

Module Description, available in: EN, FR

The Physics of Materials and Engineering Devices

General Information

Number of ECTS Credits

3

Module code

FTP_Physics

Valid for academic year

2019-2020

Last modification

2018-10-17

Responsible of module

Thomas Graf (FHZ, thomas.graf@hslu.ch)

Explanations regarding the language definitions for each location:

- Instruction is given in the language defined below for each location/each time the module is held.
- Documentation is available in the languages defined below. Where documents are in several languages, the percentage distribution is shown (100% = all the documentation).
- The examination is available 100% in the languages shown for each location/each time it is held.

	Berne	Lausanne	Lugano	Zurich
Instruction		X F 100%		X E 100%
Documentation		X F 20-30% X E 70-80%		X E 100%
Examination		X F 100%		X E 100%

Module Category

FTP Fundamental theoretical principles

Lessons

2 lecture periods and 1 tutorial period per week

Entry level competences

Prerequisites, previous knowledge

A solid knowledge of the fundamentals of physics is essential. Notions such as energy, force, thermal energy $k_B T$, specific heat capacity, oscillations, resonance frequency, waves, electromagnetic field vectors: **E**, **D**, **B** and **H**, electric capacitance C , dielectric constant ϵ , and Bohr's model of atoms are mandatory. Also required are simple differential equations and complex numbers, in particular $e^{-i\omega t}$.

Brief course description of module objectives and content

The students understand and are able to explain the basic principles of important engineering devices in relation to material properties and by applying microscopic concepts. These concepts include electrons and holes in solids, energy band structures of metals and semiconductors, polarization mechanisms in dielectrics and in piezoelectric materials, elementary dipole moments in magnetic materials and pairing of electrons in superconductors (Cooper pairs). Actual applications such as thermocouples, photovoltaic cells (solar cells), light emitting diodes (LED), piezoelectric actuators, magnetic sensors and data storage devices can be discussed by means of these concepts. This module will allow the students to understand modern

concepts of prevailing technologies and use them in the future.

Aims, content, methods

Learning objectives and acquired competencies

The students

- understand the thermal and electric conduction in solids using the kinetic description of particles
- can relate thermal conduction to electric conduction via microscopic models
- are able to describe the principles of thermocouples and diodes by means of energy bands, Fermi energy and contact potential
- can explain the physical origin and technical realization of vertical resolution of scanning probe microscopes (atomic force microscope, scanning tunnelling microscope) in the nanometer range
- know the classification of magnetic materials and can name examples of their technological applications
- understand the difference between the Meissner effect of a superconductor and a perfect diamagnetic material
- are capable to solve quantitative problems to all topics of this module.

Contents of module with emphasis on teaching content

Elementary concepts of materials are studied with emphasis on applications. The module is divided into five topics:

1. Crystallography and quantum physics.
 - Basic principles of quantum physics.
 - Thermal fluctuations and thermal activation (Arrhenius plots).
 - Crystal structure and crystal symmetry (bcc, fcc, hcp), types of bonds and bond energy.
 - Bravais lattices and crystal defects.
2. Concept of thermal and electrical conduction in solids.
 - Electrical conduction (Drude model), drift velocity, relaxation time, mean free path.
 - Lorentz force and Hall effect, Hall voltage, new Ohm standard.
 - Temperature dependence of resistivity of ideal pure metals.
 - Thermal conduction (Wiedemann-Franz law).
3. Concept of energy bands in semiconductors, metals and insulators.
 - Schrödinger equation and some applications
 - Electrons and holes, effective electron mass.
 - Doping: n-type, p-type.
 - Ensemble of particles, Fermi-Dirac statistic of conduction electrons.
 - Contacts: ideal p-n junction (diode), pure metal contact and thermocouples.
 - Devices: diode, photovoltaic cell (solar cell), light emitting diode (LED).
4. Dielectric and piezoelectric materials.
 - Electric polarization mechanisms, dipole moment, polarizability.
 - Local electric field, Clausius Mossotti relation between the polarizability and the dielectric constant.
 - Dielectric constant as a complex quantity, absorption of electromagnetic waves and loss factor.
 - Piezoelectricity, actuators and sensors, scanning tunneling and atomic force microscope (STM/AFM), pyroelectricity.
5. Magnetic properties and superconductivity.
 - Magnetization and magnetic permeability.
 - Different classes of magnetic materials: diamagnetic, paramagnetic, ferromagnetic, antiferromagnetic, ferrimagnetic.
 - Magnetic domains and magnetic data storage
 - Superconductivity: zero resistance and critical current density, generation of large magnetic fields.
 - Measuring magnetic fields: Hall effect, magnetic flux quantization and SQUID (Superconducting Quantum Interference Device).

Teaching and learning methods

Instruction teaching: presentation and discussion of fundamental concepts.
Exercises: solving quantitative problems and analyzing the physical concepts.
Individual learning using the lecture notes and the textbook.

Literature

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

Assessment

Certification requirements

Module uses certification requirements

Certification requirements for final examinations (conditions for attestation)

Defined by the professors, for example a certain number of problems solved.

Basic principle for exams

As a rule, all the standard final exams for modules and also all repetition exams are to be in written form

Standard final exam for a module and written repetition exam

Kind of exam

written

Duration of exam

120 minutes

Permissible aids

Aids permitted as specified below:

Permissible electronic aids

calculator

NOT allowed are notebooks, smart phones and other electronic devices for telecommunication

Other permissible aids

writing paper

writing material, pen, ruler

NOT allowed are lecture notes, exercises and textbooks

Special case: Repetition exam as oral exam

Kind of exam

oral

Duration of exam

30 minutes

Permissible aids

No aids permitted

Description du module, disponible en: EN, FR

Physique des matériaux et des dispositifs électroniques

Informations générales

Nombre de crédits ECTS

3

Code du module

FTP_Physics

Valable pour l'année académique

2019-2020

Dernière modification

2018-10-17

Nom du/de la responsable de module

Thomas Graf (FHZ, thomas.graf@hslu.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%		X E 100%
Documentation		X F 20-30% X E 70-80%		X E 100%
Examen		X F 100%		X E 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: **E**, **D**, **B** and **H**, la capacité électrique C , la constante diélectrique ϵ_{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 autorisés

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 autorisés

Sans aides