

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE
FACULTÉ DE GÉNIE
DOSSIER DE COURS

CODE ET TITRE	GMC 760 NANOCARACTÉRISATION DES SEMICONDUCTEURS
CRÉDITS	1 crédit
PROGRAMME(S) MODULE/LIEN	Maîtrise en génie mécanique Option (spécialité microingénierie)

COMPOSANTES	- Mathématiques	%
	- Sciences fondamentales	10 %
	- Sciences du génie	70 %
	- Conception en ingénierie	20 %
	- Études complémentaires	%
	Total :	100%

TEMPS DE TRAVAIL DES ÉTUDIANTS et DES ÉTUDIANTES	Travail (heures)	Évaluation	
		(%)	
& POIDS DES COMPOSANTES D'ÉVALUATION	<u>Travail encadré</u>		
	Leçons magistrales	15 heures	70
	Examen Écrit	3 heure	
	Visite Laboratoires	2 heures	
	<u>Travail non encadré</u>		
	Étude	10 heures	30
	Devoirs	15 heures	
	TOTAL		100

PROFESSEUR(S)	Richard Arès, Ph.D.
----------------------	---------------------

REMARQUES	
------------------	--

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

Objectifs généraux

S'initier aux méthodes et techniques de caractérisation utilisées en microingénierie.
Développer une compréhension globale des outils de caractérisations.

Objectifs spécifiques

Le cours GMC760 – Nanocaractérisation des semiconducteurs vise à:

- a. S'initier aux notions physico-chimiques de base sur lesquelles reposent les différentes méthodes de caractérisation des microstructures à semiconducteurs.
- b. Identifier les propriétés des matériaux qui sont mesurées par chacune des méthodes de caractérisation.
- c. Reconnaître les limites et les forces des méthodes de caractérisation.
- d. Comprendre la nature et le rôle des aspects techniques des méthodes de caractérisation.

En particulier, à la fin du cours, l'étudiante ou l'étudiant sera capable de :

a. **Généralités** :

1. Faire un choix éclairé d'une méthode de caractérisation, selon ses besoins.
2. Expliquer en termes simples, les méthodes de caractérisation ainsi que leurs limites et leurs forces.
3. Identifier un problème courant dans le domaine spécifique d'une méthode de caractérisation de son choix.

b. **Méthodes de mesures des propriétés optiques 1 (photoluminescence)**:

1. Comprendre les rudiments de l'origine de la structure de bande d'énergie des matériaux cristallins.
2. Expliquer en termes simples, les concepts de trou et d'exciton.
3. Décrire les composantes principales d'un montage expérimental de photoluminescence et en expliquer leur rôle.
4. Expliquer les caractéristiques standard d'un spectre de photoluminescence.
5. Exprimer les différences entre les mesures de photoluminescence en mode standard, en mode

d'excitation, et résolu dans le temps.

c. **Méthodes de mesures des propriétés optiques 2 (Diffusion Raman)::**

1. Comprendre le concept de mode de vibration sur un réseau unidimensionnel et de phonon dans un réseau cristallin.
2. Expliquer en termes simples les modes de vibrations acoustiques et optiques dans les réseaux cristallins et identifier leurs paramètres mesurables.
3. Différencier les processus de transition Stokes et anti-Stokes.

d. **Méthodes de mesures des propriétés structurales des cristaux et des surfaces I (diffraction des rayons-x et des électrons):**

1. Expliquer simplement le phénomène de la diffraction.
2. Schématiser une coupe de la structure zincblende dans la direction cristalline (001).
3. Utiliser la description de la diffraction et l'appliquer à la diffraction des rayons-x.
4. Utiliser la description de la diffraction et l'appliquer à la diffraction des électrons pour les mesures de surface ou en volume.
5. Expliquer la base physique du rapport de Poisson.
6. Calculer l'épaisseur et la composition d'une couche contrainte à partir d'une courbe de diffraction des rayons-x.

e. **Méthodes de mesures des propriétés structurales des cristaux et des surfaces II (microscopie):**

1. Énumérer les différentes approche de microscopie.
2. Expliquer le concept de la nature ondulatoire des électrons et l'équation de Planck.
3. Reconstruire le trajet optique du faisceau d'électron pour un microscope électronique à transmission.
4. Énumérer les grandes étapes de la préparation d'un échantillon de microscopie électronique.
5. Expliquer l'origine de l'image d'un microscope électronique à balayage.
6. Expliquer les différentes informations obtenues dans un microscope électronique à balayage.
7. Différencier les modes de fonctionnement d'un microscope à force atomique.

f. **Méthodes de mesures des propriétés structurales des cristaux et des surfaces III (faisceaux d'ions):**

1. Énumérer les composantes principales d'un accélérateur d'ions et en expliquer leur rôle.
2. Différencier entre l'interaction électronique et l'interaction nucléaire d'un ion dans la matière.
3. Expliquer la méthode de mesure par spectrométrie de masse des ions secondaires et en identifier les usages principaux.
4. Expliquer la méthode de mesure de la rétrodiffusion Rutherford classique et en mode canalisé et en identifier les usages principaux.

GMC 760 NANOCARACTÉRISATION DES SEMICONDUCTEURS

DESCRIPTION DÉTAILLÉE ET RÉPARTITION DU TEMPS

- 1. Propriétés optiques des matériaux cristallins: introduction** (1.5 heures)
 - Structure de bande des solides cristallins.
 - Électron et trou dans un cristal, exciton, impureté
 - Transition électro-optique.
 - Modes de vibrations sur un réseau cristallin (1D et 3D)

- 2. Mesures des propriétés optiques 1 (photoluminescence)** (3 heures)
 - Montages optiques et manipulation d'échantillons
 - Méthodes de séparation des longueurs d'ondes
 - Technologies de détection de la lumière
 - Effets de la température de l'échantillon
 - Caractéristiques d'un spectre de photoluminescence en mode continu.
 - Photoluminescence par excitation
 - Photoluminescence résolue dans le temps : concept de temps de vie.

- 3. Mesures des propriétés optiques 2 (Diffusion Raman)** (1.5 heures)
 - Défis expérimentaux liés à la technique
 - Détection du signal.
 - Processus Stokes et anti-Stokes
 - Caractérisation des matériaux

- 4. Méthodes de mesures des propriétés structurales des cristaux et des surfaces I (diffraction des rayons-x et des électrons):** (3 heures)
 - Rappel sur la structure cristalline des matériaux semiconducteurs
 - Approche cinématique de la diffraction : application aux rayons-x
 - Spectre de diffraction pour une couche contrainte enfouie
 - Reconstruction de surface
 - Diffraction des électrons à la surface

- 5. Méthodes de mesures des propriétés structurales des cristaux et des surfaces II (Microscopie):** (3 heures)
 - Microscopie à balayage (fonctionnement de base)
 - Génération de contraste
 - Optique électronique dans un microscope à transmission (diffraction, champs clair ou obscur)
 - Microscopie à force atomique et variantes.
 - Modes de contact et oscillant

- 6. Méthodes de mesures des propriétés structurales des cristaux et des surfaces II (Faisceaux d'ions):** (3 heures)
 - Interaction entre l'ion et la matière (électronique et nucléaire)
 - Technologie d'accélération des ions.
 - Pulvérisation et spectrométrie des ions secondaires
 - Rétrodiffusion Rutherford classique et en mode canalisé. : défauts cristallins

INDICATIONS PÉDAGOGIQUES

1. Démarche et méthode d'apprentissage

Le cours présente une revue générale des méthodes de caractérisation. Le support principal sera la leçon magistrale. Une visite assortie de démonstrations des installations en place à l'Université sera organisée afin d'introduire l'étudiant aux instruments et à leur utilisation.

2. Intégration de l'activité pédagogique

L'activité s'intègre dans le programme de maîtrise en microingénierie du département de génie mécanique et constitue l'introduction du module de caractérisation du programme gradué de nanocaractérisation et de nanofabrication, élaboré en collaboration avec les départements de génie électrique et informatique et de physique. Une clientèle importante venant de ces départements est à prévoir. Il n'y a aucun prérequis.

3. Choix et justification des modes d'évaluation

On utilise les devoirs et les examens.

MATÉRIEL DIDACTIQUE

Le cours comprendra un nombre de lectures suggérées.

Général

Growth and Characterisation of Semiconductors, R.A. Stradling, P.C. Klipstein eds, Adam Hilger. ISBN 0-85274-131-6 (1990)

Caractérisation optique et diffraction des rayons-x

Sidney Perkowitz, *Optical Characterization of Semiconductors: Infrared, Raman, and Photoluminescence Spectroscopy*, Academic Press, ISBN 0-12-550770-4 (1993)

Optical Characterization of Epitaxial Semiconductor Layers, G. Bauer, W. Richter eds, Springer, ISBN 3-540-59129-X, (1996)

B.D. Cullity, S.R. Stock, *Elements of X-Ray Diffraction 3rd edition*, Prentice Hall, ISBN 0-201-61091-4 (2001)

Microscopie de surface

GMC 760 NANOCARACTÉRISATION DES SEMICONDUCTEURS

N. John DiNardo, *Nanoscale Characterization of Surfaces and Interfaces*, VCH, ISBN 3-527-29247-0 (1994)

Caractérisation par faisceaux d'ions

Handbook of Compound Semiconductors: Growth, Processing, Characterization, and Devices, P.H. Holloway, G.E. McGuire eds, Noyes Publications, ISBN 0-8155-1374-7 (1995)