

DENOMINAZIONE INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

Materiali Semiconduttori e Componenti Elettronici: Studio e Applicazioni in Laboratorio

Semiconductor Materials and Electronic Components: Study and Applications in the Laboratory

INFORMAZIONI INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

A.A.	2027-2028	CdS	SCIENZA DEI MATERIALI
Codice	8068670	Canale	Unico
CFU	6	Lingua	Italiano

DOCENTE RESPONSABILE DELL'INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

Matteo Salvato

CODOCENTE

Modulo:

OBIETTIVI FORMATIVI E RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI

Italiano	OBIETTIVI FORMATIVI: Al termine del corso lo studente deve possedere una conoscenza completa dei principi fondamentali dell'elettronica di base. Deve essere a conoscenza dei principi di funzionamento di dispositivi a semiconduttore, diodi, transistor, amplificatori, filtri e dei materiali impiegati per la loro realizzazione. Deve possedere capacità di realizzare semplici circuiti elettrici in cui vengano utilizzati i componenti elettronici studiati. Deve essere in grado di progettare e realizzare un esperimento utilizzando le conoscenze acquisite. CONOSCENZA E CAPACITÀ DI COMPrensIONE: E' previsto che lo studente acquisisca la conoscenza delle fasi di realizzazione di un circuito integrato; delle proprietà necessarie dei materiali per la loro miniaturizzazione; la conoscenza dei principi di base del funzionamento di dispositivi elettronici. Abbia la capacità di comprendere la differenza tra dispositivo elettronico attivo e elementi passivi. Sia capace di comprendere le circostanze in cui un determinato dispositivo elettronico possa essere utilizzato. Possa comprendere i vantaggi derivanti dall'utilizzo di un determinato dispositivo elettronico e sappia di conseguenza operare la migliore scelta per il funzionamento di un determinato circuito. CAPACITÀ DI APPLICARE CONOSCENZA E COMPrensIONE: Sono previste lezioni di laboratorio in cui lo studente deve acquisire la capacità di applicare le conoscenze teoriche apprese per la formulazione di un progetto di circuito elettronico e per la sua realizzazione pratica. In ognuna delle esperienze di laboratorio lo studente deve acquisire la capacità di realizzare circuiti elettrici complessi partendo dalla conoscenza del principio di funzionamento dei singoli dispositivi. Al termine del corso lo studente deve essere in grado
----------	--

	di individuare il metodo più economico e il materiale più adatto per la realizzazione di un'apparecchiatura funzionante. AUTONOMIA DI GIUDIZIO: Durante il lavoro di laboratorio lo studente deve acquisire la capacità di individuare le grandezze fisiche di interesse e di misurare i dati sperimentali relativamente alla loro determinazione. Deve essere in grado di individuare eventuali errori sistematici che posano inficiare la raccolta di dati corretti. Deve saper valutare la correttezza del risultato in base ad un riesame critico dell'esperimento. ABILITÀ COMUNICATIVE: Al termine di ogni esperienza di laboratorio, lo studente deve essere in grado di descrivere l'esperimento nella sua totalità e il ruolo svolto dai singoli componenti utilizzati e il motivo per cui viene scelto un determinato materiale. Deve essere in grado di dare una descrizione completa, supportata da grafici e figure, delle misure effettuate in maniera orale e scritta. Deve essere in grado di sintetizzare il lavoro svolto in laboratorio in una relazione sintetica che contenga tutti i passi salienti dell'esperimento. CAPACITÀ DI APPRENDIMENTO: Al termine del corso lo studente deve dimostrare di aver compreso il funzionamento dei principali dispositivi utilizzati durante il corso. Di saper distinguere quale tra i dispositivi studiati e utilizzati sia il più adatto per la realizzazione di un determinato esperimento. Di mostrare indipendenza e capacità critica nella realizzazione di una determinata apparecchiatura elettronica. La valutazione della conoscenza avviene mediante esame orale durante il quale lo studente è chiamato a comunicare le conoscenze acquisite sia teoriche che pratiche sugli argomenti studiati
English	<i>LEARNING OUTCOMES Upon completion of the course, students should possess a comprehensive understanding of the fundamental principles of basic electronics. They should be familiar with the operating principles of semiconductor devices, diodes, transistors, amplifiers, filters, and the materials used to manufacture them. They should be able to construct simple electrical circuits using the electronic components studied. They should be able to design and conduct an experiment using the knowledge acquired.</i> <i>KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING: Students are expected to acquire knowledge of the manufacturing stages of an integrated circuit; the properties of materials required for miniaturization; and the basic principles of electronic device operation. They should be able to understand the difference between active and passive electronic devices. They should be able to understand the circumstances in which a given electronic device can be used. They should understand the advantages of using a given electronic device and, consequently, be able to make the best choice for the operation of a given circuit.</i> <i>APPLYING KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING: Laboratory lessons are included, enabling students to apply their theoretical knowledge to design and implement electronic circuits. In each laboratory experience, students must acquire the ability to construct complex electrical circuits, starting with an understanding of the operating principles of individual devices. At the end of the course, students should be able to identify the most economical method and the most suitable materials for building a functioning device.</i> <i>MAKING JUDGEMENTS: During laboratory work, students must acquire the ability to identify physical quantities of interest and measure experimental data to determine them. They must be able to identify any systematic errors that could compromise the collection of accurate</i>

	<i>data. They must be able to evaluate the accuracy of the result based on a critical review of the experiment.</i> <i>COMMUNICATION SKILLS: At the end of each laboratory experience, students must be able to describe the experiment as a whole, the role played by the individual components used, and the rationale for choosing a specific material. They must be able to provide a complete description, supported by graphs and figures, of the measurements performed, both orally and in writing. They must be able to summarize the laboratory work in a concise report that contains all the key steps of the experiment.</i> <i>LEARNING SKILLS: At the end of the course, students must demonstrate an understanding of the operation of the main devices used during the course. They must be able to distinguish which of the devices studied and used is best suited for a given experiment. They must demonstrate independence and critical thinking in the construction of specific electronic equipment. Knowledge is assessed through an oral exam, during which students are required to communicate their theoretical and practical knowledge of the topics studied.</i>
--	--

PREREQUISITI

Italiano	Lo studente deve aver frequentato i corsi di Laboratorio di Fisica Sperimentale I e II. Deve possedere conoscenze di base della meccanica quantistica e del trasporto della corrente nei solidi. Deve conoscere l'analisi dei dati sperimentali, grandezze fisiche, errori sperimentali, errori sistematici. Deve essere in grado di analizzare un circuito elettrico formato da elementi attivi (generatori di tensione e corrente) e passivi (resistenze elettriche, capacità e induttanze). Deve avere una conoscenza dettagliata del funzionamento di un partitore di tensione, di un filtro passivo passa basso e passa alto. Deve conoscere l'analisi in frequenza di una forma d'onda complessa (serie di Fourier)
English	<i>Students must have attended the Experimental Physics Laboratory I and II courses. They must possess basic knowledge of quantum mechanics and current transport in solids. They must be familiar with the analysis of experimental data, physical quantities, experimental errors, and systematic errors. They must be able to analyze an electrical circuit consisting of active elements (voltage and current sources) and passive elements (electrical resistors, capacitances, and inductors). They must have a detailed understanding of the operation of a voltage divider, a passive low-pass filter, and a passive high-pass filter. They must be familiar with the frequency analysis of a complex waveform (Fourier series).</i>

PROGRAMMA E CRONOPROGRAMMA

Italiano	Linee di trasmissione: struttura di una linea e materiali utilizzati, impedenza caratteristica e coefficiente di riflessione. Cenni sulla struttura a bande dei semiconduttori. Legge di azione di massa, trasporto elettrico nei semiconduttori, correnti di diffusione e di drift. Drogaggio dei semiconduttori. Materiali utilizzati per il drogaggio p e n. Giunzioni p-n. Potenziale di barriera. Polarizzazione diretta e inversa della giunzione p-n. Caratteristica I-V del diodo. Applicazioni del diodo: raddrizzatore a semionda, a doppia onda, a ponte di Graetz, circuito livellatore,
----------	---

	ripple. Giunzione metallo semiconduttore. Caratteristiche dei materiali da utilizzare in una giunzione metallo-semiconduttore. Fotodiodi: funzionamento e tempo di risposta Transistor: funzionamento; equazioni fondamentali, caratteristiche di ingresso e uscita. Effetto Early. Retta di carico. Determinazione dei parametri per fissare il punto di lavoro. Circuiti di polarizzazione. Polarizzazione di emettitore. Autopolarizzazione con partitore di tensione. Modello a.c. a pi greco per piccoli segnali. Amplificazione di tensione. Impedenza di ingresso e uscita. Amplificatore a Emittitore Comune (CE) con e senza capacità di by pass. Configurazione a Collettore Comune (CC). Amplificatore differenziale. Cenni sul MOSFET: principio di funzionamento e applicazione nei circuiti digitali. Circuiti integrati. Tecniche di fabbricazione di circuiti integrati. Fotolitografia ottica e per fascio elettronico. Limite quantistico per il funzionamento di un componente elettronico. Nuovi materiali 2D per superare il limite quantistico Amplificatore Operazionale (OPAMP): caratteristiche ideali, concetto di massa virtuale, impedenza di ingresso e uscita nei casi ideale e reale. Circuito reazionato. OPAMP in configurazione invertente e non invertente: amplificazione, impedenza di ingresso e uscita nei casi ideale e reale. Risposta in frequenza dell'OPAMP. Circuiti con OPAMP: sommatore, media, DAC. Filtri attivi: filtro passa basso e integratore. Filtro passa alto e derivatore. Amplificatore differenziale, CMRR. Amplificatore per strumentazione. ESPERIENZE DI LABORATORIO: 5 esperienze scelte tra: 1) Misura dell'impedenza e del coefficiente di riflessione di una linea di trasmissione, 2) caratteristica I-V del diodo. Circuito raddrizzatore, circuito livellatore, ripple. 3) Misura del tempo di risposta di un fotodiodo. 4) Misura delle caratteristiche di ingresso e di uscita del transistor BJT. Misura del parametro hfe. 5) progettazione di un circuito di autopolarizzazione del transistor. 6) realizzazione di amplificatori in configurazione CE e CC. 7) OPAMP in configurazione non invertente e invertente. Verifica delle proprietà. Voltage follower. 8) OPAMP: risposta in frequenza. 9) Filtri attivi passa alto e passa basso. Derivatore e integratore. 10) OPAMP differenziale. Eliminazione dell'offset e misura del CMRR. 11) Amplificatore per strumentazione.
English	<i>Transmission lines: structure of a line and materials used, characteristic impedance and reflection coefficient. Overview of the band structure of semiconductors. Law of mass action, electrical transport in semiconductors, diffusion and drift currents. Doping of semiconductors. Materials used for p- and n-doping. P-n junctions. Barrier potential. Forward and reverse bias of the p-n junction. I-V characteristic of a diode. Diode applications: half-wave rectifier, double-wave rectifier, Graetz bridge, smoothing circuit, ripple. Metal-semiconductor junction. Characteristics of materials used in a metal-semiconductor junction. Photodiodes: operation and response time</i> <i>Transistors: operation; fundamental equations, input and output characteristics. Early effect. Load line. Determination of parameters for setting the operating point. Bias circuits. Emitter bias. Self-bias with voltage divider. AC pi model for small signals. Voltage amplification. Input and output impedance. Common-emitter amplifier (CE) with and without bypass capacitor. Common-collector (CC) configuration. Differential amplifier.</i>

	<i>Mosfet overview: operating principle and application in digital circuits. Integrated circuits. Integrated circuit fabrication techniques. Optical and electron-beam photolithography. Quantum limit for the operation of an electronic component. New 2D materials to overcome the quantum limit.</i> <i>Operational amplifier (OPAMP): ideal characteristics, concept of virtual ground, input and output impedance in ideal and real cases. Feedback circuit. OPAMP in inverting and non-inverting configurations: amplification, input and output impedance in ideal and real cases. OPAMP frequency response. OPAMP circuits: summing, averaging, DAC. Active filters: low-pass filter and integrator. High-pass filter and differentiator. Differential amplifier, CMRR. Instrumentation amplifier.</i> <i>LABORATORY EXPERIENCES: 5 experiments chosen from: 1) Measurement of the impedance and reflection coefficient of a transmission line, 2) I-V characteristic of the diode. Rectifier circuit, smoothing circuit, ripple. 3) Measurement of the response time of a photodiode. 4) Measurement of the input and output characteristics of the BJT transistor. Measurement of the hfe parameter. 5) Design of a transistor self-bias circuit. 6) Construction of amplifiers in CE and CC configurations. 7) OPAMP in non-inverting and inverting configurations. Verification of the properties. Voltage follower. 8) OPAMP: frequency response. 9) Active high-pass and low-pass filters. Shunt and integrator. 10) Differential OPAMP. Offset elimination and measurement of the CMRR. 11) Instrumentation amplifier.</i>
--	---

TESTI ADOTTATI E BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

Italiano	1) 1- Millman-Grabel Microelettronica Mc Graw Hill (Reference Book) 2) 2- Millman Microelectronics Mc Graw Hill (Reference Book) 3) 3- Horowitz The Art of Electronics Cambridge University Press 4) 4- Malvino Electronic Principles McGraw Hill (for beginners) 5) 5- Sedra-Smith Microelectronic Circuits Oxford University 6) 6- Razavi Fundamental of Microelectronics Wiley and Sons 7) 7- SIMETRIX (free download Electronic Workbench)
English	1) 1- Millman-Grabel Microelettronica Mc Graw Hill (Reference Book) 2) 2- Millman Microelectronics Mc Graw Hill (Reference Book) 3) 3- Horowitz The Art of Electronics Cambridge University Press 4) 4- Malvino Electronic Principles McGraw Hill (for beginners) 5) 5- Sedra-Smith Microelectronic Circuits Oxford University 6) 6- Razavi Fundamental of Microelectronics Wiley and Sons 7) 7- SIMETRIX (free download Electronic Workbench)

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI SVOLGIMENTO E METODI DIDATTICI ADOTTATI

☒ In presenza

☐ A distanza

Italiano	Il corso consiste in una parte di lezioni frontali e una parte di laboratorio. Durante le lezioni frontali sono spiegati i concetti teorici e pratici relativi agli argomenti trattati. Durante alcune
----------	--

	lezioni saranno spiegate le tecniche sperimentali impiegate e la metodologia di operare in laboratorio per eseguire le esperienze richieste. Durante le lezioni di laboratorio lo studente acquisisce alcune conoscenze relative a metodi di simulazione di circuiti elettronici e messa in pratica dei concetti acquisiti durante le lezioni frontali. Attraverso un processo graduale lo studente realizza circuiti elettronici di complessità man mano più elevata con stretto riferimento alla parte teorica studiata. Per il corretto svolgimento della parte di laboratorio è fortemente consigliato lo studio della relativa parte teorica.
English	<i>The course consists of lectures and laboratory work. Lectures explain the theoretical and practical concepts related to the topics covered. Some lectures also explain the experimental techniques used and the laboratory methodology for performing the required experiments.</i> <i>During the laboratory work, students acquire knowledge of electronic circuit simulation methods and the practical application of the concepts learned during the lectures. Through a gradual process, students build increasingly complex electronic circuits, closely focusing on the theoretical part studied. To successfully complete the laboratory work, it is strongly recommended that students study the relevant theoretical part.</i>

MODALITÀ DI FREQUENZA

☐ frequenza obbligatoria ☒ frequenza facoltativa

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI FREQUENZA

Italiano	La frequenza del corso non è obbligatoria. Tuttavia la frequenza del corso è fortemente consigliata in quanto le esperienze di laboratorio seguono immediatamente la lezione teorica sul determinato argomento. Per affrontare l'esame orale si richiede la presenza di almeno il 90% delle lezioni in laboratori. nel caso di mancata frequenza del laboratorio lo studente è tenuto a sostenere una prova pratica prima dell'esame orale.
English	<i>Course attendance is not mandatory. However, it is strongly recommended as laboratory experiences immediately follow the theoretical lecture on the given topic.</i> <i>To take the oral exam, students must attend at least 90% of the laboratory sessions. Students who do not attend the laboratory sessions must take a practical test before the oral exam.</i>

MODALITÀ DI VALUTAZIONE

☐ Prova scritta ☒ Prova orale ☐ Prova di laboratorio ☐ Prova pratica
☒ Valutazione in itinere ☐ Valutazione di progetto ☐ Valutazione di tirocinio

COMPOSIZIONE DELLA COMMISSIONE VALUTATRICE

Matteo Salvato, Manuela Angela Scarselli, Riccardo Ciciotti

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ E DEI CRITERI DI VERIFICA DELL'APPRENDIMENTO

Italiano	La prova di esame sarà valutata secondo i seguenti criteri: Non idoneo: importanti carenze e/o inaccuratezza nella conoscenza e comprensione degli argomenti; limitate capacità di analisi e sintesi, frequenti generalizzazioni. 18-20: conoscenza e comprensione degli argomenti appena sufficiente con possibili imperfezioni; capacità di analisi sintesi e autonomia di giudizio sufficienti. 21-23: Conoscenza e comprensione degli argomenti routinaria; Capacità di analisi e sintesi corrette con argomentazione logica coerente. 24-26: Discreta conoscenza e comprensione degli argomenti; buone capacità di analisi e sintesi con argomentazioni espresse in modo rigoroso. 27-29: Conoscenza e comprensione degli argomenti completa; notevoli capacità di analisi, sintesi. Buona autonomia di giudizio. 30-30L: Ottimo livello di conoscenza e comprensione degli argomenti. Notevoli capacità di analisi e di sintesi e di autonomia di giudizio. Argomentazioni espresse in modo originale.
English	<i>The exam will be evaluated according to the following criteria:</i> <i>Failure: significant deficiencies and/or inaccuracies in knowledge and understanding of the topics; limited analytical and synthesis skills; frequent generalizations.</i> <i>18-20: Barely adequate knowledge and understanding of the topics, with possible imperfections; sufficient analytical, synthesis skills and independent judgment.</i> <i>21-23: Routine knowledge and understanding of the topics; correct analytical and synthesis skills with coherent logical argumentation.</i> <i>24-26: Fair knowledge and understanding of the topics; good analytical and synthesis skills with rigorously expressed arguments.</i> <i>27-29: Complete knowledge and understanding of the topics; remarkable analytical and synthesis skills. Good independent judgment.</i> <i>30-30L: Excellent knowledge and understanding of the topics. Remarkable analytical and synthesis skills and independent judgment. Originally expressed arguments.</i>