



UNIVERSITÀ DI PISA

DIPARTIMENTO DI  
FISICA E. Fermi

Largo Pontecorvo, 3  
I-56127 Pisa, Italy

Francesco Fuso

Tel. +39 0502214305, 293  
Fax +39 0502214333  
fuso@df.unipi.it  
<http://www.df.unipi.it/~fuso/>

Pisa, 9/10/2006

## Corso di Laurea Specialistica in Scienza dei Materiali

### Fisica delle nanotecnologie

#### Programma di massima del corso a.a. 2006/2007

**Aspetti fisici di base delle nanostrutture:** definizioni, motivazioni, ambito e concetti fondamentali; l'ambito della micro- e nanoelettronica: richiami sugli aspetti di base dell'elettronica convenzionale: trasporto diffusivo e comportamento dei film sottili, giunzioni con semiconduttori, transistor bipolare; tecnologie "planari" e richiami sul funzionamento del MOS-FET; alcuni problemi di miniaturizzazione.

**Tecnologie per la fabbricazione di film sottili:** crescita epitassiale ed eteroepitassiale ed aspetti microstrutturali; cenni sulle tecniche di doping dei semiconduttori e limiti di miniaturizzazione; principali metodi fisici e chimici per la deposizione di film sottili: MBE, MO-MBE, sputtering, PLAD, PE-CVD, LPE, Langmuir-Blodgett; tecniche di nanoimprinting.

**Tecnologie per l'osservazione e la definizione per via ottica di nanostrutture:** tecniche top-down convenzionali: litografia ottica; richiami sulla diffrazione ottica, risoluzione spaziale e limite di Abbe; microscopia ottica convenzionale (cenni di microscopia convenzionale); strategie per l'aumento della risoluzione spaziale: sorgenti VUV e X, cenni di tecnologia del resist e dell'etching, etching anisotropo, side-wall patterning; manipolazione laser di atomi neutri e litografia atomica come esempio di tecnica bottoms-up.

**Tecnologie per l'osservazione e la definizione di nanostrutture mediante fasci di cariche:** microscopia elettronica SEM e TEM: funzionamento e principali meccanismi di contrasto, campo chiaro e campo scuro; litografia elettronica e tecniche SCALPEL: vantaggi e limiti connessi.

**Tecnologie per l'analisi e la manipolazione di nanoparticelle mediante microscopia a scansione di sonda:** generalità sulla SPM: modi di operazione, artefatti, risoluzione spaziale; effetto tunnel (richiami); interazione meccanica tra atomi e superfici; esempi di SPM: AFM, STM, SFM, EFM, MFM,...; microscopia a campo prossimo ottico (SNOM); esempi di nanomanipolazione e nanolitografia mediante SPM; nanoscrittura ottica.

**Nanostrutture isolate e materiali nanocompositi:** cenni su metodi di fabbricazione di nanoclusters; nanofili metallici e non-metallici; nanostrutture di carbonio: fabbricazione, struttura, proprietà elettroniche e meccaniche di nanotubi di carbonio; esempi di nanocompositi e loro proprietà strutturali.

**Proprietà di trasporto in sistemi e dispositivi a bassa dimensionalità:** densità degli stati e dimensionalità dei sistemi; gas elettronici 2D all'interfaccia tra semiconduttori; effetto Hall quantistico: livelli di Landau, quanto di resistenza di von Klitzing; guide d'onda elettroniche in nanostrutture 1D: livelli di Landauer; effetto tunnel da barriera doppia e diodi ad effetto tunnel risonante; fenomeni di singolo elettrone ed effetti di Coulomb-blockade e Coulomb staircase in sistemi 0D; cenni su superconduttori e giunzioni SIS e NIS, effetto Josephson, dispositivi SQUID e RSFQL.

**Aspetti nanotecnologici di dispositivi e materiali per l'immagazzinamento di informazioni:** immagazzinamento di carica in memorie dinamiche e flash; dispositivi innovativi (memorie a singolo elettrone, materiali ferroelettrici inorganici ed organici); memorie magnetiche: limite di superparamagnetismo; memorie ottiche read-only e riscrivibili: materiali fotocromici e a cambiamento di fase, limite della diffrazione e nuove tecnologie.



UNIVERSITÀ DI PISA

DIPARTIMENTO DI  
FISICA E. Fermi

Largo Pontecorvo, 3  
I-56127 Pisa, Italy

Francesco Fuso

Tel. +39 0502214305, 293  
Fax +39 0502214333  
fuso@df.unipi.it  
<http://www.df.unipi.it/~fuso/>

Pisa, 9/10/2006

**Esempi di sistemi nanotecnologici di natura organica:** fondamenti della conduzione in polimeri coniugati e ruolo del drogaggio; trasferimento di carica in molecole singole ed esempi di nanoelettronica intramolecolare (cavi, switches, diodi,...); crescita per autoassemblaggio molecolare e replicazione: strati autoassemblati di alcanolioli e loro proprietà fondamentali; esempi di replicazione e di macchine molecolari.

**Proprietà ottiche in sistemi e dispositivi a bassa dimensionalità:** cenni sulle proprietà ottiche di nanoparticelle; proprietà ottiche in MQW e quantum dots: eccitoni; cenni su fenomeni plasmonici in nanoparticelle metalliche; esempi di luminescenza da nanocristalli e silicio poroso; richiami sui laser ad eterogiunzione ed aspetti fondamentali dei laser nanotecnologici (a quantum dot, a cavità verticale, a cascata quantica); dispositivi elettroluminescenti di natura organica; cenni su cristalli fotonici; esempi di nanofotonica.

**Testi di riferimento:** durante il corso di studio è prevista la distribuzione di materiale didattico e la sua pubblicazione sul sito del docente (<http://www.df.unipi.it/~fuso/dida>). Un elenco parziale dei testi di riferimento utilizzati comprende:

- P.Y. Yu, M. Cardona, *Fundamentals of semiconductors: physics and materials properties*, Springer Verlag (1999).
- F. Bassani, U.M. Grassano, *Fisica dello Stato Solido*, Bollati Boringhieri (2000).
- R. Waser (ed.), *Nanoelectronics and information technology*, Wiley-VCH (2003).
- B. Bushan (ed.), *Springer Handbook of nano-technology*, Springer (2004).
- P.N. Prasad, *Nanophotonics*, Wiley-Interscience (2004).
- M. Ohring, *The materials science of thin films*, Academic (1997).
- G. Timp, *Nanotechnology*, Springer-Verlag (1999).
- M.J. Madou, *Fundamentals of microfabrication*, CRC Press (1997).
- R. Wiesendanger, *Scanning Probe Microscopy: analytical methods (Nanoscience and Technology)*, Springer-Verlag (1998).
- C.P. Poole Jr and F. Owens, *Introduction to nanotechnology*, Wiley (2003).
- J.M. Tour, *Molecular Electronics*, World Scientific (2003).
- J.Y. Ying (ed.), *Nanostructured materials*, Academic Press (2001).
- D. Brandon and W.D. Kaplan, *Microstructural characterization of materials*, Wiley (1999).