

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE
FACULTÉ DE GÉNIE
DOSSIER DE COURS

CODE ET TITRE	GMC 761 GENÈSE ET CARACTÉRISATION DES COUCHES MINCES
CRÉDITS	2 crédits
PROGRAMME(S) MODULE/LIEN	Maîtrise en génie mécanique Option (spécialité microingénierie)

COMPOSANTES	- Mathématiques	%
	- Sciences fondamentales	30 %
	- Sciences du génie	60 %
	- Conception en ingénierie	10 %
	- Études complémentaires	<u>%</u>
	Total :	100%

TEMPS DE TRAVAIL DES ÉTUDIANTS et DES ÉTUDIANTES		Travail (heures)	Évaluation (%)
	<u>Travail encadré</u>		
	Leçons magistrales	18 heures	
	Examen Écrit	3 heures	50
	Présentations	9 heures	30
& POIDS DES COMPOSANTES D'ÉVALUATION	<u>Travail non encadré</u>		
	Travail personnel	30 heures	
	Devoirs	30 heures	20
	TOTAL	90 heures	100

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

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

OBJECTIFS D'APPRENTISSAGE

Objectifs généraux

Comprendre les principes fondamentaux et les défis technologiques présents dans le domaine de la croissance épitaxiale de couches minces de semiconducteurs.

Développer un regard intuitif sur la complexité et les limites techniques de la croissance épitaxiale.

Compléter une revue de la littérature récente dans le domaine et développer ses aptitudes critiques sur les publications.

Objectifs spécifiques

Le cours GMC760 – Nanocaractérisation des semiconducteurs vise à:

- a. Comprendre les principes physico-chimiques fondamentaux qui gouvernent la croissance épitaxiale en général.
- b. Reconnaître les différences fondamentales entre les processus de croissance pour les techniques majeures.
- c. Identifier les différences et les limites technologiques principales des techniques de croissance.
- d. Connaître les principales méthodes de caractérisations de couches minces.

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

a. **Généralités :**

1. Prendre conscience des capacités et des limites de la croissance épitaxiale.
2. Connaître les enjeux importants de la recherche en croissance épitaxiale.
3. Atteindre une compréhension fonctionnelle de la nature hautement technologique des techniques de croissance.

b. **Théorie de la croissance épitaxiale:**

1. Posséder une bonne connaissance de la structure cristalline des principaux matériaux semiconducteurs.
2. Comprendre les interactions entre les atomes d'une surface et expliquer leurs reconstructions.
3. Expliquer le processus de croissance épitaxiale et terme de potentiel chimique.
4. Différencier les types de décompositions chimiques des molécules sources.
5. Comprendre et identifier les régimes de croissance et leur effet sur les hétérostructures finales.

GMC 761 GENÈSE ET CARACTÉRISATION DES COUCHES MINCES

c. Applications de la croissance épitaxiale:

1. Connaître les principaux sujets de discussion de la littérature scientifique en croissance épitaxiale.
2. Identifier les différences entre la croissance sur substrat natif et croissance sous une forte contrainte.
3. Comprendre les principes de nucléation et d'élimination des dislocations.
4. Énumérer les applications, qui nécessitent des modes de croissance contrôlés latéralement.
5. Comprendre les méthodes de croissance des nanostructures principales (boîtes quantiques, fils quantiques, etc...)

d. Caractérisation des couches épiaxiées.

1. Classer les techniques selon leur nature in-situ ou ex-situ.
2. Comprendre les rudiments physiques sous-jacents à chaque technique de caractérisation.
3. Identifier les propriétés sondées par les techniques et les limites de ces dernières.
4. Monter un protocole de caractérisation pour la réalisation d'une hétérostructure.
5. Comprendre les notions de contrôle de procédé et d'analyse statistique.

e. Outils de croissance épitaxiale:

1. Énumérer les paramètres physiques à contrôler lors de la croissance.
2. Identifier les différentes méthodes pour contrôler les paramètres de croissance, ainsi que leurs limites d'application et de précision.
3. Connaître l'état de l'art dans la technologie de contrôle des outils de croissance.
4. Comparer les différentes techniques de croissance, quant à leur reproductibilité, stabilité, et la qualité des matériaux produits.

f. Autres techniques de dépôt de couches minces

1. Énumérer quelques unes des autres méthodes contemporaines de croissance épitaxiales.
2. Connaître les domaines d'applications spécifiques aux autres techniques de croissance.

GMC 761 GENÈSE ET CARACTÉRISATION DES COUCHES MINCES

DESCRIPTION DÉTAILLÉE ET RÉPARTITION DU TEMPS

- | | |
|---|-------------------|
| 1. <u>Théorie de la croissance épitaxiale</u> | (3 heures) |
| <ul style="list-style-type: none">• Rudiments de cristallographie• Reconstruction de surfaces• Matériaux III-V• Modes de croissance• Processus de croissance | |
| 2. <u>Applications</u> | (3 heures) |
| <ul style="list-style-type: none">• Hétérostructures standard<ul style="list-style-type: none">• Nucléation• Interfaces• Alliages• Nanostructures<ul style="list-style-type: none">• Boîtes quantiques• Fils quantiques• Contrôle latéral (épitaxie sélective)<ul style="list-style-type: none">• Masques déposés• Masques de proximité• Applications spéciales<ul style="list-style-type: none">• Nitrures• Oxydes• Couches magnétiques | |
| 3. <u>Caractérisation</u> | (6 heures) |
| <ul style="list-style-type: none">• Mesures in-situ• Mesures ex-situ• Calibration et contrôle de procédé. | |
| 4. <u>Équipement</u> | (4 heures) |
| <ul style="list-style-type: none">• Contrôle du substrat• Injection de matériau source• Automatisation | |
| 5. <u>Autres techniques de dépôt</u> | (2 heures) |
| <ul style="list-style-type: none">• Épitaxie assistée par laser• Épitaxie en phase vapeur aux hydrures (HVPE)• Dépôt par laser pulsé | |

INDICATIONS PÉDAGOGIQUES

1. Démarche et méthode d'apprentissage

Le cours présente une revue générale des méthodes de la croissance épitaxiale. Le support principal sera la leçon magistrale. Les étudiants seront appelés à faire des recherches de littérature et de présenter des problèmes courants oralement. Ces exposés seront suivis de discussion de groupe.

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.

Épitaxie

Handbook of crystal growth, vol.3: Thin films and epitaxy, édité by D.T.J. Hurle, Amsterdam, New York, North-Holland, ISBN 444815562 (1994)

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

Caractérisation

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)

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

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