

Master 2 mention Physique Parcours « Photonique & Semiconducteurs »

Lionel Bastard (G-INP)

lionel.bastard@phelma.grenoble-inp.fr

Benoît Boulanger (UGA)

benoit.boulanger@neel.cnrs.fr

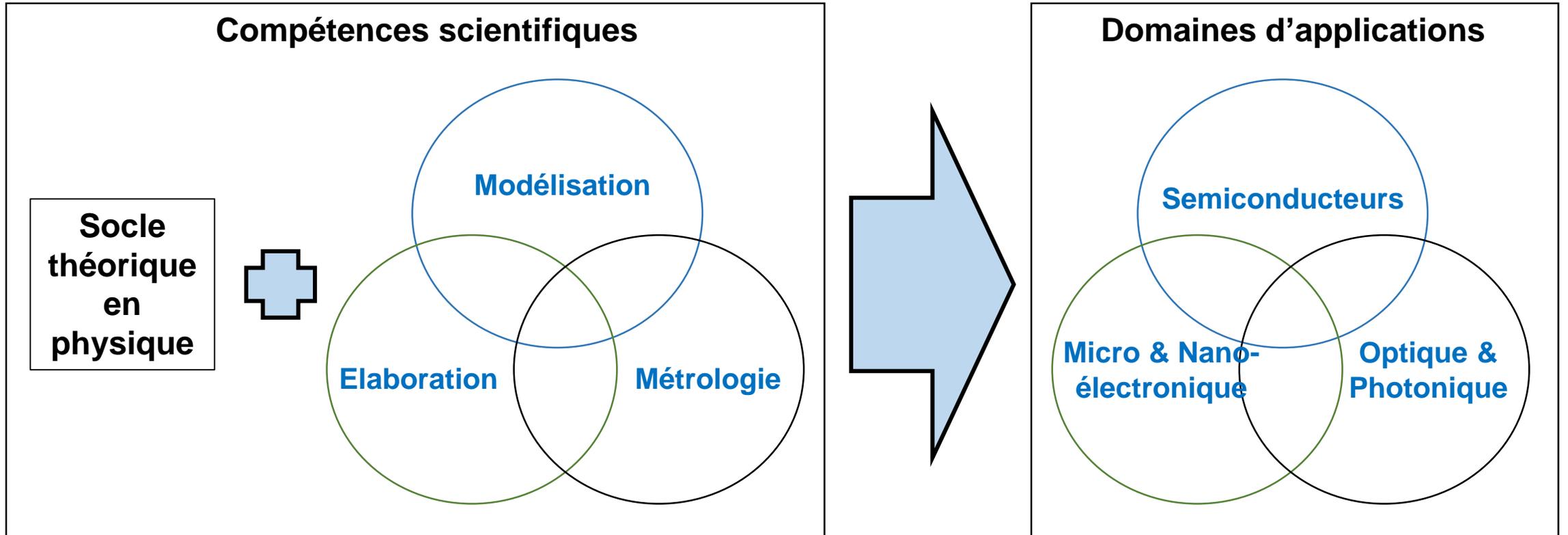
Ingrid Portigliatti

ingrid.portigliatti@phelma.grenoble-inp.fr

E-mail générique : respm2PhSem@phelma.grenoble-inp.fr

Objectifs du parcours

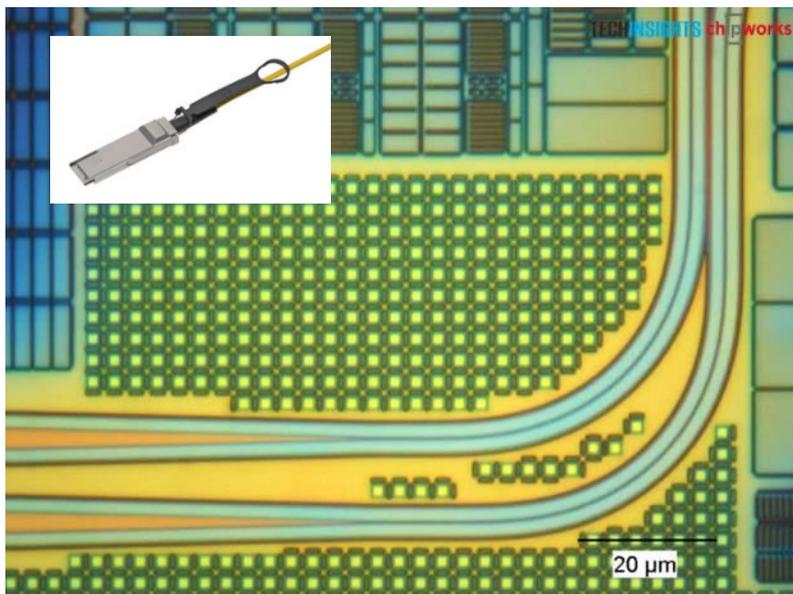
Former des spécialistes pour la recherche et la R&D
dans les domaines de la photonique, la micro-électronique et l'opto-électronique



Une approche qui va du fondamental aux applications

Pourquoi cette formation ?

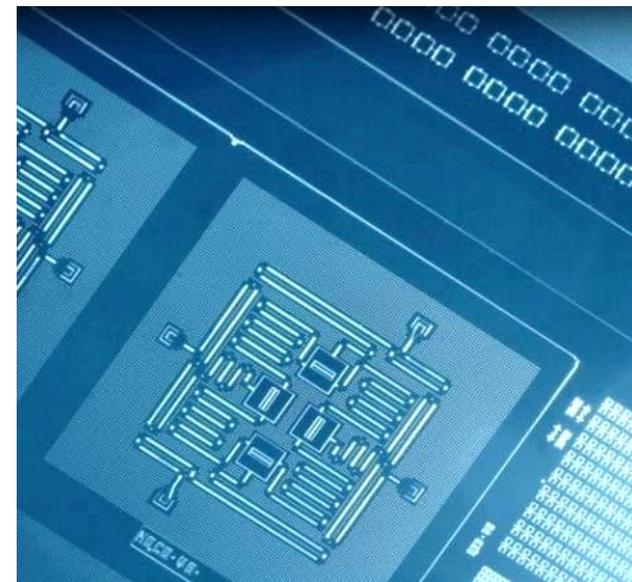
- Le XXIème siècle est celui de la photonique et de l'optoélectronique



Détail du circuit optique intégré de la puce optoélectronique d'un « câble actif » (Molex)



LIDAR pour la surveillance de l'atmosphère



Jonctions Josephson sur supraconducteur pour ordinateur quantique (IBM)

- Besoin d'ingénieurs et de chercheurs qui comprennent le fonctionnement physique des composants
 - Dans les laboratoires académiques pour concevoir de nouvelles expériences aux limites de la connaissance
 - Dans les laboratoires R&D pour concevoir de nouveaux dispositifs aux performances ultimes

Optique II (M1-S2) : IMAGERIE & MICROSCOPIE

CM/TD – A. DELON, G. MARTIN (20h)

- ✓ Introduction
 - Quelques prix Nobel... rayons, ondes et quanta
- ✓ Rappels d'optique géométrique
 - Des bases... jusqu'aux aberrations géométriques et chromatiques
- ✓ Formation des images
 - Réponse impulsionnelle et fonctions de transfert
- ✓ Microscopies
 - Les méthodes d'imagerie, jusqu'à la fluorescence et l'optique adaptative
- ✓ Télescopes
 - Résolution, turbulences et optique adaptative, synthèse d'ouverture...
- ✓ Spectrométrie et détection
 - Ondes stationnaires, détection, échantillonnage et spectro. actif

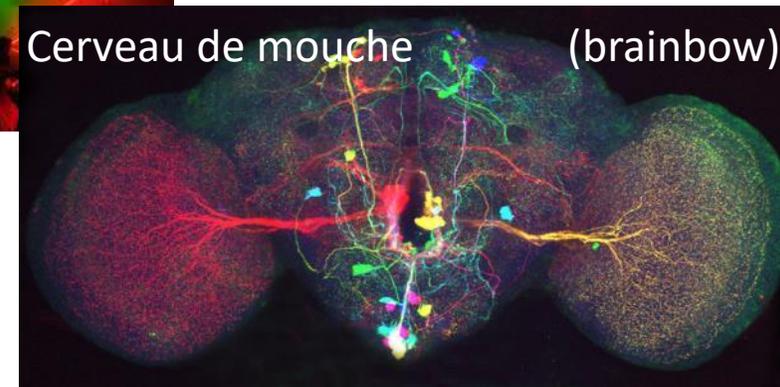
TP - A. Delon, G. Martin, O. Jacquin

2 TPs au choix parmi 3 :

- ✓ Synthèse d'ouverture (IPAG)
- ✓ Imagerie cohérente (LIPhy)
- ✓ Microscopie de fluorescence (LIPhy)



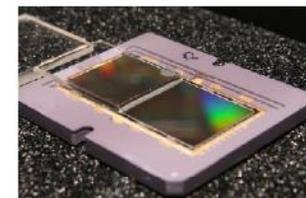
Cerveau de mouche (brainbow)



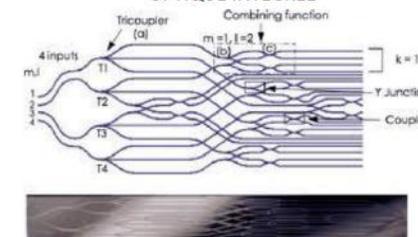
TELESCOPES & INTERFEROMETRIE OPTIQUE



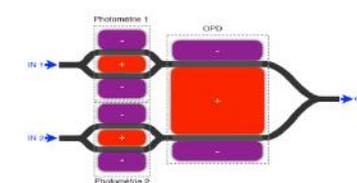
SPECTROMETRES DE POCHE



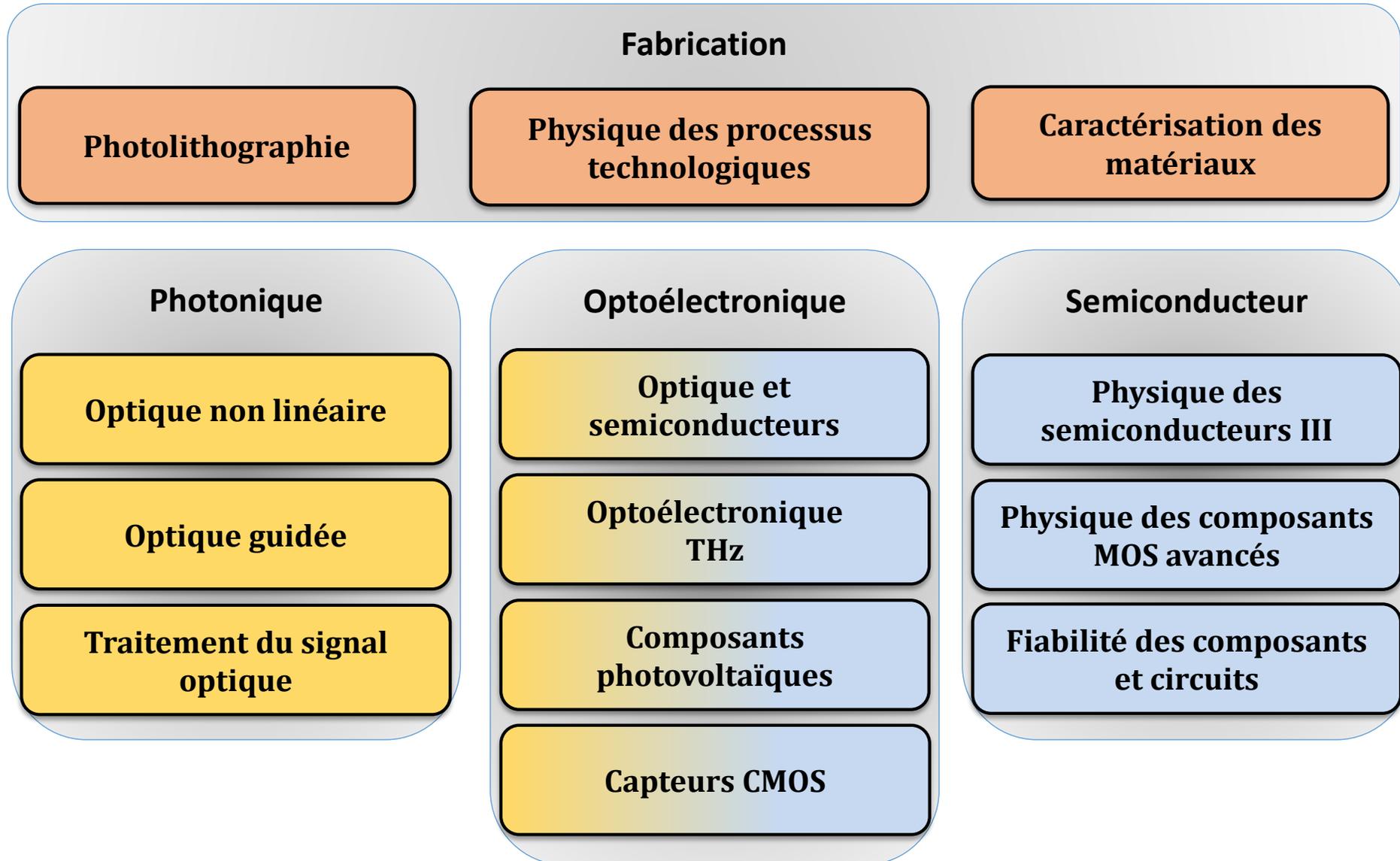
OPTIQUE INTEGREE



MODULATION ELECTRO-OPTIQUE



Organisation thématique des cours de M2



Tous les cours ne sont pas présentés

Procédés et fabrication

Photolithographie

Diffusion et implantation

Croissance et élaboration

PHOTOLITHOGRAPHIE

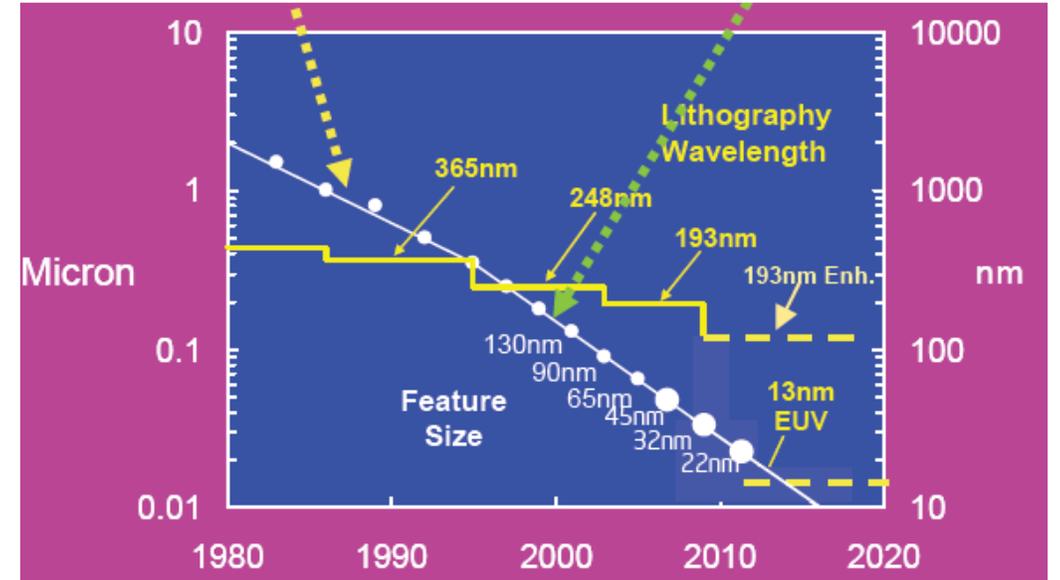
CM/TD – Irina Ionica (10h)

Chap. I : Introduction, définition, contexte, classifications

Chap. II : Lithographie optique

Chap. III: Lithographie par faisceau d'électrons (e-beam)

Chap. IV : Autres techniques (nanoimprint)



ftp://download.intel.com/pressroom/kits/research/computational_litho_poster.pdf

Optique pour la lithographie

Amélioration de la résolution dans l'industrie microélectronique

Astuces technologiques pour aller au-delà du critère de Rayleigh

Enjeux actuels et futurs

Lithographie Pablo Picasso,
"Regards sur Paris: le peintre et son
modèle", 1962



PHYSIQUE DES PROCÉDES TECHNOLOGIQUES

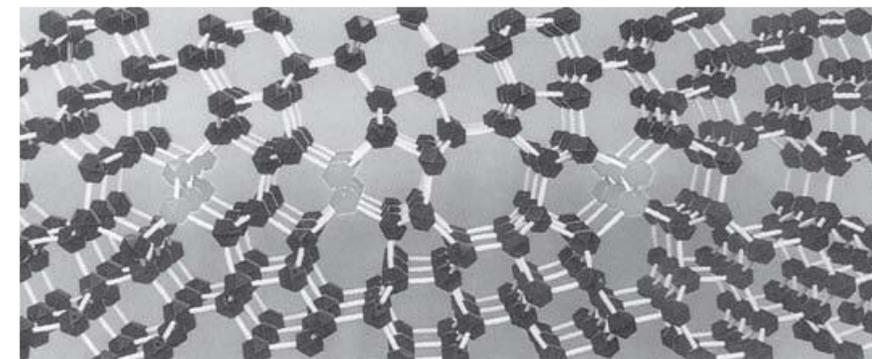
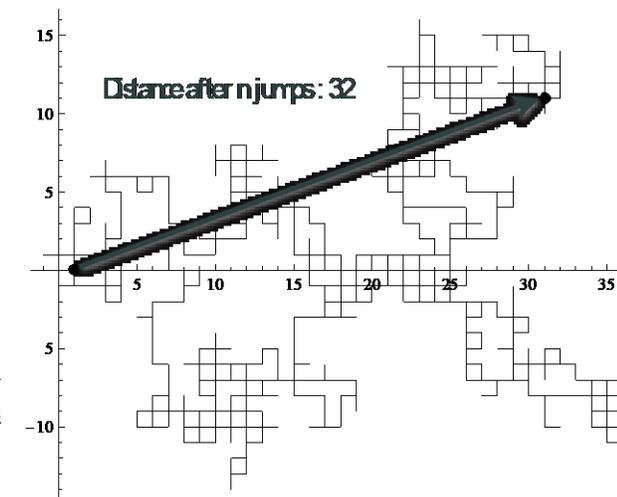
Objectif : modéliser les phénomènes physiques qui interviennent lors de la mise en forme du semi-conducteur pour la fabrication de composants:

- Les processus physiques: diffusion solide, l'implantation ionique, interdiffusion (oxydation), défauts profonds.
- Technologies illustrées: micro-électronique, photovoltaïque, LED, ...
- Matériaux illustrés: silicium, SiC, GaN, diamant, ...

CM/TD – Etienne Gheeraert (20h)

- **Introduction** : Historique, manifestations macroscopiques de la diffusion, recherches actuelles.
- **Equations de diffusion** : Lois de Fick, solutions de l'équation de diffusion, Marche aléatoire en 2D et 3D, équation d'Einstein-Smoluchowski
- **Diffusion dans les solides** : défauts et impuretés, thermodynamique, formation et migration, mécanismes de diffusion, diffusion accélérée, inter-diffusion, modèle de Deal et Grove.
- **Interaction ion-matière** : interaction nucléaire et électronique, profil d'implantation, défauts, diffusion, diffusion accélérée

TD: Par groupe de 3, analyse et présentation d'une publication d'actualité impliquant de la diffusion ou de l'implantation.



CARACTERISATION DES MATERIAUX

CM/TD – Stephane PIGNARD (20h)

Chapitre I . Objets et concepts

Introduction

I.1. Dimensionnalité et dimensions des objets

I.2. Les concepts

Chapitre II . Nucléation et croissance

II.1. Approche qualitative

II.2. Approche thermodynamique

II.3. Croissance sur une surface idéale

II.4. Exemples de croissance

Chapitre III . Les techniques d'élaboration

Introduction

III.1. Les techniques physiques d'élaboration

III.2. Les techniques chimiques d'élaboration

Chapitre IV . Epitaxie et contraintes

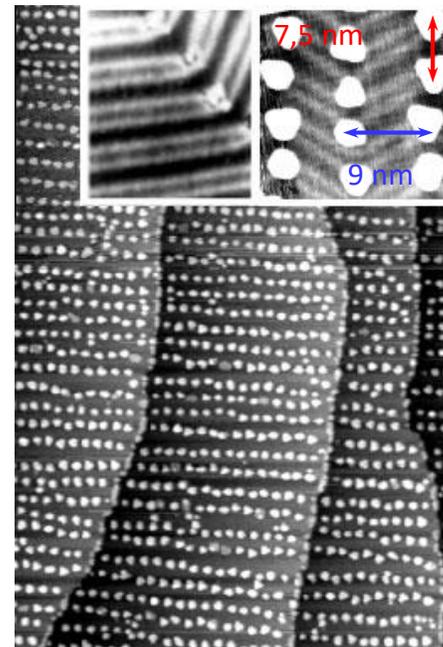
IV.1. Elaboration de structures épitaxiées

IV.2. La croissance épitaxiale

IV.3. Caractérisation de structures épitaxiées

TP – Stephane PIGNARD (4h)

Plots de Co épitaxiés sur Au(111)



Phys. Rev. Lett. 66, 1721 (1991)



Installation d'épitaxie par jets moléculaire

Photonique

Optique non linéaire

Traitement du signal optique

Optique guidée

OPTIQUE NON LINEAIRE

CM/TD – Benoît BOULANGER (20h)

Introduction et définitions

Aspects corpusculaires des interactions à 3 et 4 photons

Susceptibilité électrique de 1^{er}, 2^{ème} et 3^{ème} ordres

Calcul tensoriel de la polarisation induite

Rappels d'optique cristalline linéaire

Equations aux amplitudes en régime non linéaire

Relations de Manley-Rowe

Effets liés à la phase spatiale

Acceptances angulaires, spectrale et thermique

Effets du walk-off spatial

Coefficient effectif

Les interactions de conversion de fréquence

Les principaux matériaux et applications

TP/TD – Patricia SEGONDS (8h – Institut Néel)

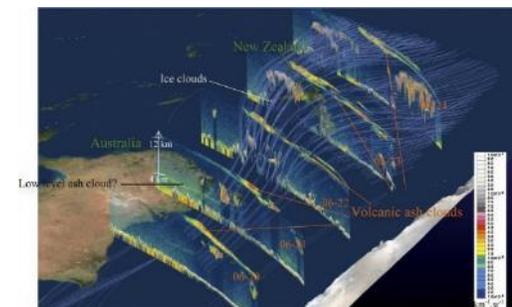
Optique cristalline

Génération de Second Harmonique

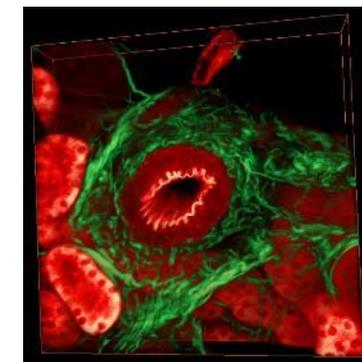
L'optique non linéaire : un vaste champ d'étude
à la frontière de l'optique ondulatoire et de l'optique quantique



Synthétiser de nouveaux états de la lumière
pour l'information quantique



Cartographier la composition chimique de
l'atmosphère par LIDAR



Imager les tissus biologiques
par microscopie Kerr

TRAITEMENT DU SIGNAL OPTIQUE

CM/TD – Eric LACOT (20h)

Système optique

- Fonction de transfert de modulation d'un système optique
Décomposition en ondes planes
- Réponse impulsionnelle d'un système optique
Décomposition en ondes sphériques
- Eclairage cohérent et incohérent

Optique de Fourier- Filtrage optique

Filtre passe haut, Filtre passe bas, Filtre de phase, Filtre Holographique

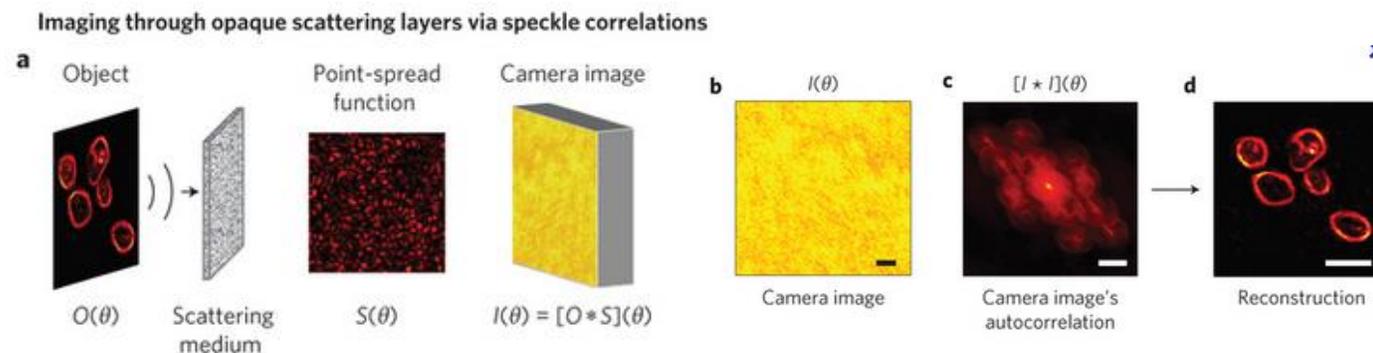
Holographie

Principe, Interférométrie Holographique,
Vibrométrie Holographique, Control non destructif

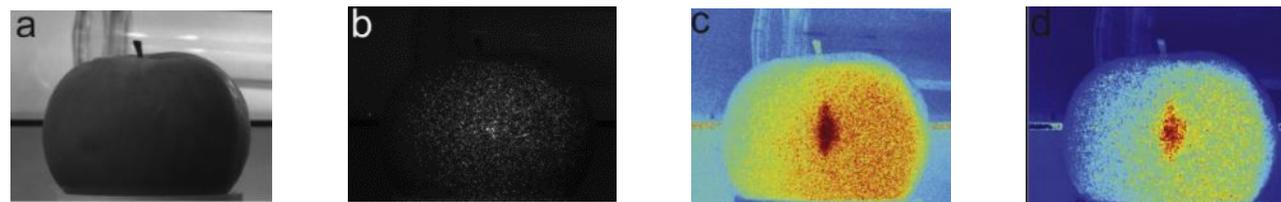
Speckle

Statistique (amplitude, intensité, phase)
Corrélation de Speckle, Interférométrie de Speckle,
Shearographie, ...

Le traitement du signal optique : du fondamentale aux applications



Imagerie à travers des milieux diffusant par corrélation d'image: *Nature Com.* (2014)



Activité *biospeckle* d'une pomme après une traitement mécanique au centre

Opto-électronique

Optoélectronique THz

Composants photovoltaïques

Capteurs CMOS

Optique et semiconducteurs

OPTOELECTRONIQUE TERAHERTZ

CM/TD – Jean-François ROUX (16h)

Résumé: Dans ce cours nous nous intéresserons aux processus de génération d'ondes TeraHertz (THz) basés sur la conversion d'impulsions laser ultra-brèves (100 fs) en impulsions électriques très courtes (1 ps).

Plan du cours:

Introduction au domaine des ondes THz

Partie I: Impulsions laser brèves

Caractérisation mathématique d'impulsions optiques.

Propagation d'impulsions brèves dans un milieu dispersif.

Principe de fonctionnement des lasers à blocage de modes.

Caractérisation expérimentale des impulsions optiques brèves.

Partie II: Génération d'impulsions électriques picosecondes.

Le photocommutateur à semiconducteur en régime impulsionnel.

Rayonnement d'une antenne alimentée par une impulsion électrique et génération THz.

Génération et détection optoélectronique de signaux THz dans des cristaux non-linéaires.

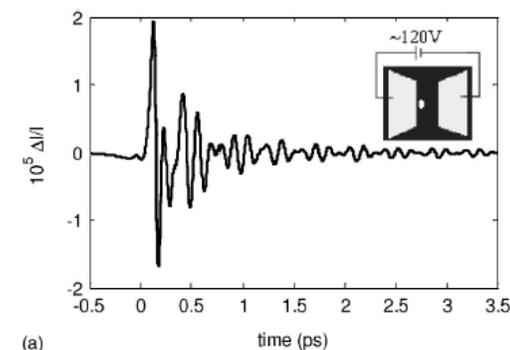
Partie III: Revue de quelques applications des ondes THz.

Spectroscopie THz résolue en temps.

Imagerie THz.

Les ondes THz ont des fréquences comprises entre l'infrarouge (10 THz) et les microondes (100 GHz). Cette partie du spectre concerne des domaines aussi variés que la spectroscopie, l'imagerie, l'électronique ou les télécommunications. C'est donc un champ de recherche riche et pluridisciplinaire dont voici deux exemples :

Génération THz large bande dans un photoconducteur en GaAs : on observe des relaxations temporelles liées aux phonons du matériau



Imagerie (ici de tissus biologiques)

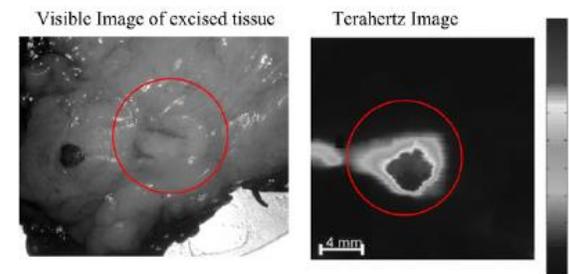


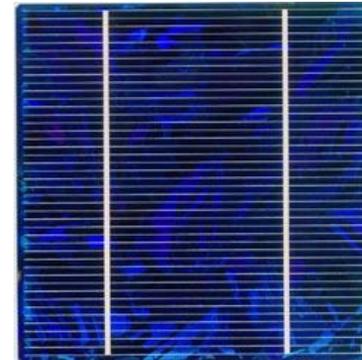
Figure 10. Mastectomy specimen from a patient of 52 years with an invasive lobular carcinoma (circled).

COMPOSANTS PHOTOVOLTAIQUES

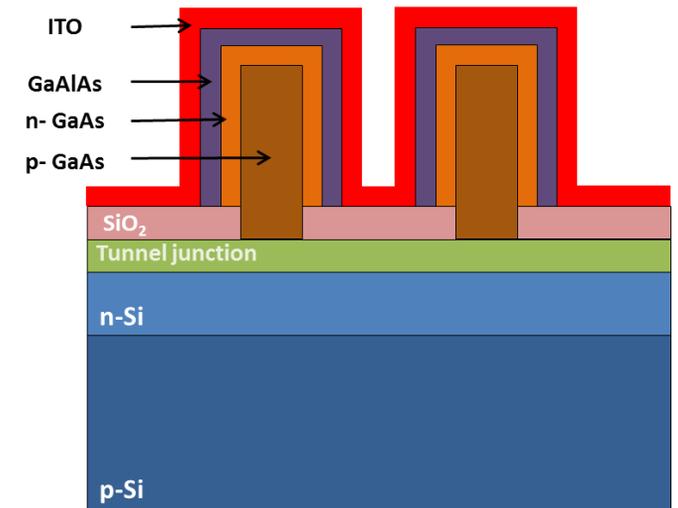
CM/TD – Anne KAMINSKI-CACHOPO (10h) et Stéphane CROS (2h)

- 1- Energie photovoltaïque : aspects économiques et industriels
- 2- Principe de la conversion photovoltaïque, physique du composant photovoltaïque. Paramètres caractéristiques. Sources de pertes.
- 3- Cellules solaires de 1^{ère} génération
 - * Aspects technologiques et physiques des cellules et modules de première génération.
 - * Procédés hauts rendements.
- 4- Cellules de 2^{ème} et 3^{ème} génération
 - * Cellules solaires en couches minces, matériaux II-VI et organiques
 - * Concepts permettant d'augmenter l'absorption du rayonnement solaire et d'atteindre des très hauts rendements.

Composants photovoltaïques : un vaste champ de matériaux, de structures et de filières.



*Cellule solaire en Si
(1^{ère} génération)*



Cellule solaire tandem (constituée de deux jonctions en série) à base de nanofils (nanostructuration de la surface)

CAPTEURS CMOS

CM/TD – Benoît GIFFARD (16h)

Introduction : le capteur d'image intégré

Aspects économiques

Photométrie

Colorimétrie : la science des couleurs et leur codage numérique

Conversion Photon/électron, assistée par phonon

Durée de vie de génération et recombinaison, pièges

Process : du CMOS standard au CMOS imageur

Principaux schémas et chronogrammes de pixels

Performances des imageurs: SNR, dynamique, FTM...

Le bruit: kTC, temporel, obscurité, photonique

L'image de distance

Autres bandes spectrales : détecteurs Quantiques and non Quantiques

Le capteur d'image: un objet banal...
qui allie harmonieusement l'optique et l'électronique



SONY 12MPix (Galaxy S7)

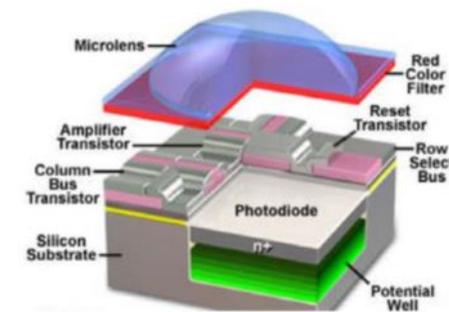
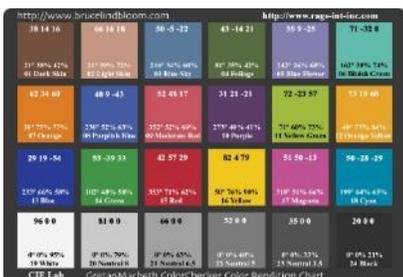
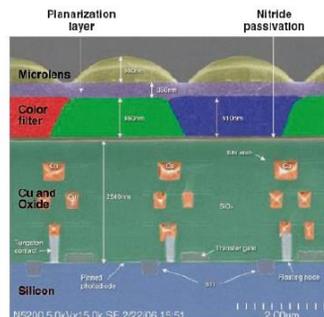


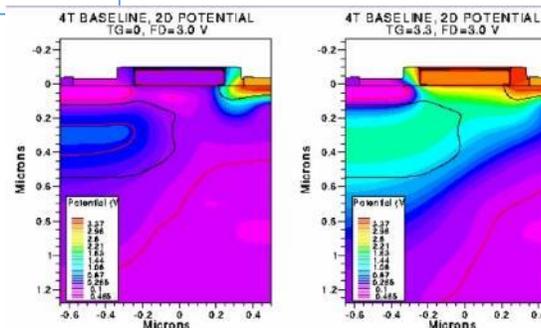
Schéma d'un pixel



Charte des couleurs de référence Gretag-Macbeth



Le pixel en coupe...



et l'image de son fonctionnement



Vision Infra Rouge en intervention feu

Semiconducteurs

Physique des semiconducteurs III

Fiabilité des composants

Physique des transistor MOS avancés

PHYSIQUE DES SEMICONDUCTEURS III

CM/TD – Julien PERNOT (12h CM) David EON (8h TD)

Introduction

Généralités sur les cristaux

Structures de bande

Densité d'états,

Statistique (Boltzmann - Fermi-Dirac)

Impuretés et dopage

Equation de neutralité

Effets de fort dopage

Phonons

Mobilité des porteurs

Interaction électron impuretés

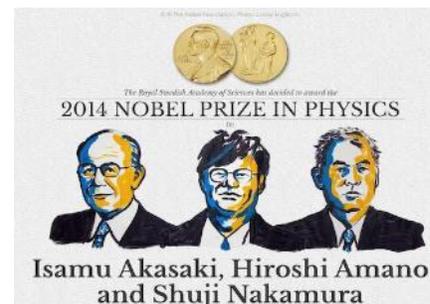
Interaction électron-phonon

Gaz bidimensionnel et transistor à gaz 2D

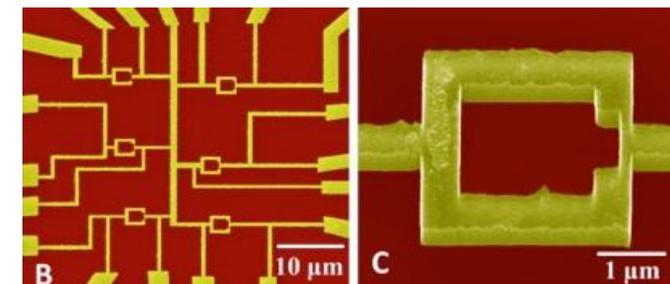
TP – Julien PERNOT (8H)

Mesure des propriétés électriques d'un gaz bidimensionnel

La physique des semiconducteurs IV, III-V et II-VI : une physique riche qui permet de créer de nouveaux systèmes physiques (recherche fondamentale) et des innovations dans le domaine applicatif.



LED bleue à base de semi-conducteurs III-V



Micro-SQUID en diamant supraconducteur



Les semi-conducteurs à grands gaps (diamant, SiC, GaN, BN, AlN) pour l'électronique de puissance du futur

Physique des composants MOS avancés

CTD – Quentin Rafhay (18h)

Introduction (histoire de l'invention du transistor)
Opérations idéales du MOSFET et de la Mémoire Flash
Diagrammes de bandes des composants
Figure de mérites du MOSFET et de la Mémoire Flash
Origine physique des dégradations des performances
Etude détaillée d'un article de la littérature (exam)

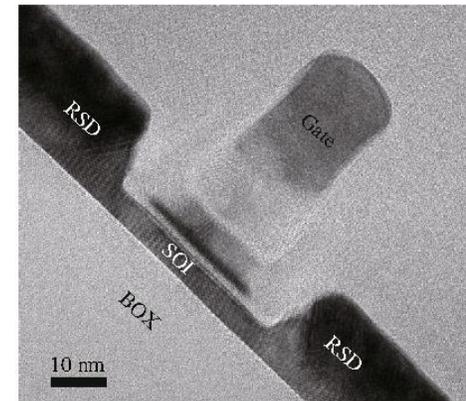
TP – Caractérisation électrique de MOSFET (8H)

Mesure et extraction des propriétés de transport électronique de MOSFET FDSOI 28nm ST Microélectronics

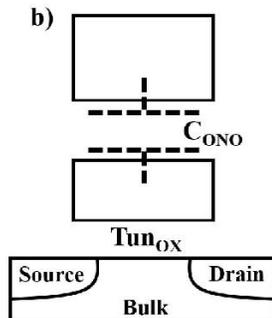
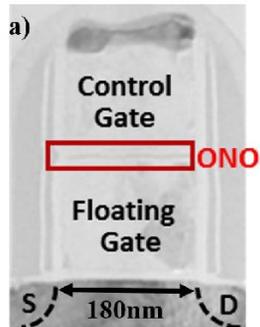


Bardeen Shockley Brattain

Old school is good school



Coupe TEM d'un transistor FDSOI de 15 nm de longueur de grille

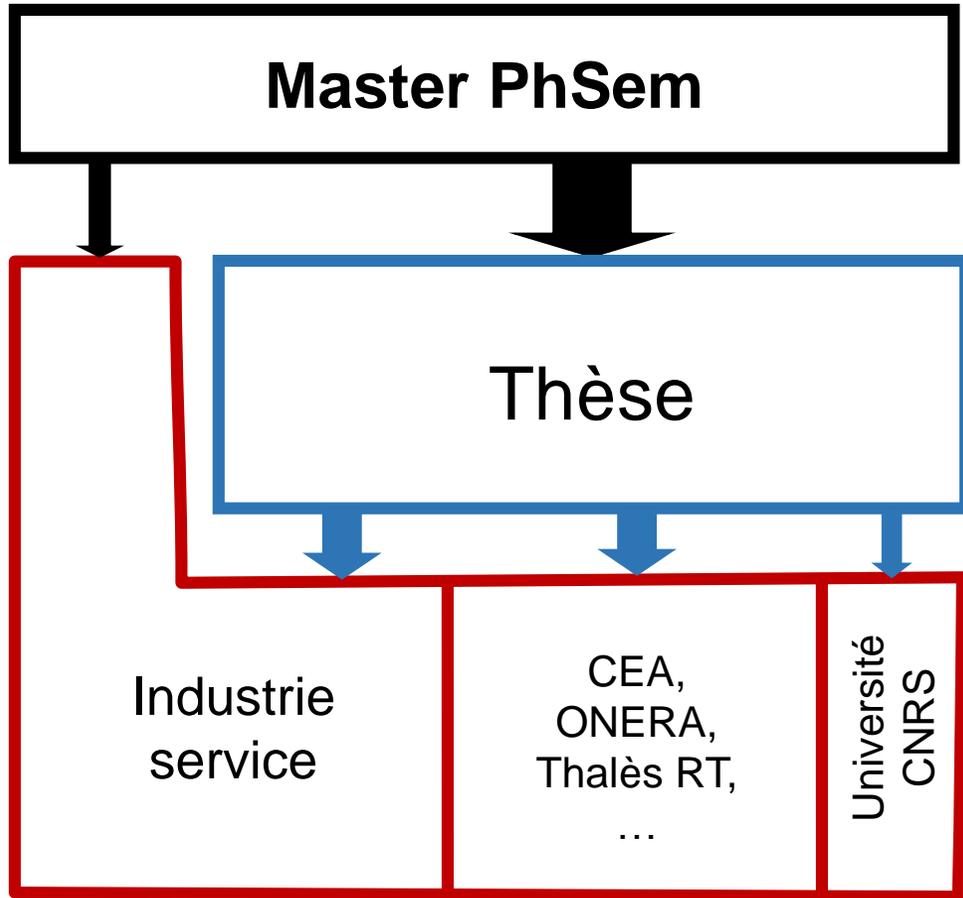


Coupe TEM et schéma fonctionnel d'une mémoire Flash

**Après le master
Photonique & Semiconducteurs**

Métiers & Devenir

Parcours professionnels



Emploi après thèse (filière IPhy de PHELMA)

