

## Physique des matériaux et des dispositifs électroniques

### Informations générales

Nombre de crédits ECTS

3

Code du module

FTP\_Physics

Valable pour l'année académique

2020-2021

Dernière modification

2019-01-16

Nom du/de la responsable de module

Stefan Hengsberger (HES-SO, stefan.hengsberger@hefr.ch)

Explication des définitions de langue par lieu :

- Les cours se dérouleront dans la langue définie ci-dessous par lieu/exécution.
- Les documents sont disponibles dans les langues définies ci-dessous. Pour le multilinguisme, voir la répartition en pourcentage (100% = documents complets)
- L'examen est disponible à 100% dans chaque langue sélectionnée pour chaque lieu/exécution.

	Berne	Lausanne	Lugano	Zurich
Leçons		X F 100%		
Documentation		X F 20-30% X E 70-80%		
Examen		X F 100%		

Catégorie de module

FTP bases théoriques élargies

Leçons

2 leçons et 1 leçon de pratique par semaine

### Compétences préalables

Connaissances préalables, compétences initiales

Les étudiants-e-s connaissent les bases de la physique. Notamment les concepts comme l'énergie, la force, l'énergie thermique  $k_B T$ , la chaleur spécifique, les oscillations, la fréquence de résonance, les ondes, les vecteurs du champ électromagnétique:  $\mathbf{E}$ ,  $\mathbf{D}$ ,  $\mathbf{B}$  and  $\mathbf{H}$ , la capacité électrique  $C$ , la constante diélectrique  $\epsilon_{ps}$ , et le model de Bohr des atomes sont obligatoires. De plus, des simples équations différentielles et les nombres complexes, en particulier  $e^{-i\omega t}$  sont aussi nécessaires.

### Brève description du contenu et des objectifs

Les étudiants-e-s comprennent et savent appliquer les principes de base des composants électroniques et des dispositifs techniques importants, en faisant appel aux propriétés des matériaux et en appliquant des concepts microscopiques. Ces concepts comprennent les électrons et les trous dans les solides, les bandes d'énergie des métaux et semi-conducteurs, le mécanisme de polarisation dans les matériaux piézoélectriques et diélectriques, les dipôles élémentaires dans la matière magnétique et l'accouplage des électrons dans les supraconducteurs (paires de Cooper). Ces concepts

permettront de discuter des applications actuelles, notamment les thermocouples, les cellules solaires photovoltaïques, les diodes lumineuses (LED), les actionneurs piézo-électriques, les capteurs et les systèmes de stockage de données magnétiques. Le module permettra aux étudiant-e-s de comprendre des concepts modernes dans le domaine des technologies innovatrices et de les utiliser à l'avenir.

## Objectifs, contenus, méthodes

### Objectifs d'apprentissage, compétences à acquérir

Les étudiant-e-s

- connaissent les principes de base de la cristallographie, les réseaux de Bravais ainsi que les différents défauts au sein des cristaux.
- comprennent la conductivité thermique et électrique dans les solides sur la base de la description cinétique des particules
- connaissent les principes de base de la mécanique quantique et savent appliquer l'équation de Schrödinger
- savent mettre en relation la conductivité thermique et électrique par le biais des modèles microscopiques
- sont capables d'expliquer les principes des thermocouples, des diodes et des Lasers en utilisant les notions de bandes d'énergie, énergie de Fermi, potentiel de contact et l'émission stimulée.
- savent expliquer l'origine physique et la réalisation technique de la résolution nanométrique des microscopes à balayage de surface (microscope à force atomique et microscope à effet tunnel)
- connaissent la classification des matériaux magnétiques et des exemples de leurs applications techniques
- comprennent la différence entre l'effet Meissner d'un supraconducteur et le comportement de la matière parfaitement diamagnétique
- sont capables de résoudre des problèmes quantitatifs exemplaires en relation avec toute la matière du module

### Contenu des modules avec pondération du contenu des cours

Sont étudiés des concepts élémentaires concernant les propriétés des matériaux, en mettant l'accent sur les applications. Le module se divise en cinq parties avec une pondération équivalente:

1. Cristallographie et mécanique quantique
  - Principes de base de la cristallographie, réseaux de Bravais
  - Défauts dans les cristaux
  - Principes de base de la mécanique quantique, effet photoélectrique et Compton
  - Application de l'équation de Schrödinger
2. Concept de la conductivité thermique et électrique dans les solides
  - Fluctuation thermique, bruit et activation thermique (diagrammes d'Arrhenius)
  - Conductivité thermique (loi de Wiedemann-Franz)
  - Conductivité électrique (modèle de Drude, vitesse de dérive, temps de relaxation)
  - Dépendance de la température de la résistivité des métaux parfaits
3. Concept des bandes énergétiques dans les semi-conducteurs, métaux et isolants
  - Electrons et trous, masse effective de l'électron
  - Dopage: type n, type p
  - Ensembles de particules, statistique de Fermi-Dirac
  - Contacts: jonction idéale p-n (diode), contact entre métaux purs, thermocouples
  - Dispositifs techniques: cellule solaire photovoltaïque, diode lumineuse (LED), laser semi-conducteur
4. Matériaux piézoélectriques et diélectriques
  - Mécanismes de polarisation
  - Piézoélectricité, actionneurs et capteurs, microscope à effet tunnel et microscope à force atomique (STM/AFM)
  - Constante diélectrique et sa dépendance de la fréquence
  - Indice de réfraction et dispersion
  - Absorption de lumière
5. Propriétés magnétiques et supraconductivité
  - Magnétisation et perméabilité magnétique
  - Classification des matériaux magnétiques: diamagnétiques, paramagnétiques, ferromagnétiques, antiferromagnétiques, ferrimagnétiques
  - Domaines magnétiques et stockage de données par voie magnétique
  - Supraconductivité: résistance zéro et densité de courant critique, applications des champs magnétiques importants
  - Mesure du champ magnétique: effet de Hall, quantification du flux magnétique et SQUID (Superconducting Quantum Interference Device)

### Méthodes d'enseignement et d'apprentissage

Enseignement direct: présentation et discussion des concepts fondamentaux

Exercices: résolution quantitative de problèmes et analyse des concepts physiques des dispositifs d'application technologique

Etudes autonomes en utilisant un livre défini

### Bibliographie

Principles of Electronic Materials and Devices, Safa O. Kasap, McGraw Hill

## Evaluation

### Conditions d'admission

Le module utilise les conditions d'admission

### Conditions d'admission à l'examen de fin de module (exigences du certificat)

Définis par les professeurs, p.ex. un certain nombre d'exercices résolus

### Principe pour les examens

**En règle générale, tous les examens de fin de module réguliers et les examens de rattrapage sont organisés sous la forme écrite**

### Examen de fin de module régulier et examen écrit de répétition

#### Type de l'examen

écrit

#### Durée de l'examen

120 minutes

#### Aides autorisées

*Les aides suivantes sont autorisées:*

#### Aides électroniques autorisées

Calculatrice

#### **Strictement PAS autorisés sont:**

Ordinateurs ou appareils de télécommunication

#### Autres aides autorisées

Papier à écrire

Crayon, stylo, ...

#### **Strictement PAS autorisés sont:**

Tout autre document, notices ou supports de cours tel que des slides, photocopiés, exercices, corrigés,...

### Cas spécial: examen de répétition oral

#### Type de l'examen

oral

#### Durée de l'examen

30 minutes

#### Aides autorisées

Sans aides