

NANOELETTRONICA – I ANNO L.S., 10 CREDITI

PROF. ALESSANDRO SPINELLI

Scopo del corso è di offrire una visione approfondita del funzionamento dei più comuni dispositivi utilizzati nell'elettronica moderna, con particolare riguardo alle tecnologie bipolari e MOS. Il corso parte dagli aspetti legati alla fisica di base del funzionamento per spingersi fino all'ottimizzazione dei dispositivi per le applicazioni in tecnologie decananometriche.

1) Ripasso di concetti di base

I semiconduttori, reticoli di base e struttura a bande. Statistiche dei portatori e livello di Fermi. Equazioni di continuità. Deriva e diffusione e trasporto dei portatori maggioritari e minoritari.

2) Dispositivi a giunzione

Diodi a giunzione p-n:

Ripasso delle caratteristiche del diodo: approssimazione di svuotamento, campo elettrico e struttura a bande. Polarizzazione inversa e diretta.

Correnti di generazione-ricombinazione in zona di carica spaziale. Dipendenza dalla temperatura. Condizioni di alta iniezione. Breakdown della giunzione, effetto valanga e Zener.

Caratterizzazione sperimentale, estrazione di resistenza serie e profilo di drogaggio. Cenno ai diodi ad eterogiunzione.

Diodi metallo/semiconduttore:

Diagramma a bande. Caratteristica del diodo: teoria dell'emissione termoionica e teoria diffusiva. Abbassamento di barriera ed effetto sulle caratteristiche. Stati superficiali e *pinning* del livello di Fermi.

Contatti ohmici e resistenza di contatto. Requisiti per contatti ohmici su tecnologie scalate.

Transistore bipolare:

Struttura e principio di funzionamento. Guadagno di corrente e caratteristiche di uscita.

Effetti del secondo ordine: effetto Early, ricombinazione in zona di carica spaziale BE, alti livelli di iniezione alle giunzioni BE e BC (effetto Kirk). Resistenza di base. Moltiplicazione a valanga alla giunzione BC.

Cenno ai modelli di Ebers-Moll e a controllo di carica. Modello di piccolo segnale.

Criteri di progetto dei BJT ed emettitore in polisilicio. Transistori ad eterogiunzione

3) Dispositivi ad effetto di campo

Condensatore MOS:

Il sistema MOS, potenziale, cariche e capacità, dipendenza dalla frequenza. Cariche nell'ossido e stati interfacciali; metodo capacitivo di estrazione della densità di stati interfacciali. Il gated-diode. Gate in polisilicio ed effetto sulle caratteristiche C-V.

Transistori MOS:

Modello a canale graduale e caratteristiche. Effetto body, conduzione sottosoglia, resistenza di uscita, dipendenze dalla temperatura, effetti della saturazione di velocità nel canale, mobilità di basso campo.

Elettroni nel canale 2D dei MOSFET, effetti di quantizzazione di carica ed impatto su tensione di soglia e capacità. Tunnel attraverso l'ossido di gate, tunnel diretto e di Fowler-Nordheim. Cenni ai problemi di affidabilità degli ossidi.

Modello bidimensionale del campo elettrico nel MOS in saturazione, ionizzazione per impatto nel drain, correnti di substrato e di gate, snap-back delle caratteristiche di uscita. Cenno ai modelli lucky-electron.

Architetture LDD. GIDL.

Il corso sarà integrato da seminari tenuti da esperti provenienti da Numonyx e relativi ad aspetti di caratterizzazione elettrica e di tecnologie per memorie non-volatili.

Bibliografia:

Molti sono i libri sui dispositivi elettronici. Tra questi si possono segnalare i seguenti:

C.-T. Sah, "Fundamentals of solid-state electronics", World scientific, 1991.

R. S. Muller, T. I. Kamins, "Device electronics for integrated circuits", 3rd ed., Wiley-VCH, 2003.

D. A. Neamen, "Semiconductor physics and devices", 3rd ed., McGraw-Hill, 2002.

S. M. Sze, K. Ng, "Physics of semiconductor devices", 3rd ed., Wiley Interscience, 2007. Quest'ultimo è più utile come riferimento che come testo didattico.

Un testo più avanzato per le parti sui MOS e bipolari è:

Y. Taur, T. H. Ning, "Fundamentals of modern VLSI devices", 2nd ed., Cambridge Univ. Press, 2009.

Sul sito docente (home.dei.polimi.it/spinelli/) sono disponibili link ad altre risorse disponibili in rete.