



UNIVERSITÀ  
degli STUDI  
di CATANIA

DIPARTIMENTO DI FISICA ED ASTRONOMIA

Corso di laurea magistrale in Fisica

Anno accademico 2018/2019 - 1° anno - Curriculum CONDENSED  
MATTER PHYSICS

---

## PHYSICS OF MATERIALS

FIS/01 - 6 CFU - 1° semestre

### Docente titolare dell'insegnamento

#### ANTONIO TERRASI

**Email:** antonio.terradi@ct.infn.it

**Edificio / Indirizzo:** Edificio 6, Via S. Sofia 64

**Telefono:** 3392821464

**Orario ricevimento:** Martedì e Giovedì dalle ore 15:00 alle ore 17:00, a meno di impedimenti che verranno comunicati tramite la piattaforma Studium. Si suggerisce comunque di inviare una richiesta di colloquio via e-mail.

---

### OBIETTIVI FORMATIVI

Acquisizione delle conoscenze teoriche e dei principi fisici relativi agli argomenti in programma. Formazione di base sui materiali (proprietà fisiche, sintesi e applicazioni). Formazione di base su alcune tecniche di analisi sperimentale per lo studio dei materiali, con particolare riferimento alle applicazioni industriali per la microelettronica, l'energia rinnovabile e la nanotecnologia.

*Conoscenza e capacità di comprensione (knowledge and understanding).*

Comprensione critica dei principali fenomeni che riguardano la sintesi, i processi e la caratterizzazione dei materiali, sia a livello macroscopico che nanometrico.

*Capacità di applicare conoscenza e comprensione (applying knowledge and understanding)*

Capacità di applicare le conoscenze acquisite alla soluzione di problemi tecnologici reali in vari ambiti scientifici.

*Abilità comunicative (communication skills).*

Competenze nella comunicazione nell'ambito della Fisica dei materiali

*Capacità di apprendimento (learning skills).*

Acquisizione di adeguati strumenti conoscitivi per l'aggiornamento continuo delle conoscenze e della capacità di accedere alla letteratura specializzata sia nel campo della fisica dei materiali che della nanotecnologia.

### MODALITÀ DI SVOLGIMENTO DELL'INSEGNAMENTO

Lezioni frontali in aula

## PREREQUISITI RICHIESTI

Conoscenza della fisica generale relativa ai corsi del biennio, concetti di base sulla struttura della materia e meccanica quantistica.

---

## FREQUENZA LEZIONI

obbligatoria

---

## CONTENUTI DEL CORSO

**Proprietà e caratteristiche peculiari dei materiali** (metalli, ceramici, polimeri, semiconduttori e compositi). Legami nei solidi: metallico, ionico, covalente, di Van der Waals e misto.

Valutazioni semiquantitative dell'energia di legame e relazioni con la compressibilità. Strutture cristalline, fattore d'impacchettamento. Relazioni tra struttura microscopica e proprietà meccaniche.

**Energia di superficie dei solidi:** descrizione atomistica, termodinamica, meccanica.

Crescita a strati e ad isole dei film depositati. Energia dei contorni di grano in un policristallo, forma d'equilibrio dei grani cristallini. Microscopio elettronico in trasmissione: principi di funzionamento ed applicazioni.

### **Termodinamica e diagrammi di fase.**

Richiamo delle funzioni di stato termodinamiche. Fasi stabili e fasi metastabili. Criteri di stabilità delle fasi. Sistemi a componente singolo: diagramma PV, temperatura critica, coesistenza di due fasi, tensione di vapore, punto triplo. Curve di solidificazione, nucleazione omogenea ed eterogenea, influenza della struttura dell'interfaccia  $l/s$  sulla velocità di crescita, stabilità dell'interfaccia e formazione di dendriti. Nucleazioni e crescita di grani in silicio amorfo. Soluzioni binarie ideali e reali : costruzione dei diagrammi di fase, energia di mescolamento, entropia configurazionale. Sistemi completamente miscibili. Potenziale chimico ed attività. Condizioni di stabilità di una miscela. Soluzioni eterogenee, eutettico e peritettico. Attività in una soluzione con un gap di miscibilità. Transizioni di fase, nucleazione omogenea ed eterogenea, crescita dei grani, formazione di precipitati, tensione di vapore ed accrescimento di Ostwald. Curve di solidificazione. Sottoraffreddamento costituzionale. Strutture cellulari,

coefficiente di segregazione, normal freezing, processi di purificazione di un solido.

### **Diffusione nei solidi.**

Descrizione microscopica della diffusione atomica e derivazione del coefficiente di diffusione.

Stato stazionario: equazione di diffusione per una soluzione ideale. Stato stazionario: equazione di diffusione per una soluzione reale. Equazione di continuità e legge di Fick. Misura del coefficiente di diffusione e significato dell'energia di attivazione. Metodo per la misura della energia di formazione delle vacanze. Diffusione interstiziale. Profilo di concentrazione di due elementi dopo diffusione. Interdiffusione: coefficiente di diffusione efficace, effetto Kirkendall

### **Proprietà meccaniche dei solidi.**

Modulo di Young, rapporto di Poisson, modulo di scorrimento e di compressibilità, relazioni deformazione-tensione, tensore degli sforzi e delle deformazioni, costanti elastiche di un solido e loro dipendenza dalla simmetria della struttura, plasticità dei solidi, tensione di scorrimento, frattura. Difetti di punto e di linea. Vettore di Burger delle dislocazioni. Descrizione delle proprietà geometriche delle dislocazioni, campo di deformazione ed energia elastica di una dislocazione ad elica e a spigolo, interazioni tra dislocazioni. Gettering di impurezze metalliche in monocristalli di silicio.

### **Deposizione di film sottili per evaporazione.**

Nucleazione, crescita dei grani per ripening e coarsening. Caratteristiche meccaniche di un film sottile, interazione con il substrato, campo di deformazione, dilatazione termica ed influenza sull'imbarcamento del substrato. Interdiffusione in film sottili e formazione di composti.

Metallizzazione ed interconnessioni nei dispositivi a semiconduttore. Preparazione di strati monocristallini di semiconduttore per deposizione chimica da fase di vapore e per epitassia con fasci molecolari (MBE). Descrizione degli apparati sperimentali per la crescita epitassiale.

Omostrutture ed eterostrutture, disaccordo reticolare e spessori critici sistema Si-Ge. Proprietà elettriche ed ottiche degli strati semiconduttori e loro applicazioni in optoelettronica e microelettronica.

---

## TESTI DI RIFERIMENTO

'Materials Science' J.C.Anderson, K.D.Leaver, R.D.Rawlings, J.M.Alexander. Chapman and Hall.

'Termodinamica Statistica' C.Kittel, H.Kroemer. Boringhieri.

'Electronic Thin Film Science: For Electrical Engineering and Materials Scientist' King-Ning Tu,

J.W. Mayer, L. C. Feldman. Prentice Hall.

## ALTRO MATERIALE DIDATTICO

<http://studium.unict.it/dokeos/2018/>

---

## PROGRAMMAZIONE DEL CORSO

Argomenti	Riferimenti testi
1 Metalli, ceramici, polimeri, semiconduttori e compositi Legami nei solidi: metallico, ionico, covalente, di Van der Waals e misto	'Materials Science' J.C.Anderson, K.D.Leaver, R.D.Rawlings, J.M.Alexander. Chapman and Hall. 'Termodinamica Statistica' C.Kittel, H.Kroemer. Boringhieri. 'Electronic Thin Film Science: For Electrical Engineering and Materials Scientist' King-Ning Tu, J
2 Valutazioni semiquantitative dell'energia di legame e relazioni con la compressibilità. Strutture cristalline, fattore d'impacchettamento. Relazioni tra struttura microscopica e proprietà meccaniche.	'Materials Science' J.C.Anderson, K.D.Leaver, R.D.Rawlings, J.M.Alexander. Chapman and Hall. 'Termodinamica Statistica' C.Kittel, H.Kroemer. Boringhieri. 'Electronic Thin Film Science: For Electrical Engineering and Materials Scientist' King-Ning Tu, J
3 descrizione atomistica, termodinamica, meccanica Crescita a strati e ad isole dei film depositati. Energia dei contorni di grano in un policristallo, forma d'equilibrio dei grani cristallini	'Materials Science' J.C.Anderson, K.D.Leaver, R.D.Rawlings, J.M.Alexander. Chapman and Hall. 'Termodinamica Statistica' C.Kittel, H.Kroemer. Boringhieri. 'Electronic Thin Film Science: For Electrical Engineering and Materials Scientist' King-Ning Tu, J
4 Microscopio elettronico in trasmissione: principi di funzionamento ed applicazioni	'Materials Science' J.C.Anderson, K.D.Leaver, R.D.Rawlings, J.M.Alexander. Chapman and Hall. 'Termodinamica Statistica' C.Kittel, H.Kroemer. Boringhieri. 'Electronic Thin Film Science: For Electrical Engineering and Materials Scientist' King-Ning Tu, J

---

5	Richiamo delle funzioni di stato termodinamiche. Fasi stabili e fasi metastabili. Criteri di stabilità delle fasi. Sistemi a componente singolo: diagramma PV, temperatura critica, coesistenza di due fasi, tensione di vapore, punto triplo.	'Materials Science' J.C.Anderson, K.D.Leaver, R.D.Rawlings, J.M.Alexander. Chapman and Hall. 'Termodinamica Statistica' C.Kittel, H.Kroemer. Boringhieri. 'Electronic Thin Film Science: For Electrical Engineering and Materials Scientist' King-Ning Tu, J
6	Curve di solidificazione, nucleazione omogenea ed eterogenea, influenza della struttura dell'interfaccia l/s sulla velocità di crescita, stabilità dell'interfaccia e formazione di dendriti.	'Materials Science' J.C.Anderson, K.D.Leaver, R.D.Rawlings, J.M.Alexander. Chapman and Hall. 'Termodinamica Statistica' C.Kittel, H.Kroemer. Boringhieri. 'Electronic Thin Film Science: For Electrical Engineering and Materials Scientist' King-Ning Tu, J
7	Nucleazioni e crescita di grani in silicio amorfo. Soluzioni binarie ideali e reali Sistemi completamente miscibili. Potenziale chimico ed attività. Condizioni di stabilità di una miscela. Soluzioni eterogenee, eutettico e peritettico.	'Materials Science' J.C.Anderson, K.D.Leaver, R.D.Rawlings, J.M.Alexander. Chapman and Hall. 'Termodinamica Statistica' C.Kittel, H.Kroemer. Boringhieri. 'Electronic Thin Film Science: For Electrical Engineering and Materials Scientist' King-Ning Tu, J
8	Transizioni di fase, nucleazione omogenea ed eterogenea, crescita dei grani, formazione di precipitati, tensione di vapore ed accrescimento di Ostwald.	'Materials Science' J.C.Anderson, K.D.Leaver, R.D.Rawlings, J.M.Alexander. Chapman and Hall. 'Termodinamica Statistica' C.Kittel, H.Kroemer. Boringhieri. 'Electronic Thin Film Science: For Electrical Engineering and Materials Scientist' King-Ning Tu, J
9	Curve di solidificazione. Sottoraffreddamento costituzionale. Strutture cellulari, coefficiente di segregazione, normal freezing, processi di purificazione di un solido.	'Materials Science' J.C.Anderson, K.D.Leaver, R.D.Rawlings, J.M.Alexander. Chapman and Hall. 'Termodinamica Statistica' C.Kittel, H.Kroemer. Boringhieri. 'Electronic Thin Film Science: For Electrical Engineering and Materials Scientist' King-Ning Tu, J
10	Descrizione microscopica della diffusione atomica e derivazione del coefficiente di diffusione. Stato stazionario: equazione di diffusione per una soluzione ideale	'Materials Science' J.C.Anderson, K.D.Leaver, R.D.Rawlings, J.M.Alexander. Chapman and Hall. 'Termodinamica Statistica' C.Kittel, H.Kroemer. Boringhieri. 'Electronic Thin Film Science: For Electrical Engineering and Materials Scientist' King-Ning Tu, J
11	Stato stazionario: equazione di diffusione per una soluzione reale. Equazione di continuità e II legge di Fick.	'Materials Science' J.C.Anderson, K.D.Leaver, R.D.Rawlings, J.M.Alexander. Chapman and Hall. 'Termodinamica Statistica' C.Kittel, H.Kroemer. Boringhieri. 'Electronic Thin Film Science: For Electrical Engineering and Materials Scientist' King-Ning Tu, J

12 Misura del coefficiente di diffusione e significato dell'energia di attivazione. Metodo per la misura della energia di formazione delle vacanze. Diffusione interstiziale.	'Materials Science' J.C.Anderson, K.D.Leaver, R.D.Rawlings, J.M.Alexander. Chapman and Hall. 'Termodinamica Statistica' C.Kittel, H.Kroemer. Boringhieri. 'Electronic Thin Film Science: For Electrical Engineering and Materials Scientist' King-Ning Tu, J
13 Modulo di Young, rapporto di Poisson, modulo di scorrimento e di compressibilità, relazioni deformazione-tensione, tensore degli sforzi e delle deformazioni, costanti elastiche di un solido e loro dipendenza dalla simmetria della struttura, plasticità dei	'Materials Science' J.C.Anderson, K.D.Leaver, R.D.Rawlings, J.M.Alexander. Chapman and Hall. 'Termodinamica Statistica' C.Kittel, H.Kroemer. Boringhieri. 'Electronic Thin Film Science: For Electrical Engineering and Materials Scientist' King-Ning Tu, J
14 Difetti di punto e di linea. Vettore di Burger delle dislocazioni. Descrizione delle proprietà geometriche delle dislocazioni, campo di deformazione ed energia elastica	'Materials Science' J.C.Anderson, K.D.Leaver, R.D.Rawlings, J.M.Alexander. Chapman and Hall. 'Termodinamica Statistica' C.Kittel, H.Kroemer. Boringhieri. 'Electronic Thin Film Science: For Electrical Engineering and Materials Scientist' King-Ning Tu, J
15 Gettering di impurezze metalliche in monocristalli di silicio.	'Materials Science' J.C.Anderson, K.D.Leaver, R.D.Rawlings, J.M.Alexander. Chapman and Hall. 'Termodinamica Statistica' C.Kittel, H.Kroemer. Boringhieri. 'Electronic Thin Film Science: For Electrical Engineering and Materials Scientist' King-Ning Tu, J
16 Nucleazione, crescita dei grani per ripening e coarsening. Caratteristiche meccaniche di un film sottile. Interdiffusione in film sottili e formazione di composti. Metallizzazione ed interconnessioni nei dispositivi a semiconduttore.	'Materials Science' J.C.Anderson, K.D.Leaver, R.D.Rawlings, J.M.Alexander. Chapman and Hall. 'Termodinamica Statistica' C.Kittel, H.Kroemer. Boringhieri. 'Electronic Thin Film Science: For Electrical Engineering and Materials Scientist' King-Ning Tu, J
17 Descrizione degli apparati sperimentali per la crescita epitassiale. Omostrutture ed eterostrutture, disaccordo reticolare e spessori critici sistema Si-Ge.	'Materials Science' J.C.Anderson, K.D.Leaver, R.D.Rawlings, J.M.Alexander. Chapman and Hall. 'Termodinamica Statistica' C.Kittel, H.Kroemer. Boringhieri. 'Electronic Thin Film Science: For Electrical Engineering and Materials Scientist' King-Ning Tu, J
18 Proprietà elettriche ed ottiche degli strati semiconduttori e loro applicazioni in optoelettronica e microelettronica	'Materials Science' J.C.Anderson, K.D.Leaver, R.D.Rawlings, J.M.Alexander. Chapman and Hall. 'Termodinamica Statistica' C.Kittel, H.Kroemer. Boringhieri. 'Electronic Thin Film Science: For Electrical Engineering and Materials Scientist' King-Ning Tu, J

19	Nanostrutture metalliche	'Materials Science' J.C.Anderson, K.D.Leaver, R.D.Rawlings, J.M.Alexander. Chapman and Hall. 'Termodinamica Statistica' C.Kittel, H.Kroemer. Boringhieri. 'Electronic Thin Film Science: For Electrical Engineering and Materials Scientist' King-Ning Tu, J
20	Nanostrutture di semiconduttori	'Materials Science' J.C.Anderson, K.D.Leaver, R.D.Rawlings, J.M.Alexander. Chapman and Hall. 'Termodinamica Statistica' C.Kittel, H.Kroemer. Boringhieri. 'Electronic Thin Film Science: For Electrical Engineering and Materials Scientist' King-Ning Tu, J
21	Nanostrutture di Carbonio	'Materials Science' J.C.Anderson, K.D.Leaver, R.D.Rawlings, J.M.Alexander. Chapman and Hall. 'Termodinamica Statistica' C.Kittel, H.Kroemer. Boringhieri. 'Electronic Thin Film Science: For Electrical Engineering and Materials Scientist' King-Ning Tu, J
22	Materiali per la conversione energetica e le energie rinnovabili	'Materials Science' J.C.Anderson, K.D.Leaver, R.D.Rawlings, J.M.Alexander. Chapman and Hall. 'Termodinamica Statistica' C.Kittel, H.Kroemer. Boringhieri. 'Electronic Thin Film Science: For Electrical Engineering and Materials Scientist' King-Ning Tu, J
23	Ossidi trasparenti conduttivi	'Materials Science' J.C.Anderson, K.D.Leaver, R.D.Rawlings, J.M.Alexander. Chapman and Hall. 'Termodinamica Statistica' C.Kittel, H.Kroemer. Boringhieri. 'Electronic Thin Film Science: For Electrical Engineering and Materials Scientist' King-Ning Tu, J

## VERIFICA DELL'APPRENDIMENTO

### MODALITÀ DI VERIFICA DELL'APPRENDIMENTO

Colloquio

### ESEMPI DI DOMANDE E/O ESERCIZI FREQUENTI

Differenze tra stati amorfi, pocristallini e monocristallini della materia

Diffusione di atomi in solidi e sulla superficie

Nucleazione

Transizioni di Fase

Crescite di film sottili epitassiali

---