

Obiettivi

L'obiettivo principale del corso di Bioelettronica è quello di fornire allo studente gli strumenti necessari a comprendere i principi fondamentali che descrivono l'interfaccia tra un sistema biologico e un sistema artificiale che, in ultima analisi, avrà lo scopo di provvedere al suo monitoraggio. Questo significa non solo apprendere le proprietà fisiche fondamentali dei sistemi materiali che costituiscono l'interfaccia, ma anche e soprattutto capire le modalità di passaggio di carica tra le due categorie di sistemi, in modo da poter comprendere poi con più facilità, nel prosieguo del corso di studi, il significato fisico dei segnali prodotti dall'interazione tra questi sistemi. In sintesi, queste sono le nozioni alla base del funzionamento di qualunque sistema di monitoraggio biomedicale.

Conoscenza e capacità di comprensione.

Alla fine del corso ci si aspetta che lo studente conosca:

- le proprietà fisiche fondamentali dei materiali costituenti rispettivamente i sistemi naturali (materiali a base di carbonio, portatori di carica ionici) e i sistemi artificiali di misura (silicio, portatori di carica elettronici)
- le modalità con cui un sistema naturale produce un segnale elettrico
- il comportamento di un dispositivo elettronico elementare, quale un diodo e un transistor ad effetto di campo.
- il concetto di biosensore e, in particolare, come un transistor possa diventare un biosensore in opportune condizioni di misura.

Capacità di applicare conoscenza e comprensione. Alla fine del corso ci si aspetta che lo studente sia in grado di:

- risolvere semplici problemi relativi al comportamento fisico dei dispositivi elettronici
- comprendere e descrivere le modalità di generazione di segnali elettrici da parte di sistemi biologici (quali ad esempio una cellula)
- prevedere e descrivere le proprietà di interfaccia tra un sistema solido qualsiasi e un sistema fluido di tipo biologico

Autonomia di giudizio. Alla fine del corso ci si aspetta che lo studente sia in grado individuare autonomamente e valutare i dati necessari all'identificazione e soluzione di un problema tecnico/scientifico in relazione alla generazione di segnali bioelettronici, essendo in grado di prevedere le proprietà di un sistema costituito da un materiale analogo al silicio e un sistema biologico.

Abilità comunicative. Alla fine del corso ci si aspetta che lo studente abbia acquisito un'adeguata proprietà di linguaggio in relazione ai contenuti del corso, in modo da essere compreso senza fraintendimenti da un interlocutore con conoscenze tecniche adeguate, e da veicolare in modo semplice i concetti essenziali anche verso un interlocutore non tecnicamente competente.

Capacità di apprendimento. Alla fine del corso ci si aspetta che lo studente abbia il bagaglio di conoscenze e le metodologie necessarie ad approfondire autonomamente e nel prosieguo degli studi la propria preparazione nell'ambito della generazione di segnali biomedici e della realizzazione di sistemi di monitoraggio bioelettronico. In particolare lo studente dovrà essere in grado di applicare le informazioni in proprio possesso al fine di affrontare lo studio di sistemi di monitoraggio bioelettronico in cui verrà data per acquisita la componente di interfaccia e verranno invece affrontati con maggiore profondità problemi relativi al trattamento del segnale e alla sua interpretazione.

Prerequisiti

Esistono propedeuticità indicate nel regolamento del corso di laurea: trattandosi di un corso del III anno, è richiesto di aver sostenuto l'esame di fisica I, fisica II e analisi matematica I e II.

Avere dimestichezza con la fisica elementare aiuta sicuramente la comprensione di diverse parti del programma.

Contenuti

L'esame è suddiviso in 2 moduli.

PRIMO MODULO: ELETTRONICA DEI DISPOSITIVI

1) Proprietà fisiche dei semiconduttori (8 ore)

Cenni alla meccanica quantistica: il modello energetico di un atomo

Dall'atomo ai cristalli: il modello a bande di energia, popolazione delle bande, livello di Fermi, statistica di Fermi-Dirac

Classificazione dei materiali in base alla loro conducibilità: metalli, semiconduttori, isolanti

Semiconduttori intrinseci ed estrinseci; mobilità, legge dell'azione di massa

Diffusione, Legge di Einstein

2) La giunzione PN (8 ore + 8 ore esercitazione)

Generalità: struttura e distribuzione dei campi elettrici interni, diagramma a bande all'equilibrio, tensione intrinseca

Soluzione dell'equazione di Poisson nei casi brusco e a gradiente lineare

Caratteristica C-V; Equazione I-V nel caso ideale

Non idealità: influenza delle dimensioni dei lati della giunzione, effetti di generazione-ricombinazione, effetti di Resistenza delle regioni neutre e di alto livello di iniezione

Breakdown della giunzione

Circuiti equivalenti: concetto di piccolo segnale, linearizzazione delle curve caratteristiche

3) I contatti metallo-semiconduttore (4 ore + 6 ore esercitazione)

Generalità: struttura, diagramma a bande all'equilibrio, classificazione delle interfacce in base alle energie

Contatto Schottky: definizione di altezza di barriera, analisi dei campi elettrici interni e della distribuzione di carica, derivazione della caratteristica corrente-tensione, caratteristica C-V; deviazione dall'idealità

Classificazione delle interfacce: effetti chimico-fisici

Caso ohmico, concetto di Resistenza specifica

4) I transistor a effetto di campo (6 ore + 6 ore esercitazione)

Il transistor come dispositivo attivo: funzionalità dei transistor, effetto di campo

Struttura MOS: analisi del diagramma a bande, distribuzione di carica, soluzione dell'equazione di Poisson, distribuzione interna dei potenziali; caratteristiche Capacità - Tensione

MOSFET: analisi del comportamento fisico, derivazione dell'equazione della corrente, caratteristica C-V, modello circuitale equivalente.

5) Circuiti a diodi e a transistor (4 ore)

Semplici esempi e soluzione dei circuiti

SECONDO MODULO: INTERFACCE BIOELETTRONICHE

1) Proprietà fondamentali delle molecole biologiche (8 ore)

Legami chimici, legami fisici. Interazioni tra ioni e molecole nel vuoto e nei mezzi.

L'atomo di Carbonio - proprietà di ibridizzazione degli orbitali e loro conseguenze.

Acqua - proprietà chimico-fisiche

2) Sistemi molecolari complessi: membrane, proteine, acidi nucleici (6 ore)

Proprietà di auto-organizzazione delle molecole: Langmuir-Blodgett films, monostrati auto-assemblati. La membrana fosfolipidica. Le proteine. Gli acidi nucleici: struttura, funzione.

3) La cellula: struttura e proprietà generali (8 ore)

Mantenimento del volume cellulare. Segnali elettrici nelle cellule: i neuroni, il potenziale d'azione, la membrana vista come un sistema elettrico, il potenziale d'azione come meccanismo di conduzione elettrica nelle cellule

4) L'interfaccia Bioelettronica (6 ore)

Elettrodi polarizzabili, non polarizzabili, interfacce isolanti, struttura EIS

5) Dispositivi basati su interfacce bioelettroniche (6 ore)

ISFET

CHEMFET

6) Elettronica dei semiconduttori organici (8 ore)

Proprietà dei semiconduttori organici. Contatti metallo - semiconduttore. Dispositivi organici a effetto di campo. Sensori organici

7) Tecnologie microelettroniche (8 ore)

Principali metodi per la realizzazione di dispositivi elettronici basati sul silicio e su polimeri

Metodi Didattici

Il corso prevede una prova scritta (della durata di 2 ore, sulla prima parte del corso) e una prova orale obbligatoria per la seconda parte del corso e facoltativa per la prima parte, purchè la valutazione dello scritto sia stata sufficiente (l'orale non fa media aritmetica con l'esito della prova scritta e la sua valutazione può anche compromettere l'esito dell'esame). La prova scritta si compone solitamente di due esercizi volti a verificare l'effettiva acquisizione dei risultati di apprendimento attesi, toccando la maggior

parte del programma a diversi livelli di dettaglio e includendo problemi ingegneristici alla portata dello studente che non richiedano la banale applicazione di una formula ma l'analisi del contesto al fine di identificare una soluzione corretta.

La valutazione è oggettiva, definita sulla base della correttezza di ogni esercizio (al quale è associato un punteggio fisso, sulla base del livello di difficoltà). La prova scritta viene valutata in modo che, anche senza effettuare un orale, gli studenti meritevoli siano in grado di raggiungere il voto massimo (30/30). E' obbligatorio, per il superamento della prova, che la valutazione complessiva sia almeno pari a 18/30. Se la valutazione è compresa tra 15/30 e 18/30, è obbligatoria una prova orale anche sulla prima parte.

Lo studente è stimolato ad andare al di là del semplice studio finalizzato alla risoluzione di un esercizio, applicandosi su problemi che richiedono la capacità di passare dal concetto astratto alla sua applicazione pratica. Allo studente è sempre chiesto di motivare la risposta fornita, o mediante il procedimento matematico di calcolo, o mediante un commento chiaro. Un tale approccio alla stesura del compito rende possibile l'accertamento delle competenze e della capacità di applicarle a semplici problemi, in funzione del livello raggiunto, e permette anche di valutare le capacità comunicative e l'autonomia di giudizio.

Il numero di appelli è definito in accordo con il regolamento di Facoltà. Appelli extra per fuori corso possono essere, per motivate ragioni, richiesti al docente.

Verifica dell'apprendimento e regole d'esame

L'esame finale consiste in una prova scritta, costituita da 2 esercizi, e di una orale. La parte scritta consente di accertare la capacità dello studente di applicare i concetti assimilati a problemi di natura più pratica. Per la parte scritta: ogni esercizio riguarda il programma di una meta' del modulo di Elettronica dei Dispositivi, ovvero: - il primo esercizio riguarda giunzioni pn e contatti metallo-semiconduttore - il secondo esercizio riguarda MOS e MOSFET Sono ammessi all'orale coloro che ottengono una votazione complessiva almeno pari a 15/30 nello scritto.

Alla prova scritta gli studenti possono portare con se il seguente materiale:

- 1 libro di testo (ad esempio lo Sze)
- le copie delle slide del corso
- il formulario disponibile nel materiale didattico online

Non possono essere portati, pena l'annullamento del compito, esercizi svolti, nemmeno sotto forma di aggiunta "a mano" al materiale sopra citato.

Successivamente alla prova orale, viene attribuito un voto complessivo pari alla media della valutazione dello scritto e dell'orale, con eventuali arrotondamenti a salire o a scendere, non superiori al 20%.

Testi

Prima parte:

L. Colombo, "Elementi di struttura della materia", Hoepli Editore, Milano

M. Guzzi, "Principi di fisica dei semiconduttori", Hoepli Editore, Milano

S. M. Sze, "Dispositivi a semiconduttore, comportamento fisico e tecnologia", Hoepli

R.S. Muller, T.I. Kamins, "Dispositivi elettronici nei circuiti integrati", Bollati Boringhieri

G. Ghione, "Dispositivi per la microelettronica", McGraw-Hill

Addison-Wesley Modular Series on Solid State Devices (sono una serie di volumi in inglese, ciascuno dedicato ad un particolare dispositivo)

Seconda parte:

M. Grattarola, G. Massobrio, Bioelectronics Handbook, Mc Graw-Hill (1998)

Altre Informazioni

Il materiale didattico (slides) è stato usato dal docente per creare le diapositive proiettate in aula a lezione. Dal momento che le slide sono troppo concise, è fondamentale che gli studenti prendano appunti in aula e si confrontino con il materiale didattico a casa. Vengono resi disponibili esercizi che vengono corretti in aula. Alcune prove d'esame (solo testo) vengono ugualmente fornite. Inoltre viene svolta almeno una simulazione d'esame, dove gli studenti possono usare qualsiasi tipo di materiale e possono collaborare fra loro. Tutto il materiale è in formato pdf (a parte il materiale per il laboratorio, ovviamente), sempre protetto da password e non editabile, in funzione delle normative sul diritto d'autore. La password è fornita agli studenti nelle prime lezioni.