione spaziale dei fosfori. Confronto tra le efficienze luminose di vari tipi di LED bianchi. Componenti commerciali
4	LED ORGANICI (OLED): Richiami di chimica organica. Polimeri conduttori. Orbitali leganti ed antileganti. Orbitali molecolari sigma e pi-greco. Delocalizzazione degli elettroni. Polimeri coniugati. Bande di energia nei composti organici: HOMO (Highest Occupied Molecular Orbital) e LUMO (Lowest Unoccupied Molecular Orbital). Materiali amorfi: densità degli stati e mobilità. Materiali per gli OLED: a basso peso molecolare (monomeri e oligomeri) e polimeri. Transizione vetrosa. Tecniche di deposizione di film organici: OMBE, Langmuir-Blodgett, spinning, dipping, stampa a getto d'inchiostro. Purificazione del materiale: gradient sublimation. Materiali emissivi: l'Alq3. Livelli energetici dell'Alq3. Struttura fisica di un OLED: lo strato emissivo (EML) e gli strati trasportatori di elettroni (ETL) e di lacune (HTL). Iniezione e trasporto negli OLED: posizione dei livelli energetici. Polarizzazione degli OLED: iniezione e ricombinazione. Modello TCL (trapped charge-limited). Il processo di emissione tramite eccitoni. Rilassamento di Franck-Condon. Processi di ricombinazione. Stati di singoletto e di tripletto. Vantaggi e svantaggi degli OLED rispetto ai LED inorganici tradizionali. Applicazioni tipiche: Passive-Matrix OLED (PMOLED), Active-Matrix OLED (AMOLED), Transparent OLED (TOLED), Top-emitting OLED (TEOLED), OLED flessibili, OLED bianchi. Dispositivi commerciali
4	LASER A CAVITA' VERTICALE (VCSEL): Edge-emitting e surface-emitting laser. Struttura di una cavità VCSEL. Condizione di soglia. Distribuzione di campo longitudinale dentro la cavità. Guadagno e corrente di soglia in funzione della riflettività (casi: GaAs e GaN). DBR (Distributed Bragg Reflectors): lunghezza efficace della cavità, effetti delle perdite per assorbimento, effetto delle interfacce graduali, resistenza degli specchi, specchi graduali. Efficienza differenziale. Wall-plug efficiency. Confinamento laterale. Ossidazione laterale dell'AlGaAs. Ossidazione laterale dei nitruri. Passi di fabbricazione di un VCSEL con ossidazione laterale.
3	QUANTUM-CASCADE LASER (QCL): Cenni storici. Banda di conduzione in un QCL: regione di iniezione e regione attiva, livelli ULL, LLL, DPL. Rilassamento attraverso fononi ottici longitudinali. Wannier-Stark ladder: trasporto e riutilizzo degli elettroni. Differenze e similitudini con i laser tradizionali. Guadagno in un QCL e in un laser convenzionale. Transizioni diagonali: anti-crossing. Minibande nei super-reticoli: modello di Kronig-Penney. Stati super-reticolari in una struttura periodica GaAs/AlGaAs. Laser a minibande o a super-reticolo: continuum-to-continuum, bound-to-continuum. Guide d'onda nei QCL: risonanza di plasma nel GaAs pesantemente drogato, plasmoni. Applicazioni. Componenti commerciali

Esercitazioni

ORE	ARGOMENTO
3	PRINCIPI FISICI E FUNZIONAMENTO DEI FOTORIVELATORI

Esercitazioni

ORE	ARGOMENTO
3	PRINCIPI FISICI E FUNZIONAMENTO DEI LED
3	PRINCIPI FISICI E FUNZIONAMENTO DEI LASER

Laboratori

ORE	ARGOMENTO
4	CARATTERIZZAZIONE DI RIVELATORI "SOLAR BLIND" IN AlGaN
4	FABBRICAZIONE DI UNA CELLA SOLARE "DYE-SENSITIZED" (DSSC)
4	FABBRICAZIONE E CARATTERIZZAZIONE DI LED BIANCHI PER DYE DOWN-CONVERSION
4	FABBRICAZIONE E CARATTERIZZAZIONE DI UN OLED