



Offen im Denken



Modulbeschreibung

M.Sc. NanoEngineering PO24

Modulname laut Prüfungsordnung			
Aerosolprozesstechnik			
Module title English			
Aerosol Technology			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Aerosolprozesstechnik			
Course title English			
Aerosol Technology			
Verantwortung	Lehreinheit		
Schmidt, Frank	MB		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	SoSe	D	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		
Studienleistung			
Prüfungsleistung			
Klausur			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch

Einführung in die Dynamik von flüssigen und festen Partikeln in Gasen. Es werden dabei die aerosol-dynamischen Prozesse Nukleation, Koagulation, Kondensation und der Transport von Partikeln sowie deren Deposition auf angestromte Oberflächen behandelt. Die technische Umsetzung der Partikelabscheidung wird am Beispiel der Rauchgasreinigung und am Beispiel der Filtration in raumluftechnischen Anlagen erläutert. Ferner werden experimentelle Methoden zur Bereitstellung von definierten Testpartikeln und unterschiedliche Messmethoden zur Bestimmung der Anzahl- und Größenverteilung luftgetragener Partikel besprochen.

Behandelte Themen:

- Partikelform, Partikelgrößenverteilung und -anzahlkonzentration
- aerosoldynamische Prozesse wie bspw. Koagulation und Kondensation
- Partikelbewegung durch Brownsche Diffusion
- konvektiver Partikeltransport sowie aufgrund von äußeren Kräften (z.B. Thermophorese)
- Abscheidung von Partikeln in Tiefen- sowie Oberflächenfiltern
- geeignete Probenahme und mögliche Fehler bei der Konzentrationsmessung
- Aerosoldispersierer und -zerstäuber
- Messgeräte (u.a. optische Partikelzähler und Mobilitätsanalysatoren)
- Anwendungen in der Umwelt- und Raumlufttechnik

Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch

Die Studierenden kennen die unterschiedlichen Transport- und Depositionsmechanismen von Partikeln sowie die grundlegenden aerosoldynamischen Prozesse in der Gasphase. Darüber hinaus können sie die geeigneten experimentellen Methoden zur Erzeugung und Analyse von Aerosolen auswählen und auf technische Anwendungen übertragen.

Description / Content English

Introduction to the dynamics of liquid and solid particles in gases. The aerosol dynamic processes nucleation, coagulation, condensation and the transport of particles as well as their deposition on flowing surfaces are dealt with. The technical implementation of particle separation is explained using the example of flue gas cleaning and the example of filtration in air-conditioning systems. Furthermore, experimental methods for providing defined test particles and different measurement methods for determining number and size distribution of airborne particles are discussed.

Topics covered:

- particle shape, particle size distribution and number concentration
- aerosol dynamic processes such as coagulation and condensation
- particle motion by Brownian diffusion
- convective particle transport and due to external forces (e.g. thermophoresis)
- separation of particles in depth and surface filters
- appropriate sampling and possible errors in concentration measurement
- aerosol dispersers and atomizers
- measuring instruments (e.g. optical particle counters and mobility analyzers)
- applications in environmental and indoor air technology

Learning objectives / skills English

The students know the different transport and deposition mechanisms of particles as well as the basic aerosol dynamic processes in the gas phase. Furthermore, they are able to select the appropriate experimental methods for the generation and analysis of aerosols and to transfer them to technical applications.

Literatur

- Hinds, W.C. (1982), *Aerosol Technology*. John Wiley and Sons, New York
Friedlander, S.K. (1977), *Smoke, Dust, and Haze*. John Wiley and Sons, New York

Modulname laut Prüfungsordnung			
Auslegung und Sicherheit von Gasphasenprozessen			
Module title English			
Design and safety of gas-phase processes			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Auslegung und Sicherheit von Gasphasenprozessen			
Course title English			
Design and safety of gas-phase processes			
Verantwortung	Lehreinheit		
Wiggers, Hartmut	MB		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	SoSe	D	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2			1
Studienleistung			
Prüfungsleistung			
Hausarbeit			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch
Das Modul besteht aus einer Lehrveranstaltung mit Vorlesung und einem Seminar. Die Veranstaltung führt ein in die Auslegung von Gasphasenprozessen mit den Schwerpunkten Gasphasensynthese und Gasphasenabscheidung. An ausgewählten Beispielen wird die verfahrens- und sicherheitstechnische Auslegung von Gasphasenprozessen erläutert. Die Veranstaltung zielt insbesondere darauf ab, auf Basis ausgewählter Reaktionen und ihrer Prozessbedingungen (Thermodynamik und Kinetik von Gasphasenreaktionen, Massenströme, Umsatz, Trennung...) ein geeignetes Anlagendesign zu entwickeln und sicherheitstechnisch zu hinterfragen. Dabei kommen etablierte Methoden aus der chemischen Verfahrenstechnik (Erstellung von R&I- Fließbildern, Gefahrenanalyse mittels PAAg) zum Einsatz. Die gesetzlichen Vorgaben (Betriebssicherheitsverordnung, Gefährdungsbeurteilungen) wie sie sowohl im Hochschul-Bereich wie auch bei Aufbau und Betrieb von Industrieanlagen Anwendung finden, werden dargestellt.
Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch
Die Studierenden sind nach aktivem Besuch der Veranstaltungen in der Lage, verfahrenstechnische Anlagen für Gasphasenprozesse auszulegen, diese anhand von R&I Fließbildern darzustellen und auf ihre Gefährdungen hin zu untersuchen. Sie sind in der Lage, Gefahrenanalysen nach PAAG/HAZOP durchzuführen, Gefährdungen zu erkennen, Risiken durch geeignete Lösungen zu vermeiden und diese kritisch zu hinterfragen. Sie sind über die gesetzlichen Bestimmungen basierend auf der Betriebssicherheitsverordnung informiert und haben gelernt, diese auf Beispiele aus der Praxis anzuwenden.

Description / Content English

The module consists of a course with a lecture and a seminar. The course introduces the design of gas-phase processes, with a focus on gas-phase synthesis and gas-phase deposition. The process and safety-related design of gas-phase processes is explained using selected examples. The aim of the course is to develop a suitable plant design based on selected reactions and their process conditions (thermodynamics and kinetics of gas-phase reactions, mass flows, conversion, separation...) and to question it from a safety perspective. In doing so, established methods from chemical process engineering (creation of Piping & Instrumentation (P&I) diagrams, hazard analysis using HAZOP/PAAG) are used. The legal requirements (industrial safety regulations, risk assessments) as applied in both the university sector and in the construction and operation of industrial plants are presented.

Learning objectives / skills English

After actively attending the lectures, students are able to design process engineering plants for gas phase processes, to present them using P&I diagrams and to examine them for hazards. They are able to carry out hazard analyses according to PAAG/HAZOP, to recognize hazards, to avoid risks by suitable solutions and to critically question them. They are informed about the legal requirements based on the Industrial Safety Regulation and have learned to apply these to practical examples.

Literatur

„Technische Chemie“, Baerns, Manfred, 2013, ISBN 978-3-527-33072-0

„Risikomanagement nach ISO 31000: Risiken erkennen und erfolgreich steuern“, Weis, Udo, 2009, ISBN 978-3-8276-2967-8

Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV)

Gefahrstoffverordnung (GefStoffV)

Druckgeräterichtlinie 2014/68/EU

Modulname laut Prüfungsordnung			
Bildgebende Messtechniken für Strömungen			
Module title English			
Imaging for Flows			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Bildgebende Messtechniken für Strömungen			
Course title English			
Imaging for Flows			
Verantwortung	Lehreinheit		
Kaiser, Sebastian	MB		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	WiSe	D	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1	1	
Studienleistung			
Antestat, Versuchsdurchführung Praktikum			
Prüfungsleistung			
Präsentation			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch
Die Vorlesung behandelt bildgebende Messtechniken, die in Strömungen eingesetzt werden können, um quantitativ und berührungslos physikalische und chemische Eigenschaften ab zu bilden. Z.B. kann mit der laserinduzierten Fluoreszenz (LIF) die Kraftstoffkonzentration in einem Motor vermessen werden. Messprinzipien, Hardware (z.B. Kameratechnologie), und Datenverarbeitung werden erläutert. Im begleitenden Praktikum (separat aufgeführte Veranstaltung) bauen die Studenten einen klassischen Versuch der turbulenten Strömungslehre auf, führen ihn durch, und werten die Ergebnisse aus: 2D-Messung des Konzentrationsfeldes im turbulenten Freistrahrl. Die Studenten dokumentieren Vorgehen und Ergebnisse in einem Praktikumsbericht.
Inhalte:
Vorlesung und Übung:
1) Warum laser-basierte Messmethoden in Strömungen?
Vorführen eines typischen Experimentes im Labor.
2) Bildgebende Strömungsmessung: Methoden, Anwendungen, Beispiele
3) Einfache Optik: Strahlenoptik, Polarisation, Interferenz, Filter
4) Laser: Physik, Laserarten, Baugruppen. LEDs.
5) Bildformung: Auflösung, Objektive, Abbildungsfehler.
6) Kameras und Detektoren: CCD, ICCD, CMOS, Photodiode, PMT. Sensorgüte und Rauschen.
7) Bildverarbeitung: Photometrie, Filtern, Statistische Analyse.
Praktikum (Fluoreszenz-basierte Abbildung eines turbulenten Freistrahls):
Literaturüberblick
Aufbau des Experimentes
Datenerfassung, Bearbeitung und Auswertung
Bericht
Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch

Die Studierenden verstehen die Grundlagen und Anwendungen quantitativer bildgebender Messverfahren in reaktiven Strömungen, insbesondere die dazu gehörigen Technologien wie Kamerasysteme und Lichtquellen. Sie können grundlegende Parameter der Bildgebung in typischen Anwendungen abschätzen.

Description / Content English

This class discusses two-dimensional measurement techniques, which can be used to quantitatively and non-intrusively image physical and chemical properties in flows. For example, laser-induced fluorescence (LIF) can image the fuel concentration in the cylinder of an automotive engine. Measurement techniques, hardware (for example, camera technology), and image processing are discussed. In the accompanying lab (listed separately), students will set up and evaluate a classic experiment of turbulent fluid dynamics: a 2D measurement of the instantaneous concentration in a turbulent free jet. The students document experiment and result in a lab report.

Syllabus:

Lecture and problem session:

1) Why use laser-based imaging in (reacting) flows?

Demonstration of a typical experiment in the lab.

2) Flow-imaging diagnostics: Method, applications, example.

3) Basic optics: Geometric optics, polarization, interference, filters.

4) Lasers: Physics, classes of lasers, laser components. LEDs.

5) Imaging: Resolution, lenses for imaging, aberrations.

6) Cameras and detectors: CCD, ICCD, CMOS, Photodiode, PMT. Sensor performance and noise.

7) Image processing: Photometric processing, filtering, statistical analysis

Laboratory (Fluorescence imaging in a turbulent jet):

Review literature

Set up experiment

Acquire, process, and evaluate data

Write report

Learning objectives / skills English

The students understand the fundamentals and applications of quantitative imaging techniques for spatially resolved measurements in reacting flows, in particular the corresponding technologies like cameras and light sources. They are able to estimate basic parameters of imaging for typical applications.

Literatur

Eckbreth, Laser diagnostics for combustion temperature and species, Gordon and Breach, Amsterdam, 1996

Demtröder, Laserspektroskopie. Grundlagen und Techniken, Springer, Berlin-Heidelberg-New York, 2000

Modulname laut Prüfungsordnung			
Computational Electromagnetics 1			
Module title English			
Computational Electromagnetics 1			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Computational Electromagnetics 1			
Course title English			
Computational Electromagnetics 1			
Verantwortung	Lehreinheit		
Rennings, Andreas	ET		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	WiSe	D/E	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1	1	
Studienleistung			
Antestat, Versuchsdurchführung Praktikum			
Prüfungsleistung			
Mündliche Prüfung			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch
Die computerorientierte Lösung der Maxwell-Gleichungen spielt eine immer wichtigere Rolle. Die sukzessiven Verbesserungen, sowohl in der Computertechnologie als auch bei den numerischen Algorithmen selbst, tragen dazu bei, dass heutzutage sehr viele Elektromagnetik-Probleme aus der Praxis gelöst werden können.
Die „virtuelle Optimierung“ mit Hilfe eines Computers ist sehr viel kostengünstiger und effizienter als das traditionelle Vorgehen mittels Bau und Prüfung von Prototypen-Reihen.
Die möglichen Einsatzbereiche finden sich in diversen Sparten der Elektrotechnik: Etwa bei Wirbelstromproblemen in elektrischen Maschinen, Hochfrequenz-Schaltungen und -Antennen, optischen Komponenten, Radarsystemen, Streuungsproblemen und der elektromagnetischen Kompatibilität, um nur einige Anwendungsbeispiele zu nennen.
Der Kurs Computational Electromagnetics 1 (CEM-1) hat zwei wesentliche Ziele:
1. Die Vermittlung von Grundkenntnissen über die drei wichtigsten Methoden zur numerischen Lösung von elektromagnetischen Feldproblemen, namentlich die Finite-Differenzen Methode (FDM, auch FDTD = Finite-Difference Time-Domain), die Finite-Elemente Methode (FEM) und die Momenten-Methode (MoM, auch BEM = Boundary Element Method).
2. Die „sichere“ und effiziente Benutzung von (kommerziellen) Simulations-Werkzeugen auf Basis der o.g. numerischen Methoden, namentlich die Software EMPIRE XPU™ von der IMST GmbH, das open-source FDTD Programm openEMS, die beiden FEM-solver COMSOL Multiphysics™ und ANSYS HFSS, sowie das MoM-basierte tool FEKO™ von Altair Engineering. Die entsprechenden Kenntnisse werden durch das selbstständige Durcharbeiten von sog. Tutorials (Übungen am PC) unter fachkundiger Anleitung vertieft.
Die Kurs-TeilnehmerInnen sind abschließend in der Lage, die geeignete Software (das geeignetste numerische Verfahren) für „ihr“ Elektromagnetik-Problem auszuwählen und diese effizient und „sicher“ anzuwenden.
Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch
Die Studierenden sind abschließend in der Lage die geeignete Software (das geeignetste numerische Verfahren) für „ihr“ Elektromagnetik-Problem auszuwählen und diese effizient und „sicher“ zu benutzen.

Description / Content English

The computer-based solution of Maxwell's equations plays an increasingly important role. Due to the successive improvements in the computer technology and the numerical algorithms themselves a lot of practical electromagnetic problems can be solved nowadays.

The „virtual optimization“ using a computer is much more cost effective and efficient than the traditional approach based on building and testing of prototypes-series.

The possible application areas can be found in various sectors of electrical engineering, e.g., eddy current problems in electrical machines, high-frequency circuits and antennas, optical components, radar systems, scattering problems and electromagnetic compatibility, to name just a few.

The course Computational Electromagnetics 1 (CEM-1) has two main objectives:

1. To teach the basic knowledge about the three main methods for the numerical solution of electromagnetic field problems, including the finite difference method (FDM, also FDTD = Finite-Difference Time-Domain), the Finite Element Method (FEM) and the Method of Moments (MoM, also BEM = Boundary Element Method).

2. The „safe“ and efficient use of (commercial) simulation tools based on the above-mentioned numerical methods, especially the software EMPIRE XPU™ by IMST GmbH, the open-source FDTD Program openEMS, the two FEM solver COMSOL Multiphysics™ and ANSYS HFSS, and the MoM -based tool FEKO™ of Altair Engineering. The corresponding knowledge is deepened by working through so-called software tutorials (exercises on the PC) under expert guidance.

The course participants are finally able to select the most appropriate software (the most suitable numerical methods) for „their“ electromagnetic field problem and use the corresponding tool efficiently and „safely“.

Learning objectives / skills English

Students are finally in a position to select the most appropriate software (the most suitable numerical method) for „their“ electromagnetic problem and to use the tool in an efficient and „safe“ manner.

Literatur

[FDTD] Allen Taflove, Susan C. Hagness, Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method. Norwood: Artech House, 2005.

[FEM] Jianming Jin, The Finite Element Method in Electromagnetics. New York: John Wiley & Sons, 2002.

Modulname laut Prüfungsordnung			
Computational Electromagnetics 2			
Module title English			
Computational Electromagnetics 2			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Computational Electromagnetics 2			
Course title English			
Computational Electromagnetics 2			
Verantwortung	Lehreinheit		
Rennings, Andreas	ET		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	SoSe	D/E	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1	1	
Studienleistung			
Antestat, Versuchsdurchführung Praktikum			
Prüfungsleistung			
Mündliche Prüfung			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch
Die computerorientierte Lösung der Maxwell-Gleichungen spielt eine immer wichtigere Rolle. Die sukzessiven Verbesserungen, sowohl in der Computertechnologie als auch bei den numerischen Algorithmen selbst, tragen dazu bei, dass heutzutage sehr viele Elektromagnetik-Probleme aus der Praxis gelöst werden können.
Die „virtuelle Optimierung“ mit Hilfe eines Computers ist sehr viel kostengünstiger und effizienter als das traditionelle Vorgehen mittels Bau und Prüfung von Prototypen-Reihen.
Computational Electromagnetics wird inzwischen für den Entwurf von vielen elektromagnetischen Geräten und Systemen verwendet, die sich in allen Sparten der Elektrotechnik wiederfinden, zum Beispiel in der Mobil-Telefonie, der Satelliten-Kommunikationstechnik, bei elektrischen Maschinen (Motoren, Generatoren und Transformatoren), medizinischen Bildgebungssystemen, Mikrowellen-Schaltungen und -Antennen, optischen Komponenten, Radarsystemen, Streuungsprobleme und der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV).
Der Kurs Computational Electromagnetics 2 (CEM-2) hat zwei wesentliche Ziele:
1. Die Vermittlung von notwendigen theoretischen Kenntnissen über die wichtigsten Methoden zur numerischen Lösung von elektromagnetischen Feldproblemen, namentlich die Finite-Differenzen Methode (FDM, auch Finite Differenzen im Zeitbereich, engl. Finite-Difference Time-Domain, FDTD) und die Finite-Elemente Methode (FEM).
2. Die praktische Implementierung der thematisierten Methoden und Algorithmen am Rechner. Dies soll mittels MATLAB™ erfolgen, da die weitverbreitete Programmierumgebung bereits viele nützliche Funktionen bereitstellt, insbesondere für die Lösung linearer Gleichungssysteme, aber auch im Zusammenhang mit der Visualisierung der numerisch berechneten Felder.
Der CEM-2 Kurs basiert auf dem einführenden Text zum Thema Computational Electromagnetics von Thomas Rylander, Per Ingelström und Anders Bondeson. Das zugehörige ebook steht (hier) für UDE-Studierende zum Download bereit.
Zum Ende des Semesters sollen die Kurs-TeilnehmerInnen das Erlernte anwenden und ein „eigenes“ Elektromagnetik-Problem mittels MATLAB™-Implementierung lösen. Diese Programmieraktivität soll in kleinen Gruppen erfolgen und wird thematisch individuell angepasst.
Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch

Die Teilnehmer wissen und verstehen,

- warum numerische Methoden für das elektromagnetische Design von Bauteilen/Systemen aus der Praxis unbedingt benötigt werden,
- wie sie die mathematische Formulierung der Lösung eines Feldproblems in ein systematisches Computerprogramm umsetzen,
- welche numerische Methode am besten für ein spezielles Problem geeignet ist,
- wie sie einen PC (Hardware) und kommerzielle oder auch open-source Software effizient für das elektromagnetische Design einsetzen können,
- welche Limitierungen die vorgestellten numerischen Methoden haben.

Sie verstehen die folgenden Methoden im Detail und können zugehörige Software-Produkte (in Klammern) anwenden:

1. Finite Differenzen im Zeitbereich, kurz FDTD (EMPIRE XCcel von der IMST GmbH)
2. Finite Elemente Methode, kurz FEM (COMSOL Multiphysics)
3. Multiple Multipol Methode, kurz MMP (nur Vortrag)

Description / Content English

The computer-based solution of Maxwell's equations plays an increasingly important role. Due to the successive improvements in the computer technology and the numerical algorithms themselves a lot of practical electromagnetic problems can be solved nowadays.

The „virtual optimization“ using a computer is much more cost effective and efficient than the traditional approach based on building and testing of prototypes-series.

Computational Electromagnetics is now used for the design of many electromagnetic devices and systems, which are widespread into all areas of electrical engineering, for example, in the mobile telephony, satellite communications, electric machines (motors, generators and transformers), medical imaging systems , microwave circuits and antennas, optical components, radar systems, scattering problems and electromagnetic compatibility (EMC).

The course Computational Electromagnetics 2 (CEM-2) has two main objectives:

1. The teaching of necessary theoretical knowledge of the most important methods for the numerical solution of electromagnetic field problems, including the finite difference method (FDM, also Finite-Difference Time-Domain, FDTD) and the Finite Element Method (FEM).
2. The practical implementation of the discussed methods and algorithms on a computer. This should be carried out using MATLAB™, since this widespread programming environment already provides many useful functions, especially for solving systems of linear equations, but also due to the visualization capability.

The CEM-2 course is based on the introductory text on the subject of Computational Electromagnetics by Thomas Rylander, Par Ingelström and Anders Bondeson. The corresponding ebook is available for UDE students ([here](#)).

At the end of the semester the course participants should apply what they have learned and solve their „own“ electromagnetics problem using MATLAB™. This programming should be done in small groups. The topics will be „matched“ to the students' interest.

Learning objectives / skills English

The students know and understand,

- why computer-aided methods are needed and why they are important?
- what is their place among other approaches, like theoretical (analytical) analysis and laboratory experiments?

They understand various computational methods and know how to apply the corresponding simulation software (in brackets), like:

1. Method of Finite Differences in Time Domain, short FDTD (EMPIRE XCcel developed by IMST GmbH),
2. Finite Element Method, short FEM (COMSOL Multiphysics),
3. Multiple Multipole Method, short MMP (talk only).

Literatur

Thomas Rylander, Par Ingelström, Anders Bondeson, Computational Electrodynamics (2. Edition). New York: Springer, 2013.
(DOI: 10.1007/978-1-4614-5351-2)

Modulname laut Prüfungsordnung			
Dielektrische und magnetische Materialeigenschaften			
Module title English			
Dielectric and Magnetic Material Properties			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Dielektrische und magnetische Materialeigenschaften			
Course title English			
Dielectric and Magnetic Material Properties			
Verantwortung	Lehreinheit		
Münzer, Franziska	ET		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	SoSe	D	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		
Studienleistung			
Prüfungsleistung			
Mündliche Prüfung			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch
In dieser Veranstaltung werden die theoretischen Grundlagen zum Verständnis der dielektrischen und der magnetischen Materialeigenschaften gelehrt. Es werden die den dielektrischen Materialien zugrunde liegenden Polarisationsmechanismen anhand von Modellen erläutert. Der Magnetismus wird auf der Basis atomarer Vorgänge beschrieben. Hysteresebehaftete dielektrische und magnetische Materialien werden ebenso diskutiert wie nichtlineare Prozesse. Parallelen zwischen beiden Materialklassen werden aufgezeigt. Anwendungsbeispiele aus der Energietechnik (Isolatoren), der Mikro- und Nanoelektronik (Isolatoren, Ladungsspeicher, magnetische Speicher Sensoren) und der Nanooptoelektronik (Wellenleiter, Metamaterialien) werden diskutiert und unter nanospezifischen Gesichtspunkten erläutert.
Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch
Im Anschluss an diese Vorlesung ist die oder der Studierende in der Lage, das makroskopische dielektrische und magnetische Verhalten von Werkstoffen und Nanostrukturen anhand atomarer Vorgänge zu erklären. Sie oder er kann die unterschiedlichen Materialien nach verschiedenen Gesichtspunkten sortieren. Für definierte Anwendungen kann sie oder er geeignete Materialien und Materialkombinationen auswählen.

Description / Content English
The content of this lecture are the fundamentals of dielectric and magnetic materials. For the dielectric materials the mechanisms of the polarisation will be discussed. The magnetismus will be explained on the atomic basis. Correlations between both material classes will be shown and examples of applications will be discussed.
Learning objectives / skills English
The students are able to explain the macroscopic behaviour of the different material classes on ther basis of their atomic structure. They can find for each application the right material.

Literatur

- 1) W. Kowalsky: Dielektrische Werkstoffe der Elektrotechnik und Photonik, B. G. Teubner Stuttgart 1994
- 2) G. Fasching: Werkstoffe der Elektrotechnik, Springer-Verlag 1994
- 3) E. Ivers-Tiffée, W. von Münch: Werkstoffe der Elektrotechnik, B. G. Teubner 2004
- 4) W. v. Münch: Elektrische und magnetische Eigenschaften der Materie, B. G. Teubner 1987
- 5) K. Kopitzki: Einführung in die Festkörperphysik, B. G. Teubner 1993
- 6) J. F. Nye: Physical properties of crystals, Oxford Science Publications 1985
- 7) Ch. Kittel: Einführung in die Festkörperphysik, Oldenburg Verlag 2002
- 8) S. Chikazumi: Physics of Magnetism, Robert E. Krieger Publishing Company, 1978
- 9) R. Waser [Ed.], Nanoelectronics and Information Technology, Advanced Electronic Materials and Novel Devices, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2003

Modulname laut Prüfungsordnung			
Elektrochemische Wasserstofferzeugung und -nutzung			
Module title English			
Electrochemical hydrogen generation and utilization			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Elektrochemische Wasserstofferzeugung und -nutzung			
Course title English			
Electrochemical hydrogen generation and utilization			
Verantwortung	Lehreinheit		
Hoster, Harry	MB		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	SoSe	D	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1	1	
Studienleistung			
Antestat, Versuchsdurchführung Praktikum			
Prüfungsleistung			
Klausur oder Mündliche Prüfung			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch
Elektrolyseanlagen spalten Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff und speichern somit elektrische Energie in chemischer Form. Wasserstoff wird somit zum Energievektor für den Transport (ggf. grüner) elektrischer Energie durch Raum und Zeit. Brennstoffzellen gewinnen elektrische Energie aus der Reaktion von Wasserstoff und Sauerstoff. Die verschiedenen in der Entwicklung befindlichen Brennstoffzellensysteme von der bei niederer Temperatur arbeitenden Membranbrennstoffzelle bis zur Festoxidbrennstoffzelle mit ihren 1000°C Arbeitstemperatur werden vorgestellt. Zur Brennstoffzellentechnologie gehört die Wasserstoffgewinnung aus verschiedenen chemischen Energieträgern, sowohl für stationäre Systeme für die Kraft/Wärmekopplung als auch an Bord von Fahrzeugen oder sogar für kleinste portable Anwendungen. In einem Praktikum werden die behandelten Inhalte anschaulich vertieft.
Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch
Die Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologie werden von den Studenten verstanden, so dass sie die Technik und die Rahmenbedingungen nachvollziehen und auch auf neue Fragestellungen übertragen können und die verschiedenen Zukunftsoptionen der Effizienzsteigerung in der Energieversorgung beurteilen können. Vor- und Nachteile im Vergleich zu konventionellen Energiesystemen sind erarbeitet.

Description / Content English
Electrolysis systems store electrical energy in chemical form by splitting water into hydrogen and oxygen. This makes hydrogen an energy vector to transfer (potentially green) electricity through space and time. Fuel cells convert chemical energy back into electricity. The different types of fuel cells being in development ranging from membrane fuel cells with typical operation temperatures of 80°C to solid oxide fuel cells for 1000°C are presented. Closely connected with fuel cell technology is the hydrogen technology. Thus, hydrogen generation via the various possible pathways for the different applications of fuel cell systems are described. The range of applications are combined heat and power supply in stationary systems, electric traction and power supply for remote and portable applications. Fuel cell systems are compared to other innovative energy converters, like micro gas turbines or Stirling engines. The contents are deepened in a practical exercise.
Learning objectives / skills English

The students understand fuel cell and hydrogen technology and are able to judge advantages and disadvantages of these new energy options in comparison to established technologies. The student are able to transfer this knowledge to new questions related to energy systems. The potential increase in energy efficiency and economical and political conditions are understood.

Literatur

Für Elektrochemie und Batterien:

Hamann/Vielstich; Elektrochemie; Wiley, Weinheim 1998

Für Wasserstofftechnologie:

Frey, Hartmut; Golze, Kay; Hirscher, Michael; Felderhoff, Michael; Energieträger Wasserstoff; 2023

Für Brennstoffzellen:

Tillmetz, Werner ; Martin, Andre; Wasserstoff Auf Dem Weg Zur Elektromobilität: Hautnah Erlebt: Die Basisinnovation

Brennstoffzelle

Kordesch/Simader; Fuel Cells and their applications; VCH Weinheim 1996

Heinzel/Mahlendorf/Roes; Brennstoffzellen; C.F. Müller Heidelberg 2005

Larminie/Dicks; Fuel Cell Systems explained; Wiley, Chichester 2000

Handbook of Fuel Cells; Wiley 2003

Krewitt/Pehnt/Fischedick/Temming; Brennstoffzellen in der Kraft-Wärme-Kopplung; Erich Schmitt-Verlag, Berlin 2004

Modulname laut Prüfungsordnung			
Experimentelle Grundlagen der Spinelektronik			
Module title English			
Experimental Fundamentals of Spin Electronics			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Experimentelle Grundlagen der Spinelektronik			
Course title English			
Experimental Fundamentals of Spin Electronics			
Verantwortung	Lehreinheit		
Schneider, Claus	Physik		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	WiSe	D	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	2		
Studienleistung			
Prüfungsleistung			
Mündliche Prüfung			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch
Die Veranstaltung behandelt die Grundlagen und Anwendungen von spinabhängigen Transportphänomenen aus experimenteller Sicht. Ausgangspunkt sind elektrische Ladungstransportprozesse in Rahmen der Boltzmann-Behandlung. Daraus werden systematisch die verschiedenen Magnetowiderstands- und Spintransporteffekte entwickelt: Anisotroper Magnetowiderstand (AMR), Halleffekt, Riesenmagnetowiderstand (GMR), Tunnelmagnetowiderstand (TMR), Spinakkumulation und -injektion, Spin Hall Effekte, etc. Neben den elektronischen und magnetischen Grundlagen dieser Effekte werden auch aktuelle und perspektivische Anwendungen in der magnetischen Sensorik, Datenspeicherung, und Mikroelektronik diskutiert.
Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch
Verständnis der wesentlichen Spintransport-Phänomene (Magnetowiderstand, Hall Effekt, AMR, GMR, TMR, Spin Injektion in Halbleiter, Spin Akkumulation, Spin Transfer Torque, Spin Hall Effekte) und ihrer mikroskopischen Mechanismen. Kenntnis der hauptsächlichen Material- und Anwendungaspekte der Spinelektronik (magn. Datenspeicherung, magn. Sensoren, Mikrowellengeneratoren, Spinlogik, Quanteninformationstechnologie).

Description / Content English
The lecture deals with the fundamental and applicational aspects of spin-dependent transport phenomena from the viewpoint of experiment. Starting point is the electrical charge transport in the framework of the Boltzmann equation. We then systematically develop the various magnetoresistance and spin transport effects: anisotropic magnetoresistance (AMR), Hall effect, giant magnetoresistance (GMR), tunneling magnetoresistance (TMR), spin accumulation and injection, spin Hall effects, etc. In addition to the microscopic electronic and magnetic mechanisms governing these effects we will also discuss present and future applications in magnetic sensorics, data storage and microelectronics.
Learning objectives / skills English

Basic understanding of the main spin transport phenomena (magnetoresistance, Hall effect, AMR, GMR, TMR, spin injection in semiconductors, spin accumulation, spin transfer torque, spin Hall effects) and their microscopic mechanisms. Knowledge of the main material and application aspects of spinelectronics (magn. data storage, magn. sensors, microwave generators, spin logics, quantum information technology).

Literatur

Spin Electronics, edited by M. Ziese and M.J. Thornton (Springer, Berlin 2001)

Modern Magnetic Materials, R.C. O'Handley (Wiley Interscience, New York, 2000)

Semiconductor Spintronics and Quantum Computation, eds. D.D. Awschalom, D. Loss, and N. Samarth (Springer, Berlin, 2002)

Ultrathin Magnetic Structures Vol. 1 - 4, eds. J.A.C. Bland and B. Heinrich (Springer, Berlin, 2002/2005)

Ferromagnetic Materials Vol. 3, edited by E.P. Wohlfarth (North-Holland, Amsterdam, 1982), weitere relevante Artikel zu Themen der Spinelektronik finden sich auch in Volumes 7, 12, 13, und 14 dieser Reihe

Introduction to Spintronics, S. Bandyopadhyay and M. Cahay (CRC Press Inc., 2008)

Handbook of Spin Transport and Magnetism, edited by E. Y. Tsymbal and I. Zutic (CRC Press, Chapman & Hall, 2011)

Modulname laut Prüfungsordnung			
Formulierungs-, Druck- und Beschichtungstechnologien für partikuläre Produkte			
Module title English			
Formulation, printing and coating technologies for particulate products			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Formulierungs-, Druck- und Beschichtungstechnologien für partikuläre Produkte			
Course title English			
Formulation, printing and coating technologies for particulate products			
Verantwortung	Lehreinheit		
Özcan, Fatih	MB		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	WiSe	D	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2			1
Studienleistung			
Prüfungsleistung			
Mündliche Prüfung			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch
Nahezu immer finden partikuläre Produkte nicht als Pulver ihre endgültige Anwendung, sondern müssen zu (multi)funktionalen dünnen Filmen oder Schichten verarbeitet werden. Dies gilt insbesondere für energetische Funktionsmaterialien wie sie in Brennstoffzellen, Batterien, aber auch LEDs und Solarzellen, d.h. Anwendungen der Energie- und Verfahrenstechnik sowie der Nanotechnologie, zum Einsatz kommen. Innerhalb der Vorlesung soll daher die gesamte Prozesskette von der Formulierung druckbarer Tinten bis zum Beschichtungsprozess betrachtet werden.
Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch
Studierende verstehen nach dem Besuch der Vorlesung die komplexen Zusammenhänge zwischen dem Suspendieren von Pulvern und deren Formulierung zu maßgeschneiderten Tinten. Die angestrebten Eigenschaften letzterer können mit den spezifischen Randbedingungen unterschiedlicher Druck- und Beschichtungsverfahren in Verbindung gebracht werden. Ebenso sind gängige Methoden zur Charakterisierung von Trocknungsprozessen und partikulären Schichten bekannt und können hinsichtlich der Vor- und Nachteile diskutiert werden.

Description / Content English
Particulate products almost always do not find their final application as powders, but have to be processed into (multi)functional thin films or layers. This applies in particular to energetic functional materials such as those used in fuel cells and batteries, but also LEDs and solar cells, i.e. applications in energy and process engineering as well as nanotechnology. The lecture will therefore cover the entire process chain from the formulation of printable inks to the coating process.
Learning objectives / skills English
After attending the lecture, students will understand the complex relationships between suspending powders and formulating them into tailor-made inks. The desired properties of the latter can be associated with the specific boundary conditions of different printing and coating processes. Common methods for characterizing drying processes and particulate layers are also known and can be discussed with regard to their advantages and disadvantages.

Literatur

- Kistler, S.F., Schweizer, P.M. (Eds.), 1997. Liquid film coating: scientific principles and their technological implications. Chapman & Hall.
- Cohen, E.D., Gutoff, E.B., 1992. Modern Coating and Drying Technology. John Wiley & Sons.
- Meichsner, G., Mezger, T., Schröder, J., 2016, Lackeigenschaften messen und steuern
- Schweizer, P., Liquid Film Coating

Modulname laut Prüfungsordnung			
Fortgeschrittene Festkörperphysik			
Module title English			
Advanced solid state physics			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Fortgeschrittene Festkörperphysik			
Course title English			
Advanced solid state physics			
Verantwortung	Lehreinheit		
Lorke, Axel	Physik		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	SoSe	D	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		
Studienleistung			
Prüfungsleistung			
Klausur oder Mündliche Prüfung			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch
- Supraleitung Typ I und Typ II Supraleiter, London-Gleichungen (SL und Magnetfelder, Abschirmströme), BCS – Theorie, Josephson-Effekte, SQUID, Superfluidität
- Diamagnetismus und Paramagnetismus Langevin-Gleichung, Quantentheorie des Dia- und Paramagnetismus, Kühlung durch adiabatische Entmagnetisierung, Paramagnetische Suszeptibilität der Leitungselektronen
- Kooperativer Magnetismus Ferromagnetische Ordnung, Austauschwechselwirkung, Stoner-Kriterium, Magnonen, Magnetische Neutronenstreuung, Ferrimagnetische Ordnung, Antiferromagnetische Ordnung, Ferromagnetische Domänen, Ionen im Kristallfeld, Auslöschung des Bahndrehimpulses
- Dielektrische und ferroelektrische Festkörper Makroskopisches und lokale elektrische Felder, Dielektrizitätskonstante und Polarisierbarkeit, strukturelle Phasenübergänge, ferroelektrische Kristalle
- Optische Eigenschaften von Festkörpern Response-Verhalten, Suszeptibilitäten, komplexer Brechungsindex, Kramers-Kronig-Relation, Fresnel-Gleichungen, optische Reflexion und Absorption, Raman-Effekt
- Elementare Anregungen im Festkörper Plasmonen, Polaritonen, Exzitonen, Energieverlustfunktion
Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch
Die Studierenden kennen die physikalischen Begriffe und die grundlegenden Konzepte zur Beschreibung kooperativer Phänomene wie z.B. Supraleitung und Magnetismus. Sie kennen und verstehen die wesentlichen Experimente und können deren Resultate korrekt analysieren, einordnen und beurteilen.

Description / Content English

Learning objectives / skills English

Literatur

- R. Gross, A. Marx, Festkörperphysik
- N.W. Ashcroft, D.N. Mermin, Festkörperphysik
- Ch. Kittel: Einführung in die Festkörperphysik
- Buckel: Supraleitung
- Poole, Farach, Creswick: Superconductivity
- W. Nolting: Quantentheorie des Magnetismus
- Seeger: Semiconductor Physics

Modulname laut Prüfungsordnung			
Grundlagen der Oberflächenphysik			
Module title English			
Fundamentals of Physics of Surfaces			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Grundlagen der Oberflächenphysik			
Course title English			
Fundamentals of Physics of Surfaces			
Verantwortung	Lehreinheit		
Wende, Heiko	Physik		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	SoSe	D	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		
Studienleistung			
Prüfungsleistung			
Klausur			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch
Erzeugung von sauberen Umgebungsbedingungen und sauberen Oberflächen, geometrische und elektronische Struktur von Oberflächen, Mechanismen der Strukturbildung: Rekonstruktion und Relaxation, Oberflächenzustände und elementare Anregungen, Austrittsarbeit und Emissionsvorgänge, Wechselwirkung mit Atomen und Molekülen, chemische Reaktionen, Adsorption und Wachstum, experimentelle Methoden, Präparation von Oberflächen.
Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch
Ziele der Veranstaltung ist es grundlegende Kenntnisse der Oberflächenphysik zu vermitteln; es sollen sowohl die theoretische Beschreibung von Vorgängen an Oberflächen wie auch experimentellen Methoden erlernt werden.

Description / Content English
Learning objectives / skills English

Literatur
Lüth, „Surfaces and Interfaces of Solids“, Springer Verlag,
Desjonquieres, Spanjaard, „Concepts of Surface Physics“, Springer Verlag,
Zangwill, „Physics at Surfaces“, Cambridge Univ. Press,
Henzler, Göpel, „Oberflächenphysik des Festkörpers“, Teubner Verlag

Modulname laut Prüfungsordnung			
Halbleitertechnologie			
Module title English			
Semiconductor Technology			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Halbleitertechnologie			
Course title English			
Semiconductor Technology			
Verantwortung	Lehreinheit		
Weimann, Nils; Schall-Giesecke, Anna Lena	ET		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	WiSe	D	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		
Studienleistung			
Hausarbeit			
Prüfungsleistung			
Mündliche Prüfung			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			
Beschreibung / Inhalt Deutsch			

Die Herstellung von Halbleiterbauelementen und integrierten mikroelektronischen Schaltungen ist eins der komplexesten industriellen Verfahren überhaupt. Unter extremen Anforderungen an Genauigkeit eines jeden Schrittes und an die Umgebungsbedingungen der Fertigung werden die Chips hergestellt.

In der Vorlesung zur Halbleitertechnologie, die jeweils im Wintersemester gehalten wird, lernen Sie dieses interessante Gebiet kennen. Vorgestellt werden Technologien der Siliziumtechnik, mit der Mikroprozessoren, Speicher und weitere Bausteine entstehen, die Sie z.B. beim Einsatz Ihres Smartphones oder Ihres Computers nutzen. Im zweiten Teil der Vorlesung werden komplementäre Materialien und Technologien für Höchstfrequenz- und Leistungsanwendungen behandelt.

Ausgangsmaterial der integrierten Schaltungen ist hochreines, einkristallines Silizium, dessen Gewinnung am Anfang der Vorlesung steht.

Verschiedene Prozessschritte werden anschließend vorgestellt, immer in einer Mischung aus physikalischen Grundlagen und der praktischen Ausführung in einem Halbleiter-Werk, wie es z. B. im Fraunhofer-Institut besteht. Dazu gehören die Oxidation, Diffusion, Dotierung mittels Ionenimplantation, Abscheideverfahren für dünne Schichten, Ätzverfahren, Messtechnik. Hervorheben möchte ich hier die Lithographie, deren unerhörte Präzision den Fortschritt in der Mikroelektronik ermöglicht hat und auch weiterhin gestattet. Mit optischer Belichtung von Maskenvorlagen sind in einer Massenfertigung Strukturgrößen von weniger als 100 nm (Das ist ein tausendstel Haardurchmesser !) möglich, neueste Verfahren mit extremen UV-Licht oder Elektronenstrahlbelichtung erreichen bis zu 5 nm Strukturgröße (~10 Atomdurchmesser).

Die Einzelschritte münden schließlich in einem (CMOS-) Gesamtprozess, der im Detail beschrieben wird.

Ziel der Herstellung ist es, CMOS-Bauelemente zu liefern. Deren Parameter und Regeln zum Entwurf werden in engem Zusammenhang zur Herstellungstechnologie vorgestellt.

Abschließend stehen die Themen Ausbeute und Zuverlässigkeit auf dem Plan. Beide beeinflussen wesentlich den Erfolg der Mikroelektronik. Während die Ausbeute, d. h. die Anzahl lieferbarer Chips im Verhältnis zum Aufwand der Fertigung über den aktuellen, kommerziellen Erfolg einer Fertigung entscheidet, sind die Maßnahmen zur Sicherung der Zuverlässigkeit wichtig, um den Einsatz der Chips für eine Lebensdauer von 10 oder mehr Jahren zu garantieren.

Zu den komplementären Technologien zählen die Verbindungshalbleiter, wie zum Beispiel Galliumnitrid (GaN), das die Beleuchtungstechnik revolutioniert hat. Neben GaN spielen SiGe, InP und GaAs eine bedeutende Rolle für Höchstfrequenzanwendungen, z.B. in mobilen Netzwerken. Die sogenannten III-V-Materialien InP und GaAs bilden die Basis für die moderne optische Kommunikation. Die Materialtechnologie für die Herstellung von Verbindungshalbleitern ist besonders, da diese Materialien in der Natur nicht vorkommen. In diesem Zusammenhang werden für Verbindungshalbleiter spezielle Prozessschritte, z.B. höchstauflösende Elektronenstrahl-Lithografie, besprochen.

Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch

Die Studierenden sollen die einzelnen Prozessschritte zur Herstellung hochintegrierter (CMOS-) Schaltungen und den CMOS-Gesamtprozessablauf kennen, den Zusammenhang zwischen Technologie und Bauelementeparametern oder Designregeln verstehen, ebenso Einflüsse auf die Ausbeute bei der Herstellung und auf die Zuverlässigkeit der Bauelemente.

Verfahren zur Materialsynthese der Verbindungshalbleiter sowie spezielle Prozesse werden im Zusammenhang mit Anwendungen vorgestellt und erklärt.

In den Übungen werden anwendungsnahe Beispiele durchgearbeitet.

Description / Content English

Integrated circuit manufacturing technology covers silicon based (CMOS) IC fabrication.

Starting from a definition of requirements to build an MOS device, all necessary processing step used in modern IC manufacturing are described. Silicon material, oxidation, diffusion, ion implantation, lithography, plasma etching, and others are presented, taking actual developments into account. Result is a complete CMOS process flow.

The two links between technology and circuit design, i.e. device parameters and design rules are discussed.

Yield models are covered next. Finally we present models to describe and improve the long term reliability of IC.

Complementary technologies include compound semiconductors, such as gallium nitride (GaN), which has revolutionized lighting technology. In addition to GaN, SiGe, InP and GaAs play an important role for high frequency applications, e.g. in mobile networks. The so-called III-V materials InP and GaAs form the basis for modern optical communication. The material technology for the production of compound semiconductors is set apart from the silicon technology because the compound materials do not occur in nature. Besides material synthesis, special process steps for compound semiconductors, e.g. high-resolution electron beam lithography, are discussed.

Learning objectives / skills English

The students should know the individual process steps for the production of highly integrated (CMOS) circuits and the overall CMOS process flow,
Understand the relationship between technology and component parameters or design rules, as well as influences on the production yield and on the Component reliability.
Processes for material synthesis of compound semiconductors as well as special processes are presented and explained in connection with applications.
Practical examples are worked through in the exercises.

Literatur

- U. Hilleringmann: Silizium-Halbleitertechnologie, 4. Auflage, Teubner Studienbücher, 2004
- Peter Van Zant: Microchip Fabrication. A Practical Guide to Semiconductor Processing, 4th edition, McGraw-Hill Professional Publishing, 2000

Modulname laut Prüfungsordnung			
Höchstfrequenz- und Terahertz-Halbleitertechnologien			
Module title English			
High frequency and terahertz semiconductor technologies			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Höchstfrequenz- und Terahertz-Halbleitertechnologien			
Course title English			
High frequency and terahertz semiconductor technologies			
Verantwortung	Lehreinheit		
Weimann, Nils	ET		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	WiSe	D	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		1
Studienleistung			
Vortrag			
Prüfungsleistung			
Klausur			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch
Die Veranstaltung vertieft die technologischen Verfahren zur Herstellung von nanostrukturierten Materialien und Komponenten und die zugehörigen Analysemethoden an aktuellen Beispielen aus der Bauelementherstellung. Dies beinhaltet:
- Moderne Wachstumstechniken für monoatomlagengenaue Schichtdeposition wie Metallorganische-Gasphasenepitaxie (MOVPE) und Molekularstrahlepitaxie (MBE), bezüglich Zusammensetzung, Kontrolle der Schichtdicke und Dotierung.
- Nutzung von Selbstorganisationsmechanismen und Templateprozessen.
- Fortgeschrittene hochauflösende Lithographieverfahren zur Erzeugung nanoskaliger Strukturen (Elektronen-Röntgenstrahl- sowie Rastersonden-Lithographie).
- Mikro- und nano-elektronische Fertigungstechniken für elektronische und optoelektronische Nanokomponenten, u.a. für Höchstfrequenzanwendungen.
- Laterale und vertikale Verarbeitung von Epitaxie-Filmen, Isolierschichten und Metallisierungen bis hin zu monolithisch integrierten nanoelektronischen Schaltungen.
- Zerstörungsfreie Analyse der Nanostrukturen und Bauelemente durch hochauflösende Röntgenstrahl-Beugung und durch die Nutzung der Wechselwirkung von Elektronensonden mit den Materialien.
- Analyseverfahren mit mechanischen Sonden (Raster-Tunnel- und die Raster-Kraft-Mikroskopie)
Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch
Die Studierenden sind fähig, den Brückenschlag von grundlegenden Konzepten bei der Herstellung und Charakterisierung von Nanostrukturen zur konkreten Anwendung in der Fabrikation elektronischer und optoelektronischer Nanokomponenten vorzunehmen.

Description / Content English

The lecture should improve the knowledge on the technological procedures to fabricate nano-structured materials and components as well as the accompanying analysis methods with help of actual examples from the electronic device production.

This contains:

- Modern growth technologies for layer deposition in the range of mono-atom-layers like metal-organic vapour phase epitaxy (MOVPE) and molecular beam epitaxy (MBE), with regard to composition, control of the layer thickness and doping.
- Use of self organization mechanisms and template processes.
- Advanced high-resolution lithography procedures for the production of nano-scaled structures (electron beam, X-ray as well as scanning force lithography).
- Micro- and nano-electronic fabrication techniques for electronic and opto-electronic nano-components, e.g. for high frequency applications.
- Lateral and vertical processing of epitaxial films, insulating layers and metallisations up to monolithic integrated nano-electronic circuits.
- Non destructive analysis of nano-structures and devices by high-resolution X-ray diffraction and by the use of the interaction of electron probes with the materials.
- Analysis methods with mechanical probes (scanning tunneling and the scanning force microscope)

Learning objectives / skills English

The students are able to transfer the basic concepts concerning the fabrication and characterization of nano-structures to real applications like the fabrication of electronic and opto-electronic nano-components.

Literatur

- 1 E.H.C.Parker (ed.): The technology and Physics of Molecular Beam Epitaxy, New York, Plenum Press 1985
- 2 G.B.Stringfellow: Organometallic Vapor-phase epitaxy; Academic Press, San Diego, 1989

Modulname laut Prüfungsordnung			
Integrierte Photonik			
Module title English			
Integrated Photonics			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Integrierte Photonik			
Course title English			
Integrated Photonics			
Verantwortung	Lehreinheit		
Stöhr, Andreas	ET		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	SoSe	D	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1	1	
Studienleistung			
Antestat, Versuchsdurchführung Praktikum			
Prüfungsleistung			
Klausur			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch
Die Mikrosystemtechnik ist eine der Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts. Produkte mit mikrosystemtechnischen Komponenten erobern immer mehr Anwendungsbereiche im täglichen Leben und sind in ihren Potentialen hinsichtlich Funktionalität und Wirtschaftlichkeit aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken. Neue Anwendungsfelder werden erschlossen durch Skalierung der Strukturen in den Nanometer-Bereich. Die Vorlesung Mikro- und Nanosystemtechnik erlaubt einen Einblick in dieses spannende interdisziplinäre Gebiet mit seiner Vielfältigkeit und vermittelt dem angehenden Ingenieur das Grundwissen für einen späteren Einstieg in dieses Berufsumfeld.
Folgende Themenbereiche werden von der Vorlesung behandelt:
I. Mikrotechniken:
- Bulkmikromechanik (isotropes und anisotropes nasschemisches Ätzen, Plasma-Tiefenätzen)
- Oberflächenmikromechanik und andere Mikrotechniken (Opferätztechnik, Epi-Polysilizium, SOI, Sticking-Problematik, Vergleich unterschiedlicher Mikro- und Nanostrukturtechniken)
II. Mikrosensoren:
- Thermische Sensoren (Thermistoren, PT-Sensor, integrierte Temperatursensoren, Anemometrie, Luftmassensensor)
- Mechanische Sensoren (piezoresistive und kapazitive Drucksensoren, Beschleunigungssensoren, Drehratensensoren)
- Sensoren für Strahlung (CMOS-Bildsensor, CCD, IR-Sensor, Teilchendetektoren)
- Magnetfeldsensoren (Spinning-current Hallplate, Magnetoresistivität)
- Chemische und Biosensoren (Chemisch sensitive FETs, SAW-Sensoren, DNA-Chip)
- Skalierung von Sensorstrukturen in den Nanometerbereich
III. Mikroaktoren:
- Mikroaktoren (Wirkprinzipien, Mikrospiegel, Mikrostimulatoren)
- Mikrofluidik (Mikroventile, Mikropumpen, implantierbares Medikamentendepot, Lab-on-a-Chip)
IV. Systemtechniken:
- Entwurf, Simulation und Test (Entwurfsmethodik, Simulation, Test- und Prüfverfahren)
- Integrationstechniken (monolithische und hybride Integration, Aufbau-und-Verbindungstechnik und Gehäusetechnik für Mikro- und Nanosysteme)
Inhalt der Übungen: Vertiefende praktische Aufgaben und Beispiele zum Stoff der Vorlesung

Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch

Die Studierenden kennen die Prinzipien und Techniken der Mikro- und Nanosystemtechnik und ihre Einsatzmöglichkeiten/Beschränkungen, sie verstehen einzelne Mikrokomponenten und ihre Wirkprinzipien, sie verstehen die grundlegenden Systemtechniken und die komplexe wechselseitige Beeinflussung der Komponenten, sie haben System-Know-how zur Integration der Einzelteile in Design und Herstellung.

Description / Content English

Micro system engineering is a key technology of the 21th century. Products with microsystem technology seize more and more application areas in daily life and we can't imagine life without them, because of their potential for functionality and economic viability. New application areas are opened up through the scaling of structures in the fields of nanometer. The lecture micro and nano system engineering provides an insight into this exciting interdisciplinary field with its diversity and conveys a basic knowledge to the prospective engineer for the later entry in this occupational field.

Following topics will be handled in this lecture:

I. Micro techniques:

- Bulk micromechanics (isotropic and anisotropic wet chemical etching, plasma-deep etching)
- Surface-micromechanics and other micro techniques(Epi-Polysilizium, SOI, Sticking-Problematik, comparison of different micro and nano structure techniques)

II. Micro sensors:

- Thermic sensors (thermistors, PT-sensors, integrated temperature sensors, anemometer, mass flow sensor)
- Mechanical sensors (piezoresistive and capacitive pressure sensors, accelerometers, angular rate sensors)
- Sensors for radiance (CMOS-imaging-sensor, CCD, IR-sensor, particle detector)
- Magnetic field sensor (spinning-current hallplate, magnetoresistivity)
- Chemical and bio sensors (chemical sensitive FETs, SAW-sensors, DNA-chip)

Scaling of sensor structures in nanometers

III. Mikroaktoren:

- Microaktoren (operating principle, micro mirrors, micro stimulation)
- Microfluidics (Micro vents, Micro pumps, implantable medicine depot, Lab-on-a-Chip)

IV. System techniques:

- Design, simulation and test methods (design methodology, simulation, Test- und test method)
- Integration technology (monolithic and hybride integration, Integrated circuit packaging and packaging technique for micro- und nanosystems)

Content in the exercises:

In-depth practical tasks and examples to the content of the lecture

Learning objectives / skills English

The students know the principles and techniques of micro and nano system engineering and their possible applications / limitations, they understand particular micro components and their active principles, they understand the basic system techniques and the complex mutual impact of components, they have system-know-how for the integration of component parts in design and production.

Literatur

- M. J. Madou: Fundamentals of Microfabrication, CRC Press, ISBN: 0-8493-0826-7
- M. Gad-el-Hak: The MEMS Handbook, CRC Press, ISBN: 0-8493-0077-0
- W. Menz, J. Mohr: Mikrosystemtechnik für Ingenieure, VCH, ISBN: 3-527-29405-8
- U. Mescheder: Mikrosystemtechnik, B.G. Teuner, ISBN: 3-519-06256-9
- G. Gerlach, W. Dötzel: Grundlagen der Mikrosystemtechnik, Hanser, ISBN: 3-446-18395-7

Modulname laut Prüfungsordnung			
Kolloidprozesstechnik			
Module title English			
Colloid Process Technology			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Kolloidprozesstechnik			
Course title English			
Colloid Process Technology			
Verantwortung	Lehreinheit		
Winterer, Markus	MB		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	WiSe	D	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2			1
Studienleistung			
Vortrag			
Prüfungsleistung			
Mündliche Prüfung			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			
Beschreibung / Inhalt Deutsch			

Kolloide sind Systeme, bei denen Teilchen mit charakteristischen Größen von 1nm bis 1µm in einem anderen Stoff - meistens einer Flüssigkeit - feinverteilt (dispergiert) sind. Die Teilchen sind also größer als Moleküle, aber kleiner als makroskopische Körper. Sie besitzen eine sehr große Grenzfläche zu ihrer Umgebung, d.h. dem Dispersionsmittel. Die Veranstaltung führt zunächst in die Kolloidchemie und Kolloidphysik ein, die die Grundlagen für die Kolloidprozesstechnik darstellen. Kolloidprozesstechnik beschäftigt sich mit der Verfahrenstechnik von Kolloiden und ihrer Verarbeitung zu Materialien. Ihre Beherrschung bildet die Voraussetzung für die Herstellung vieler Systeme, in denen Nanopartikel eingesetzt werden, wie z.B. Pasten, Papier, Farben und Lacken, keramischen Festkörpern und spielen bei wichtigen Prozessen zur Herstellung von Nanopartikeln eine wesentliche Rolle.

Themen der Vorlesung sind:

- 01. Einführung
- 02. Grenzflächenthermodynamik
- 03. Oberflächenchemie
- 04. Van der Waals-Wechselwirkung
- 05. Debye-Hückel-Modell
- 06. DLVO Theorie
- 06. Stabilisierung
- 07. Deagglomeration
- 08. Formgebung
- 09. Trocknung kolloidaler Schichten
- 10. Beschichtungsverfahren
- 11. Druckverfahren
- 12. Messmethoden

Im Seminar führen die Studenten unter Anleitung eine wissenschaftliche Literatur-Recherche zum Thema 'Kolloidale Kristalle' durch und tragen zu unterschiedlichen Aspekten dieses Themas vor, z.B.

- Opale und inverse Opale
- Kolloidale Kristalle
- Photonische Kristalle
- Kleinwinkelstreuung

Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch

Lernziel ist das Verständnis der physikalisch-chemischen Grundlagen von Kolloiden (Partikelwechselwirkung und Grenzflächenchemie) und ihre Anwendung in der Prozesstechnik. Die Studierenden sind in der Lage Verfahren zur Funktionalisierung, Dispergierung und Stabilisierung von Nanopartikeln in Fluiden vorzuschlagen und physikalische und chemische Prozesse in Kolloiden quantitativ zu erklären.

Description / Content English

Colloids are systems, in which particles with characteristic sizes of 1 nm up to 1 µm are finely distributed (dispersed) in another material - mostly a liquid. The particles are larger than the molecules but smaller than a macroscopic body. They exhibit a large interfacial area to their environment, i.e. the dispersion medium.

The lecture first introduces fundamental concepts of colloidal chemistry and physics which are the basis for colloidal process technology which is the chemical engineering of colloids and their processing into materials. Mastering colloidal process technology enables us to produce many systems in which nanoparticles are employed such as pastes, paper, paints, varnishes, ceramic bodies and play an important role in the production of nanoparticles itself.

Topics of the lecture are:

- 01. Introduction
- 02. Thermodynamics of Interfaces
- 03. Surface Chemistry
- 04. Van der Waals-Interaction
- 05. Debye-Hückel-Model
- 06. DLVO Theory
- 07. Deagglomeration
- 08. Forming processes
- 09. Drying of colloidal films
- 10. Coating processes
- 11. Printing processes
- 12. Measurement methodology

In the seminar students perform a scientific literature search on the topic 'colloidal crystals' under guidance and give a lecture on different aspects such as

- Opals and inverse opals
- Colloidal crystals
- Photonic crystals
- Small angle scattering

Learning objectives / skills English

The students will understand the physico-chemical fundamentals of colloids (particle interaction and interfacial chemistry) and their application in processing. The students are able to suggest processes for functionalization, dispersion, and stabilization of nanoparticles and can explain physical and chemical processes in colloids quantitatively.

Literatur

Zur Einführung

- G. Brezesinski und H.-J. Mögel, Grenzflächen und Kolloide, Spektrum Akad. Vlg. 1993
- R. J. Hunter, Introduction to Modern Colloid Science, Oxford Science Publisher 1994

Zur Vertiefung

- R. J. Hunter, Foundations of Colloid Science, Oxford University Press, 2000
- D. F. Evans and H. Wennerström, The Colloidal Domain - Where Physics, Chemistry, Biology and Technology meet, Wiley-VCH 1999
- P. C. Hiemenz and R. Rajagopalan, Principles of Colloid and Surface Chemistry, CRC 1997
- C. J. Brinker and G. W. Scherer, Sol-Gel-Science, Academic Press 1990
- H.-D. Dörfler, Grenzflächen und kolloid-disperse Systeme, Springer 2002
- J. Israelachvili, Intermolecular & Surface Forces, Elsevier 2005
- J. H. Fendler (ed.), Nanoparticles and Nanostructured Films, Wiley-VCH 1998
- M. N. Rahaman, Ceramic Processing and Sintering, Marcel Dekker 2003
- J. S. Rheed, Principles of Ceramics Processing, Wiley 1995

Original-Literatur, z.B. aus den Zeitschriften

- Advanced Materials
- Langmuir
- Journal of Colloids and Interfaces
- Journal of the American Ceramic Society

Modulname laut Prüfungsordnung			
Lasermaterialbearbeitung: Makro-, Mikro- und Nanostrukturierung			
Module title English			
Laser material processing: macro-, micro-, and nanostructuring			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Lasermaterialbearbeitung: Makro-, Mikro- und Nanostrukturierung			
Course title English			
Laser material processing: macro-, micro-, and nanostructuring			
Verantwortung	Lehreinheit		
Barcikowski, Stephan	Chemie		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	SoSe	D	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2		1	1
Studienleistung			
Antestat, Versuchsdurchführung Praktikum			
Prüfungsleistung			
Klausur oder Mündliche Prüfung			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch
An typischen Beispielen wird eine Einführung in Laseranwendungen zur Materialbearbeitung in Ingenieurs- und Naturwissenschaften in der Serienfertigung gegeben. Die Strahl-Stoff-Wechselwirkung wird diskutiert. Verschiedene Strahlquellen und Betriebsarten des Lasers zur Lasermaterialbearbeitung werden vorgestellt. Im Anschluss wird die Makro-, Mikro und Nanostrukturierung mit Lasern an verschiedenen Beispielen eingehend dargestellt: Schneiden, Schweißen, Bohren und Markieren, Laserauftragsschweißen und -sintern, Oberflächenstrukturierung und Nanostrukturierung, Lasergenerierung von Nanopartikeln, Funktionale Nanopartikel und -materialien. Zum Abschluss werden ökonomisch-technische Aspekte behandelt sowie die Charakterisierung und Qualitätssicherung in der Laserfertigung besprochen. Im Vortragskolloquium erarbeiten die Studierenden aus einem Themenpool in Zweier-Teams einen ca. 10 min. Vortrag zu einer aktuellen Fragestellung der Lasermaterialbearbeitung. Die Vorträge werden in einer gemeinsamen Übung (Studierende + Lehrende) präsentiert und diskutiert. Im Methodenkurs werden den Studierenden verschiedene Methoden der Lasermaterialbearbeitung anhand aktueller Forschungsthemen vorgestellt und in praktischen Versuchen in den Laboren der Lehrenden erarbeitet.
Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch
<ul style="list-style-type: none"> - Weiterführende Kenntnisse der Lasertechnik, Lasertypen und deren Nutzung in der Industrie - Detailwissen zur Laserstrahlcharakterisierung und relevanten Kennzahlen - Überblick über die Methoden der Lasermaterialbearbeitung mit entsprechendem Detailwissen in den Bereichen Laserschneiden, -bohren, schweißen, gravieren sowie additive Fertigung und Nanopartikelsynthese - Methodische Fertigkeiten und Verständnis der Einsatzfelder verschiedener Lasertypen in der Lasermaterialbearbeitungsfeldern und deren ökonomische Bedeutung

Description / Content English

Typical examples are used to provide an introduction to laser applications for materials processing in engineering and natural sciences in series production. Beam-substance interaction is discussed. Various beam sources and modes of laser operation for laser materials processing will be presented. Subsequently, macro-, micro- and nano-structuring with lasers is presented in detail with various examples: Cutting, welding, drilling and marking, laser cladding and sintering, surface structuring and nanostructuring, laser generation of nanoparticles, functional nanoparticles and materials. Finally, economic-technical aspects will be covered and characterization and quality assurance in laser manufacturing will be discussed.

In the lecture colloquium, students work in teams of two to prepare an approx. 10 min. lecture on a current issue in laser materials processing from a pool of topics. The lectures are presented and discussed in a joint exercise (students + lecturers).

In the methods course, students are introduced to various methods of laser material processing based on current research topics and work on them in practical experiments in the lecturers' laboratories.

Learning objectives / skills English

- Advanced knowledge of laser technology, laser types and their use in industry
- Detailed knowledge of laser beam characterization and relevant key figures
- Overview of laser material processing methods with corresponding detailed knowledge in the fields of laser cutting, drilling, welding, engraving as well as additive manufacturing and nanoparticle synthesis
- Methodical skills and understanding of the fields of application of different laser types in laser material processing fields and their economic importance

Literatur

Eichler, H. J., & Eichler, J. (2015). Laser: Bauformen, Strahlführung, Anwendungen. Springer-Verlag.

Poprawe, R. (2005). Lasertechnik für die Fertigung. Springer Berlin Heidelberg.

Steen, W. M., & Mazumder, J. (2010). Laser material processing. Springer science & business media.

Modulname laut Prüfungsordnung			
Laseroptische Messverfahren für reaktive Strömungsprozesse			
Module title English			
Laser-Based Optical Measurement Methods for Reactive Flows			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Laseroptische Messverfahren für reaktive Strömungsprozesse			
Course title English			
Laser-Based Optical Measurement Methods for Reactive Flows			
Verantwortung	Lehreinheit		
Schulz, Christof; Endres, Torsten	MB		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	SoSe	D/E	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1	1	
Studienleistung			
Antestat, Versuchsdurchführung Praktikum			
Prüfungsleistung			
Mündliche Prüfung			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch
Die Vorlesung vermittelt zunächst einige Grundlagen der geometrischen Optik, der mikroskopischen Beschreibung von Atomen und Molekülen, sowie deren Absorptions- und Emissionsspektren. Dazu werden auch grundlegende Betrachtungen zur Quantenmechanik der Atome und Moleküle vermittelt, wie sie für ein Verständnis der später diskutierten optischen Messmethoden notwendig sind. Weiterhin werden der Aufbau und die Funktionsweise von Lasern und optischen Detektoren behandelt. Anschließend vermittelt die Vorlesung einen Einblick in verschiedene, vorwiegend Laser-basierte Methoden zur berührungslosen optischen Diagnostik der Gas- oder Partikelphase in reaktiven Systemen und (in geringerem Umfang) Flüssigkeiten. Schwerpunkte sind die Diskussion anwendungsnaher Beispiele für die in-situ-Messung von Temperatur, Spezies-spezifischer Stoffkonzentrationen, Partikeleigenschaften und Strömungsgeschwindigkeiten in reaktiven strömenden Medien. Hierbei wird die Signalerzeugung durch Streuprozesse (Rayleigh, Raman), Absorption, Laser-induzierte Fluoreszenz, Laser-induzierte Inkandeszenz und nichtlinearer optischer Verfahren vorgestellt. Beispiele aus praktischen Anwendungsfeldern der Laserdiagnosistik in Verbrennungsprozessen werden gegeben.
Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch
Die Vorlesung „Laseroptische Messverfahren in reaktiven Systemen“ versucht auf dem Stoff der Vorlesung „Quantitative bildgebende Messtechniken in Strömungen“ von Prof. Sebastian Kaiser aufzubauen. Der dort behandelte Stoff wird in Auszügen kurz wiederholt; es ist also nicht zwingend notwendig diese Vorlesung vorher gehört zu haben; sie bietet allerdings ein vertieftes Verständnis einiger Grundlagen der hier angebotenen Vorlesung. Die Studierenden bekommen grundlegende Kenntnisse zur geometrischen und Wellenoptik vermittelt. Sie verstehen die Grundlagen (weitgehend basierend auf spektroskopischen Betrachtungen) und Anwendungen moderner laseroptischer Messverfahren für die Orts- und Zeitaufgelöste berührungslose Messung in reaktiven Strömungsprozessen. Sie verstehen die komplexen Zusammenhänge, die zur Auswahl von geeigneten Lichtquellen, Strahlanordnungen und Detektionskonzepten erforderlich sind.
Description / Content English

The lecture initially presents some basics on geometric optics and the microscopic treatment of atoms and molecules and their interaction with light, i.e., absorption and emission spectra. The latter means that – on a basic level of understanding – some fundamentals of quantum mechanics will be treated, that will lead to a better understanding of the laser diagnostic methods treated in later sections of the course. Furthermore, some basic knowledge on the physics and operation of various laser systems and detectors will be presented. Starting from there, the lecture provides an overview on various, mainly laser-based diagnostic methods for perturbation-free optical diagnostics in reactive systems aimed at the measurement of temperature, concentration and particle properties in the gas and (to a much smaller extend) liquid phase. The emphasis is on practical examples for the in-situ measurement of temperature, species (and particle) concentration, particle size and flow velocity in reactive flows. The lecture discusses the relevant signal generation processes in Rayleigh, Raman, Absorption, Laser-induced Fluorescence, Laser-induced Incandescence, and nonlinear optical diagnostics. Examples in practical applications of laser diagnostics in mixing and combustion processes are discussed.

Learning objectives / skills English

The lecture „Laseroptische Messverfahren in reaktiven Systemen“ in some parts relies on the contents of the lecture „Quantitative bildgebende Messtechniken in Strömungen“, held by Prof. Sebastian Kaiser. Relevant parts of this lecture are recapitulated here. Therefore, it is not particularly relevant if this other lecture has not been attended; however, it may a somewhat deeper understanding of some technical details presented here.
Students will obtain some basic knowledge in geometric and wave optics. They will also understand the basics spectroscopic background and applications of modern laser-spectroscopic diagnostics for the spatially and temporally resolved, perturbation-free measurement in reactive flow processes. They also will learn about the variety of light sources, detectors and beam configurations necessary for performing for setting up suitable diagnostic experiments.

Literatur

Von der Thematik der Vorlesung bzw. des gewählten Vortrages abhängig. / Depending on lecture topics and the chosen seminar talk.

Modulname laut Prüfungsordnung			
Lasertechnik			
Module title English			
Lasers			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Lasertechnik			
Course title English			
Lasers			
Verantwortung	Lehreinheit		
Stöhr, Andreas	ET		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	WiSe	D	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1	1	
Studienleistung			
Antestat, Versuchsdurchführung Praktikum			
Prüfungsleistung			
Klausur			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch
Der erste Teil umfasst die Grundprinzipien und mathematische Beschreibung der elektromagnetischen Wellenausbreitung. Die Lehrveranstaltung fährt fort mit quantenmechanische Beschreibung von Wechselwirkungen zwischen elektromagnetischen Wellen und atomaren Systemen. Anschließend wird das Prinzip des Lasers und die wesentlichen Voraussetzungen für optische Strahlungsverstärkung durch stimuliertes Emission und optische Rückkopplung mittels Resonatoren diskutiert. Weiterhin werden Zwei- und Mehrniveau-Systeme im Hinblick auf Anwendbarkeit in Lasern besprochen. Besondere Aufmerksamkeit wird den Grundkonzepten, der Funktionalität und den charakteristischen Eigenschaften unterschiedlichen Laser gewidmet. Betrachtet werden u.a. der Helium-Neon Laser, der Ar-Ionenlaser, der Excimer Laser, der Ti:Saphir Laser und Halbleiter-Laserdioden. Nach einer Diskussion wichtiger Laser-Komponenten z.B. zur Wellenlängenselektion in Multimodalen Lasern, folgen Beispiele von Laser-Anwendungen in verschiedenen technischen Gebieten darunter die Interferometrie, Spektroskopie, Kommunikationstechnik, Sensorik und Materialbearbeitung. Zukünftige Trends werden abschließend diskutiert.
Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch
Die Studierenden sind in der Lage, die prinzipielle Funktionsweise von Lasern grundlegend und umfassend zu beschreiben sowie die verschiedenen Lasertypen und Bauformen zu unterscheiden und spezifischen Einsatzgebieten zuzuordnen.

Description / Content English
The first lectures within the course Lasers cover the basic principles and mathematical description of electromagnetic wave propagation. The course proceeds with describing quantum mechanical interactions between electromagnetic waves and atomic materials resulting in the two fundamental laser requirements, light amplification by stimulated emission of radiation and optical cavities. Special attention is then given to thoroughly explain the basic concepts, functionalities, and characteristic specifications of different laser types. This discussion includes the Helium-Neon laser, the Ar-ion laser, Excimer lasers, Ti:Sapphire laser, and semiconductor laser diodes. Finally, examples of exploiting laser in various application areas such as interferometry, spectroscopy, communications, sensors, and material processing are discussed together with future trends.

Learning objectives / skills English

The students are able to thoroughly describe the principle function of a laser, to distinguish between the different laser types and designs, and to assign different laser types to specific applications.

Literatur

- [1] Fritz Kurt Kneubühl und Markus Werner Sigrist, „Laser“, Springer Fachmedien, Vieweg + Teubner Verlag
- [2] Helmbrecht Bauer, „Lasertechnik“, VOGEL Fachbuch, Kamprath-Reihe
- [3] Wolfgang Bludau, „Halbleiter-Optoelektronik“, Hanser-Verlag
- [4] Jürgen Eichler und Hans Joachim Eichler, „Laser:Bauformen, Strahlführung, Anwendungen“, Springer Verlag
- [5] Marc Eichhorn, „Laserphysik“, Springer Verlag
- [6] Anthony E. Siegman, „Lasers“, University Science Books
- [7] Numai Takahiro, „Fundamentals of Semiconductor Laser“, Springer Series Optical Sciences, vol. 93

Modulname laut Prüfungsordnung			
Magnetische Materialien für die Energiewende: Grundlagen und Anwendungen			
Module title English			
Magnetic Materials for the Energy Transition: Fundamentals and Applications			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Magnetische Materialien für die Energiewende: Grundlagen und Anwendungen			
Course title English			
Magnetic Materials for the Energy Transition: Fundamentals and Applications			
Verantwortung	Lehreinheit		
Farle, Michael	Physik		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
3	W/S	D	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2			
Studienleistung			
Prüfungsleistung			
Mündliche Prüfung			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			
Beschreibung / Inhalt Deutsch			
Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch			
Description / Content English			
Learning objectives / skills English			
Literatur			

Modulname laut Prüfungsordnung			
Master-Arbeit (einschließlich Kolloquium)			
Module title English			
Master-Thesis (including colloquium)			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Master-Arbeit (einschließlich Kolloquium)			
Course title English			
Master-Thesis (including colloquium)			
Verantwortung	Lehreinheit		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
30	W/S	D/E	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
Studienleistung			
Prüfungsleistung			
Masterarbeit			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch
Die Master-Arbeit ist eine Prüfungsarbeit, in der die oder der Studierende zum Abschluss des Studiums zeigen soll, dass er innerhalb einer vorgegebenen Frist von 6 Monaten ein Problem selbstständig unter Anleitung nach wissenschaftlichen Methoden bearbeiten kann. Die Arbeit soll wie ein Projekt in der Praxis unter Beachtung von Methoden des Projektmanagements betreut und durchgeführt werden. Dokumentation und Präsentation (Kolloquium, deutsch oder englisch) sollen zeigen, dass die oder der Studierende in der Lage ist, Zusammenhänge und Ergebnisse verständlich und präzise darzustellen.
Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch

Description / Content English
The master-thesis is an examination paper, in which the student should show that he can solve a problem self-contained under guidance by using scientific methods, within 6 months at the end of his studies. This thesis is supervised and conducted like a project in practice considering methods of project management. Documentation and presentation (colloquium, German or English) should show that the student is able to illustrate relations and results in a coherent and precise way.
Learning objectives / skills English

The master-thesis represents an examination. Besides the professional engrossing by using an example the acquisition of soft skills are also gained:

- self-learning ability
- capacity of teamwork (working together with the supervisor)
- application of methods of project management
- communications skills: technical documentation and presentation,
- in case of an English presentation also practice of language skills

Literatur

Spezifisch für das gewählte Thema

Modulname laut Prüfungsordnung			
Masterprojekt (M-NE)			
Module title English			
Master Project (M-NE)			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Masterprojekt (M-NE)			
Course title English			
Master Project (M-NE)			
Verantwortung	Lehreinheit		
Mertin, Wolfgang	ET		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
9	WiSe	D	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
		5	
Studienleistung			
Prüfungsleistung			
Dokumentation und Präsentation			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch
Beim Masterprojekt erhält eine Gruppe von Studierenden eine definierte fachliche Aufgabe aus dem Bereich der Technologie, der Messtechnik oder der Simulation mit Bezug zur Nanotechnologie. Die Lösung dieser Aufgabe erfolgt im Team und ist wie ein technisches Projekt abzuwickeln, einschließlich Spezifikation, Konzeption, Schnittstellenabsprachen, Terminplanung, Literaturrecherche, Dokumentation und Präsentation der Ergebnisse (wahlweise in englischer Sprache). Es erfolgt eine Benotung der individuellen Leistungen der Teilnehmerinnen und Teilnehmer. Die Präsentation findet im Rahmen eines Kolloquiums statt.
Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch
Nach erfolgreichem Masterprojekt sind die Studierenden in der Lage, fachliche Aufgaben zu lösen. Sie haben den Umgang mit Messtechniken und/oder Simulationswerkzeugen gelernt.

Description / Content English
In a Master Project, a group of students is given a defined technical task from the field of Technology, measurement technology, or simulation related to nanotechnology. The solution of this task is carried out in a team and is to be handled like a technical project, including specification, conception, interface agreements, scheduling, literature research, documentation and presentation of the results (optionally in English). The individual performance of the participants will be graded. The presentation takes place in the context of a colloquium.
Learning objectives / skills English
After successful completion of the Master Project, students are able to solve technical tasks. They have learned how to use measurement techniques and/or simulation tools.

Literatur
Entsprechend der Aufgabenstellung.

Modulname laut Prüfungsordnung			
Materialwissenschaften Polymere			
Module title English			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Materialwissenschaften Polymere			
Course title English			
Verantwortung	Lehreinheit		
Ulbricht, Mathias	Chemie		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	WiSe	D	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		
Studienleistung			
Prüfungsleistung			
Klausur			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch
- Zustände, Struktur und Morphologie fester Körper
- Oberflächen und Grenzflächen
- Materialeigenschaften (mechanische Eigenschaften, elektrische Eigenschaften, Wärmeleitfähigkeit, magnetische Eigenschaften, optische Eigenschaften, thermische Ausdehnung, Korrosion)
- Verfahren zur Materialprüfung
- Herstellungs- und Verarbeitungsverfahren
- Exemplarische technische Werkstoffe (Beziehungen zwischen Struktur, Herstellung/Verarbeitung und Funktion) mit Schwerpunkt Polymere
Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch
Die Studierenden erwerben aufbauend auf ihrem Wissen zur Chemie systematische Kenntnisse zu Struktur- / Funktionsbeziehungen bei festen Materialien (Metalle, Keramiken, Polymere, Verbundwerkstoffe).

Description / Content English
Learning objectives / skills English

Literatur
W. Schatt, H. Worch, Werkstoffwissenschaft, 9. Aufl., Wiley-VCH, 2003
H.G. Elias, Makromoleküle – Bände 1- 4, 6. Aufl., Wiley-VCH, 1999ff.

Modulname laut Prüfungsordnung			
Mathematik E4			
Module title English			
Mathematics E4			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Mathematik E4			
Course title English			
Mathematics E4			
Verantwortung	Lehreinheit		
Christof, Constantin	Mathe		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	WiSe	D	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		
Studienleistung			
Prüfungsleistung			
Klausur			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch
Folgende Themen werden behandelt: Vektoranalysis - Potentialfunktionen und Kurvenintegrale - Integration in mehreren Veränderlichen - parametrisierte Flächen - Flächenintegrale - Flussintegrale - Der Satz von Green - Der Satz von Stokes - Der Satz von Gauß Partielle Differentialgleichungen - Einführung - Die Greenschen Formeln - Poissonsche Integralformeln für die Kreisscheibe und die Kugel - Distributionen (Grundlagen)
Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch
Die Studierenden sind in der Lage, Potentialfunktionen von konservativen Vektorfeldern zu berechnen. Sie können die wichtigsten Flächen parametrisieren. Sie sind in der Lage, Flächen- und Flussintegrale zu berechnen und dazu die Integralsätze zu verwenden. Sie wissen was ein Randwertproblem ist und können dies für einfache Gebiete lösen.
Description / Content English

The course deals with the following subjects:

Vector analysis

- Potential functions and line integrals

- Integration in several variables

- Parameterized surfaces

- Surface integrals

- Flow integrals

- Green's theorem

- Stoke's theorem

- Gauss's theorem

Partial differential equations

- Introduction

- Green's identities

- Poisson's integration equations over a circular disk and a sphere

- fundamentals of Distributions

Learning objectives / skills English

The students are able to compute potential functions of conservative vector fields. They know how to parametrize important surfaces. They are also able to calculate surface- and flow integrals and in so doing apply integral theorems. They know what a boundary value problem is and are capable of solving such problems for simple cases.

Literatur

Burg, Haf, Wille: Mathematik für Ingenieure, I-IV, 2002;

Marsden, Tromba: Vectoranalysis, 1996;

Kevorkian: Partial Differential Equations, 2000;

Renardy/Rogers: A first graduate course in Partial Differential Equations, 2004;

Evans: Partial Differential Equations, 2010.

Modulname laut Prüfungsordnung			
Membrane Technologies			
Module title English			
Membrane Technologies			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Membrane Technologies			
Course title English			
Membrane Technologies			
Verantwortung	Lehreinheit		
Ulbricht, Mathias	Chemie		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	WiSe	D	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		
Studienleistung			
Prüfungsleistung			
Klausur			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			
Beschreibung / Inhalt Deutsch			

1. Einleitung

Ziele: Verstehen der Bedeutung und Anwendungen von Membrantechnologie in der Wasseraufbereitung. Grundlegendes Verständnis der unterschiedlichen Arten von Membranen und ihrer Einsatzmöglichkeiten.

Inhalt: Historischer Hintergrund der Membrantechnologie. Übersicht über die Membrantechnologie in der Wasseraufbereitung. Bedeutung und Vorteile der Verwendung von Membranen.

2. Grundprinzipien des Stoffaustauschs

Ziele: Grundkenntnisse der Massenübertragungsprinzipien und deren Relevanz für Membransysteme. Vertiefung des Verständnisses der Mechanismen und Faktoren der Massenübertragung. Verstehen der Faktoren, die die Massenübertragung beeinflussen. Verstehen komplexer Phänomene wie Diffusion und Konvektion in Membranprozessen.

Inhalt: Einführung in die Massenübertragung: treibende Kräfte und Widerstände. Diffusion durch Membranen, konvektive und gekoppelte Transportmechanismen. Modelle und Anwendungen

3. Herstellung der Membrane

Ziele: Kenntnisse über die verschiedenen Methoden der Membranherstellung. Fähigkeit, die geeignete Membran für spezifische Anwendungen auszuwählen.

Inhalt: Materialien für Membranen. Phaseninversionsmethode, Sintern, Track-Etching. Einfluss der Herstellungsparameter auf Membraneigenschaften.

4 Charakterisierung von Membranen

Ziele: Fähigkeit, verschiedene Charakterisierungstechniken für Membranen zu verstehen und anzuwenden. Fähigkeit, die Performance einer Membran basierend auf Charakterisierungsdaten zu bewerten.

Inhalt: Porengrößenbestimmung, Kontaktwinkel, Oberflächenrauhigkeit. Permeabilitätstests, Retentionsstudien.

Fortgeschrittene Techniken: Elektronenmikroskopie, FTIR, XPS.

5. Membranmodule

Ziele: Verstehen der verschiedenen Arten von Membranmodulen und ihrer spezifischen Anwendungen. Kenntnisse über den Aufbau und die Funktion verschiedener Modultypen.

Inhalt: Flachmembranmodule, Spiralgewickelte Module, Hohlfasermodule. Design- und Betriebsüberlegungen für Membranmodule. Probleme und Herausforderungen bei der Modulintegration.

6. Betriebsmodi

Ziele: Verstehen der verschiedenen Betriebsmodi von Membransystemen. Kenntnisse über die Vorteile und Einschränkungen jedes Betriebsmodus.

Inhalt: Dead-end vs. Crossflow-Filtration. Batch vs. kontinuierlicher Betrieb.

7. Fouling und Scaling

Ziele: Erkennen der Mechanismen und Auswirkungen von Fouling und Scaling auf Membranen. Fähigkeit, Strategien zur Minimierung von Fouling und Scaling zu entwickeln.

Inhalt: Arten von Fouling: organisch, anorganisch, biologisch, kolloidal. Strategien zur Kontrolle und Vorbeugung. Auswirkungen von Scaling auf Membranleistung und Lebensdauer.

8. Vorbehandlung

Ziele: Verstehen der Notwendigkeit und Methoden der Vorbehandlung. Fähigkeit, geeignete Vorbehandlungsstrategien basierend auf Wassereigenschaften und Membranart zu wählen.

Inhalt: Rolle der Vorbehandlung in Membransystemen. Verschiedene Vorbehandlungsmethoden: Sedimentation, Flockung, Mikro- und Ultrafiltration.

9. Reinigung

Ziele: Verstehen der Wichtigkeit und Methoden der Membranreinigung. Fähigkeit, Reinigungsprotokolle basierend auf Membrantyp und Fouling-Art zu entwickeln.

Inhalt: Mechanismen der Verschmutzung und ihre Entfernung. Chemische und physikalische Reinigungsmethoden.

10. System Design & Übung System Design

Ziele: Fähigkeit, Membransysteme basierend auf gegebenen Wassereigenschaften und gewünschten

Ausgabespezifikationen zu entwerfen. Anwenden von erworbenem Wissen in praktischen Designübungen.

Inhalt: Grundlagen des Membransystemdesigns. Praktische Übungen zur Systemauslegung unter Berücksichtigung realer Betriebsbedingungen.

Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch

Im Kurs „Membrane Technology for Water Treatment“ erlangen die Studierenden ein fundiertes Verständnis für die Vielfalt und den Einsatz von Membrantechnologien in der Wasseraufbereitung. Sie starten mit einem Einblick in den historischen Hintergrund und die transformative Rolle der Membrantechnologie im modernen Wassermanagement. Durch die Einführung in die Grundprinzipien des Stoffaustauschs erlangen sie tiefgreifende Kenntnisse über die Mechanismen der Massenübertragung, einschließlich Diffusion und Konvektion, und wie diese Prozesse die Membranfunktion beeinflussen. Eine weitere Kernkompetenz, die die Studierenden erwerben, ist das Wissen um die verschiedenen Techniken und Materialien, die in der Herstellung von Membranen verwendet werden. Sie werden befähigt, die Auswirkungen spezifischer Herstellungsverfahren auf die Membraneigenschaften zu erkennen und so die optimalen Membrantypen für bestimmte Anwendungen auszuwählen. Mit dem Segment über Membrancharakterisierung werden sie in die Lage versetzt, fortschrittliche Charakterisierungstechniken anzuwenden und die Leistungsfähigkeit von Membranen objektiv zu bewerten. Das Modul zur Modulintegration vermittelt ein umfassendes Verständnis für den Aufbau und die Funktionalität verschiedener Membranmodule und ihrer Anwendungsbereiche. Sie lernen auch die unterschiedlichen Betriebsmodi von Membransystemen kennen und verstehen deren spezifische Vorteile und Limitierungen. Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf den Herausforderungen von Fouling und Scaling. Die Studierenden entwickeln Strategien zur Kontrolle, Vorbeugung und effektiven Behandlung dieser Probleme, um die Langlebigkeit und Effizienz von Membransystemen sicherzustellen. Darüber hinaus gewinnen sie durch die Abschnitte über Vorbehandlung und Reinigung das nötige Rüstzeug, um die Qualität des zu behandelnden Wassers zu bewerten und entsprechende Vorbehandlungs- und Reinigungsprotokolle zu entwickeln. Schließlich wird durch die Segmente zum Systemdesign das erlernte Wissen zusammengeführt, indem sie die Konzeption und Auslegung von Membransystemen für reale Anwendungen und unter realen Betriebsbedingungen durchführen. Am Ende des Kurses werden die Studierenden nicht nur theoretisch versiert sein, sondern auch praktische Fähigkeiten besitzen, die sie direkt in der Wasserbehandlungsbranche anwenden können.

Description / Content English

1. Introduction

Objectives: To understand the importance and applications of membrane technology in water treatment. Basic understanding of the different types of membranes and their applications.

Content: Historical background of membrane technology. Overview of membrane technology in water treatment.

Significance and advantages of using membranes. 2.

2. Basic principles of mass transfer.

Objectives: Basic knowledge of mass transfer principles and their relevance to membrane systems. Deepen the understanding of the mechanisms and factors of mass transfer. Understand the factors that influence mass transfer.

Understand complex phenomena such as diffusion and convection in membrane processes.

Content: Introduction to mass transfer: driving forces and resistances. Diffusion through membranes, convective and coupled transport mechanisms. Models and applications

3. Fabrication of membranes.

Objectives: Knowledge of the different methods of membrane fabrication. Ability to select the appropriate membrane for specific applications.

Content: Materials for membranes. Phase inversion method, sintering, track-etching. Influence of manufacturing parameters on membrane properties.

4 Characterisation of membranes.

Objectives: Ability to understand and apply different characterisation techniques for membranes. Ability to evaluate the performance of a membrane based on characterisation data.

Content: Pore sizing, contact angle, surface roughness. Permeability tests, retention studies. Advanced techniques: electron microscopy, FTIR, XPS.

5. Membrane modules

Objectives: Understand the different types of membrane modules and their specific applications. Knowledge of the structure and function of different types of modules.

Content: Flat membrane modules, spiral wound modules, hollow fibre modules. Design and operational considerations for membrane modules. Problems and challenges in module integration.

6. Operating modes.

Objectives: Understand the different operating modes of membrane systems. Knowledge of the advantages and limitations of each operating mode.

Content: Dead-end vs. crossflow filtration. Batch vs. continuous operation.

7. Fouling and scaling

Objectives: Recognise the mechanisms and effects of fouling and scaling on membranes. Ability to develop strategies to minimise fouling and scaling.

Content: Types of fouling: organic, inorganic, biological, colloidal. Strategies for control and prevention. Effects of scaling on membrane performance and lifetime. 8.

8. Pre-treatment

Objectives: Understand the need for and methods of pre-treatment. Ability to select appropriate pretreatment strategies based on water properties and membrane type.

Content: Role of pretreatment in membrane systems. Different pretreatment methods: sedimentation, flocculation, microfiltration and ultrafiltration.

9. Cleaning

Objectives: Understand the importance and methods of membrane cleaning. Ability to develop cleaning protocols based on membrane type and fouling type.

Content: Mechanisms of fouling and its removal. Chemical and physical cleaning methods.

10. System design & exercise system design.

Objectives: Ability to design membrane systems based on given water properties and desired output specifications. Apply acquired knowledge in practical design exercises.

Content: Fundamentals of membrane system design. Practical system design exercises considering real operating conditions.

Learning objectives / skills English

In the course „Membrane Technology for Water Treatment“, students gain a sound understanding of the diversity and application of membrane technologies in water treatment. They start with an insight into the historical background and transformative role of membrane technology in modern water management. Through an introduction to the basic principles of mass transfer, they gain in-depth knowledge of the mechanisms of mass transfer, including diffusion and convection, and how these processes affect membrane function.

Another core competence that students acquire is knowledge of the different techniques and materials used in the manufacture of membranes. They will be able to recognise the effects of specific manufacturing processes on membrane properties and thus select the optimal membrane types for specific applications. The membrane characterisation segment will enable them to apply advanced characterisation techniques and objectively evaluate membrane performance.

The module on module integration provides a comprehensive understanding of the structure and functionality of different membrane modules and their application areas. You will also learn about the different operating modes of membrane systems and understand their specific advantages and limitations. Special emphasis is placed on the challenges of fouling and scaling. Students develop strategies to control, prevent and effectively address these problems to ensure the longevity and efficiency of membrane systems.

In addition, through the sections on pretreatment and cleaning, they gain the tools necessary to assess the quality of the water being treated and develop appropriate pretreatment and cleaning protocols. Finally, through the segments on system design, they will bring together the knowledge they have learned by performing the conceptualisation and design of membrane systems for real applications and under real operating conditions. By the end of the course, students will not only be theoretically versed, but will also have practical skills that they can apply directly in the water treatment industry.

Literatur

- Membranverfahren - Grundlagen der Modul- und Anlagenauslegung; Autor: Thomas Melin; Verlag: Springer-Verlag; Jahr: 2007; ISBN: 3-540-00071-2
- Grundlagen der Membrantechnik; Autor: Klaus-Viktor Peinemann, Suzana Nunes und Lidietta Giorno; Verlag: Wiley-VCH; Jahr: 2017; ISBN: 978-3527338392
- Membranen: Grundlagen, Verfahren und industrielle Anwendungen. Ohlrogge, K., & Ebert, K. (Eds.). (2012). John Wiley & Sons. Wiley-VCH (Verlag), 978-3-527-66094-0 (ISBN)
- Membrane Technology and Applications; Autor: Richard W. Baker; Verlag: John Wiley & Sons Ltd.; Jahr: 2012; ISBN: 978-0470743720
- Principles of Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment; Autor: Chong T.; Verlag: CRC Press; Jahr: 2016; ISBN: 978-1482229156
- Membrane Separations Technology: Principles and Applications; Autor: Richard D. Noble und Patricia A. Koval; Verlag: Elsevier; Jahr: 1995; ISBN: 978-0444821861
- Introduction to Membrane Science and Technology; Autor: Heinrich Strathmann; Verlag: Wiley-VCH; Jahr: 2011; ISBN: 978-3527324516
- Basic Principles of Membrane Technology; Autor: Marcel Mulder; Verlag: Kluwer Academic Publisher; Jahr: 1996; ISBN: 978-0792342471
- Synthetic Membranes and Membrane Separation Processes; Autor: Takeshi Matsuura; Verlag: CRC Press; Jahr: 1993; ISBN: 978-0849344819
- Handbook of Industrial Membrane Technology; Autor: Mark C. Porter; Verlag: Noyes Publications; Jahr: 1990; ISBN: 978-0815512372

Modulname laut Prüfungsordnung			
Messtechnik nanodisperser Systeme			
Module title English			
Measurement Technology of Nanodisperse Systems			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Messtechnik nanodisperser Systeme			
Course title English			
Measurement Technology of Nanodisperse Systems			
Verantwortung	Lehreinheit		
Kruis, Einar	ET		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	SoSe	D	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
1			2
Studienleistung			
Prüfungsleistung			
Präsentation			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch
Die wichtigsten Methoden zur Bestimmung der Nanodispersität werden in dieser Veranstaltung behandelt. Die Veranstaltung besteht aus einer einführenden Vorlesungsreihe und einem nachfolgenden Seminar, in dem jeder Teilnehmer eine Messtechnik zur Bestimmung der Nanodispersität aus einer Liste auswählt wird oder selber vorschlägt. Die Teilnehmer bereiten eine individuelle Präsentation über das gewählte Thema vor, und zeigen im gemeinschaftlichen wöchentlichen Seminartermin ihren Fortschritt bei der Vorbereitung dieses Vortrages.
Inhalt der Vorlesung:
1) Einführung in Partikelgröße und Form, Äquivalenzdurchmesser.
2) Größenverteilungsfunktion (differenziell und integral, Normal und Lognormalverteilung), Art der Größebestimmung (Off-, in-, on-line, in-, ex-situ).
3) Probenahme: sampling bias und Probenahmetechniken.
4) Messtechniken:
a) Partikel auf Oberflächen,
b) Nanopulver,
c) Dispersionen,
d) Nanoaerosole,
e) Partikel im Vakuum.
Die Präsentation soll beinhalten: Messprinzip, Welche (größenrelatierte) Eigenschaft wird erfasst?, Hintergrund/Geschichte/Patentlage, Theorie, Eigenschaften der Messtechnik, Anwendungsbeispiele und Marktüberblick
Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch

Die Studierenden sind in der Lage, die physikalischen Grundprinzipien und die Funktionsweise der Schlüsseltechniken zur Bestimmung von Nanodispersität zu erklären. Die Studierenden können technische Literaturrecherchen durchführen und eine Präsentation zu einem ausgewählten Thema vorbereiten. Die Studierenden lernen systematisch, eine Aufgabe bzw. eine Fragestellung aus dem Bereich der Nanotechnologie zu erarbeiten, Ziele zu definieren und diese unter fachlicher Anleitung zu verfolgen. Neben der technischen Schulung im Bereich der Nano-Messtechnik werden den Studierenden auch sehr wichtige „Soft Skills“ vermittelt, wie technische Recherche, Präsentation und Literaturrecherche, die für spätere Anstellungen oder die weitere Qualifikation zum wissenschaftlichen Masterabschluss erforderlich sind.

Nachdem die weitere Veranstaltung durchgeführt wurde, sind die Studierenden für die messtechnischen Anforderungen an die Nanoobjekt-Messtechnik sensibilisiert. Sie sind in der Lage, die grundlegenden Prinzipien der Nano-Messtechnik aus wissenschaftlicher Literatur eigenständig zu erwerben und sie verständlich für ihre Kommilitonen zu erklären. Sie können die wesentlichen Möglichkeiten und Grenzen der Nano-Messtechnik sowie die spezifischen Möglichkeiten eines vorhandenen Messgeräts und deren technische Rahmenbedingungen eigenständig erläutern und einordnen.

Description / Content English

The most important methods for determining nanodispersity are covered in this course. The course consists of an introductory lecture series followed by a seminar in which each participant selects a measurement technique for determining nanodispersity from a provided list or proposes their own. Participants prepare an individual presentation on their chosen topic and demonstrate their progress in the preparation of this presentation during the weekly collaborative seminar session.

Lecture Content:

- 1) Introduction to particle size and shape, equivalent diameter.
- 2) Size distribution function (differential and integral, normal and log-normal distribution), types of size determination (offline, online, in situ, ex situ).
- 3) Sampling: sampling bias and sampling techniques.
- 4) Measurement techniques for
 - a) particles on surfaces,
 - b) nanopowders,
 - c) dispersions,
 - d) nanoaerosols,
 - e) particles in a vacuum.

The presentation should include: Measurement principle, What (size-related) property is measured?, Background/history/patent status, Theory, Properties of the measurement technique, Application examples, and Market overview.

Learning objectives / skills English

Students are capable of explaining the physical principles and the operation of the key techniques for determining nanodispersity. Students are able to conduct technical literature research and prepare a presentation on a chosen topic. The students learn systematically to work out a task / a question from the field of nanotechnology, to work out the goals and to work on them under professional supervision. In addition to the technical training in the field of nano measurement technology, students are taught very important 'soft skills', such as Technical research, presentation, literature research, etc., which are required for later employment or for further qualification to a scientific master's degree.

After the event has been carried out actively, the students are sensitized to the metrological requirements for metrology for nano-objects. They are able to independently acquire and acquire the basic principles of nano measurement technology from scientific literature and explain them in a manner that is understandable for their colleagues. They can independently elucidate and classify the principal possibilities and limits of nano measurement technology, as well as the specific possibilities of an existing measuring device and their technical boundary conditions.

Literatur

1. F.E. Kruis, Size analysis of nanodisperse systems, Vorlesungsmanuskript.
 2. P.A. Baron, K. Willeke, Aerosol Measurement Principles, Techniques, and Applications (2001)
 3. K.L. Mittal, Particles on surfaces (VSP, Utrecht, 2003)
 4. P. Milani and S. Iannotta, Cluster Beam Synthesis of Nanostructured Materials, Springer Series in Cluster Physics (Springer-Verlag, Berlin, 1999)
- und aktuelle wissenschaftliche Veröffentlichungen

Modulname laut Prüfungsordnung			
Messtechnik nanodisperser Systeme Projekt			
Module title English			
Measurement Technology of Nanodisperse Systems Project			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Messtechnik nanodisperser Systeme Projekt			
Course title English			
Measurement Technology of Nanodisperse Systems Project			
Verantwortung	Lehreinheit		
Kruis, Einar	ET		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	WiSe	D	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
		3	
Studienleistung			
Prüfungsleistung			
Projektarbeit und Präsentation			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			
Messtechnik Nanodisperser Systeme			

Beschreibung / Inhalt Deutsch
In diesem Projekt wird eine definierte fachliche Aufgabe im Bereich Messtechnik nanodisperser Systeme bearbeitet. Diese Aufgabe wird aus einer Liste ausgewählt oder von den Teilnehmern selber vorgeschlagen. Das Thema soll eine wissenschaftliche oder ingenieurtechnische Relevanz haben.
Die Aufgabe wird individuell oder in einer Projektgruppe unter fachlicher Anleitung des Dozenten durchgeführt und ist wie ein Projekt abzuwickeln, einschließlich Spezifikation der Aufgabenstellung, Literaturrecherchen, Berichterstellung und Präsentation der Ergebnisse. Es können Laborexperimente, Datenverarbeitung oder Simulationen durchgeführt werden. Es ist in wöchentlichen Abständen anhand einer kurzen Präsentation beim Dozenten über den Erkenntnisstand zu berichten. Im gemeinschaftlichen Abschlussseminar werden die wichtigsten Erkenntnisse in einem Vortrag vorgestellt. Es erfolgt eine Benotung der individuellen Leistungen der Teilnehmerinnen und Teilnehmer.
Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch
Die Studierenden lernen systematisch, eine Aufgabe/eine Frage aus dem Bereich der Nanotechnologie zu bearbeiten, die Ziele zu erarbeiten und diese unter fachlicher Anleitung umzusetzen. Neben der technischen Schulung im Bereich der Nanomessungstechnik werden den Studierenden sehr wichtige 'Soft Skills' vermittelt, wie zum Beispiel technische Recherche, Präsentation, Literaturrecherche usw., die für spätere Beschäftigung oder für eine weitere Qualifikation zum wissenschaftlichen Masterabschluss erforderlich sind. Nachdem die Veranstaltung aktiv durchgeführt wurde, werden die Studierenden für die metrologischen Anforderungen an die Messtechnik für Nanoobjekte sensibilisiert. Sie sind in der Lage, eigenständig die grundlegenden Prinzipien der Nanomessungstechnik aus wissenschaftlicher Literatur zu erwerben und sie verständlich für ihre Kollegen zu erläutern. Sie können eigenständig die prinzipiellen Möglichkeiten und Grenzen der Nanomessungstechnik sowie die spezifischen Möglichkeiten eines vorhandenen Messgeräts und deren technische Rahmenbedingungen aufklären und einordnen.

Description / Content English

In this project, a defined technical task in the field of measurement technology for nanodisperse systems is being addressed. This task is selected from a list or proposed by the students themselves. The topic should have scientific or engineering relevance.

The task is carried out individually or in a project group under the professional guidance of the lecturer and should be managed like a project. This includes specifying the task, conducting literature research, preparing reports, and presenting the results. Laboratory experiments, data processing, or simulations may be conducted.

Progress must be reported to the lecturer on a weekly basis through a brief presentation. In the concluding seminar, the most important findings are presented in a lecture. The individual performance of the participants will be evaluated and graded.

Learning objectives / skills English

The students learn systematically to work out a task / a question from the field of nanotechnology, to work out the goals and to work on them under professional supervision. In addition to the technical training in the field of nano measurement technology, students are taught very important 'soft skills', such as Technical research, presentation, literature research, etc., which are required for later employment or for further qualification to a scientific master's degree.

After the event has been carried out actively, the students are sensitized to the metrological requirements for metrology for nano-objects. They are able to independently acquire and acquire the basic principles of nano measurement technology from scientific literature and explain them in a manner that is understandable for their colleagues. They can independently elucidate and classify the principal possibilities and limits of nano measurement technology, as well as the specific possibilities of an existing measuring device and their technical boundary conditions.

Literatur

Messtechnik nanodisperser Systeme, Skriptum, Kruis, Einar, 2020

Particle Size Measurements,, Henk Merkus, Springer, 2009

Aerosol measurements: Principles, techniques, and Applications, P. Kulkarni, P.A. Baron, K. Willeke, Wiley, 3rd ed., 2009

Particle Size Measurement (Powder Technology Series), T. Allen, vol. 1 and 2, 2012

Particle Size Analysis In Pharmaceutics And Other Industries: Theory and Practice, C. Washington, Prentice Hall, 1993

Modulname laut Prüfungsordnung			
Moderne anorganische Halbleiter für flexible Optoelektronik			
Module title English			
Modern inorganic semiconductors for flexible optoelectronics			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Moderne anorganische Halbleiter für flexible Optoelektronik			
Course title English			
Modern inorganic semiconductors for flexible optoelectronics			
Verantwortung	Lehreinheit		
Münzer, Franziska	ET		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	WiSe	D	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2		1	1
Studienleistung			
Antestat, Versuchsdurchführung Praktikum			
Prüfungsleistung			
Mündliche Prüfung			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch
In dieser Veranstaltung werden die wichtigsten anorganischen Halbleitermaterialien sowie deren Verwendung in flexiblen und/oder lösungsmittelbasierten optoelektronischen Bauelementen erläutert. Zu Beginn erfolgt eine Vorstellung der wichtigsten Materialklassen (Halogenid-Perowskite, Nanokristalle und 2D Materialien) und deren grundlegenden strukturellen Aufbaus sowie der optischen und elektrischen Eigenschaften, wobei ein besonderes Augenmerk auf die Wirkungsweise der Materialien innerhalb eines Bauelementes gelegt wird (Leitfähigkeit in und quer zur Schicht, optische Effekte innerhalb der Schicht, Einfluss von Stromtransport auf das Material, etc.). Darauf aufbauend wird die Umsetzung oder Ansätze zur Umsetzung verschiedener Bauelementtypen (Lichtemittierende Bauelemente, Photodetektoren, Laser, (Photo)-Transistoren, etc.) mit den unterschiedlichen Materialklassen vorgestellt. Aufbauend auf der Diskussion des Wirkungsmechanismus und der wichtigsten Kenndaten eines bestimmten Bauelementtypes werden anschließend die aus der Materialwahl resultierenden Vorteile und Limitierung in realen Bauelementen diskutiert, und die gängigsten Konzepte zur Umgehung von Problemen vorgestellt.
Die Veranstaltung umfasst neben der Vorlesung auch ein Praktikum, in dem jeweils ein Photodetektor und ein lichtemittierendes Bauelement gebaut und vermessen wird.
Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch
Nach Besuch der Veranstaltung kennen die Studierenden die besonderen Charakteristika (Aufbau, grundlegende optische und elektrische Eigenschaften) der wichtigsten modernen anorganischen Halbleiter, die für flexible Optoelektronik geeignet sind. Sowie die die wichtigsten Verfahren zur Herstellung von flexiblen und lösungsmittelbasierten Bauelementen. Sie haben ein Verständnis für die materialspezifischen Vorteile und Herausforderungen bei der Verwendung in optoelektronischen Bauelementen entwickelt.

Description / Content English

This course will explain the most important flexible inorganic semiconductor materials and their use in flexible and/or solvent-based optoelectronic devices. At the beginning, the most important material classes (metal halide perovskites, nanocrystals and 2D materials) and their basic structure as well as the optical and electrical properties are presented, with special attention to the functionality of the materials within a device (conductivity in and across the layer, optical effects within the layer, influence of current transport on the material, etc.). Based on this, the implementation or approaches for the implementation of different device types (light-emitting components, photodetectors, lasers, (photo) transistors, etc.) with the different material classes will be presented. The advantages and limitations resulting from the choice of material in specific devices are discussed, and the most common concepts to circumvent problems are presented.

In addition to the lecture, the course also includes an internship, in which a photodetector and a light-emitting component are built and measured.

Learning objectives / skills English

After attending the course, the students will know the special characteristics (structure, basic optical and electrical properties) of the most important modern inorganic semiconductors suitable for flexible optoelectronics, as well as the most important processes for the production of flexible and solvent-based components. They have developed an understanding of the material-specific advantages and challenges of using them in optoelectronic devices.

Literatur

- 1) Tze-Chien Sum and Nripan Mathews: Halide Perovskite – Photovoltaics, Light Emitting Devices and Beyond, Wiley-VCH 2019
- 2) Phaedon Avouris, & Irm; Tony F. Heinz, Tony Low: 2D Materials: Properties and Devices, Cambridge University Press 2017
- 3) Dongzhi Chi, K.E.Johnson Goh, Andrew T.S Wee: 2D Semiconductor Materials and Devices, Elsevier 2020
- 4) Victor Klimov: Nanocrystal Quantum Dots, CRC Press 2010
- 5) Aparna Thankappan, Sabu Thomas: Perovskite Photovoltaics - Basic to Advanced Concepts and Implementation, Academic Press 2018

Modulname laut Prüfungsordnung			
Moderne Methoden der Bauelement- und Schaltungsanalytik			
Module title English			
Advanced Methods for Analytics of Components and Circuits			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Moderne Methoden der Bauelement- und Schaltungsanalytik			
Course title English			
Advanced Methods for Analytics of Components and Circuits			
Verantwortung	Lehreinheit		
Mertin, Wolfgang	ET		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	WiSe	D	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		
Studienleistung			
Prüfungsleistung			
Mündliche Prüfung			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch
In dieser Veranstaltung werden moderne Methoden der Bauelement- und Schaltungsanalytik eingeführt und speziell anhand von Nanostrukturen bzw. nanostrukturierten Bauelementen erklärt. Neben den einzelnen Messsystemgruppen werden auch die peripheren Messsysteme und ihre zugrunde liegenden Arbeitsweisen eingehend erklärt. Nach den theoretischen Grundlagen der Darstellungsbereiche Zeit- und Frequenzbereich und ihres theoretischen Zusammenhangs werden Rauscharten erläutert und mathematisch beschrieben. Anschließend erfolgt eine eingehende Diskussion der verschiedenen Möglichkeiten der Signaldetektion aus verrauschten Signalen (z. B. Mittelwertbildung, Lock-in Verstärkung). Auf dieser Grundlage werden dann verschiedene, in der Bauelement- und Schaltungsanalytik häufig eingesetzte, Messsysteme beschrieben. Hierzu zählen der Spektrumanalysator, der Netzwerkanalysator, die Kelvin-Force-Mikroskopie und die Rastersonden-Strom und Spannungsmesstechnik aber auch optische Verfahren wie Photoemissionsmikroskopie, PICA und OBIRCH.
Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch
Die Studierenden sind nach aktivem Besuch der Veranstaltung sensibilisiert für die in der Nanotechnik üblichen Signale. Sie sind in der Lage, den für ihre Problemstellung geeigneten Darstellungsbereich zu wählen. Sie kennen die Problematik verrauschter Signale, die Rauschursachen und geeignete Möglichkeiten, optimale Messbedingungen und Messumgebungen auszuwählen. Sie kennen die grundsätzlichen Arbeitsweisen der in der Bauelement- und Schaltungsanalytik gebräuchlichsten Messsysteme und Messverfahren und sie sind in der Lage das für ihre Problemstellung am besten geeignete Messsystem auszuwählen und anzuwenden.

Description / Content English
The content of this lecture are modern methodes for device and circuit analysis. The relationship between time domain and frequency domain will be discussed. The fundamentals of different noise types are teached and correlated to measurement problems. For signal recovery different methodes like Lock-In Amplification, Averaging and Box-Car Integrators will be explained. Kelvin Probe Force Microscopy, Photoluminescence microscopy, Laser Voltage Probing and Thermography round the lecture off.

Learning objectives / skills English

After passing the lecture successfully the students are sensitized for typical signals in nanotechnology. They can choose the right domain for the special problem. They are familiar with noise types, measurement of noisy signals and signal recovery. The students are also familiar with the main analysis methods for device and circuit analysis.

Literatur

- 1) K. Bergmann: Elektrische Messtechnik, Vieweg Verlag 1997
- 2) Clyde F. Coombs, Jr.: Electronic Instrument Handbook, McGraw-Hill Book Company 2000
- 3) B. E. Jones: Messgeräte, Messverfahren, Messsysteme, Teil 1 und 2, Oldenburg - Verlag 1980
- 4) M. Thumm, W. Wiesbeck, S. Kern: Hochfrequenzmesstechnik: Verfahren und Messsysteme, Teubner - Verlag 1997
- 5) L. Reimer: Rasterelektronenmikroskopie, Springer - Verlag 1977
- 6) M. L. Meade: Lock-in amplifiers: Principles and applications, Peter Peregrinus Ltd. 1989
- 7) J. T. L. Thong (ed.): Electron Beam Testing Technology, Plenum Press 1993
- 8) D. Wolf (ed.): Noise in Physical Systems, Springer Verlag 1978
- 9) W. Gruhle: Elektronisches Messen, Springer Verlag 1987
- 10) D. Sarid, Scanning Force Microscopy, Oxford University Press, 1993
- 11) E. Meyer, H. J. Hug, R. Bennewitz, Scanning Probe Microscopy, Springer-Verlag, 2003
- 12) T. Gandhi (ed.), Microelectronics Failure Analysis, Desk Reference, 7th Edition, ASM International, 2019

Modulname laut Prüfungsordnung			
Molekulare Gasdynamik			
Module title English			
Molecular Gas Dynamics			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Molekulare Gasdynamik			
Course title English			
Molecular Gas Dynamics			
Verantwortung	Lehreinheit		
Wlokas, Irenäus	MB		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	WiSe	D	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		
Studienleistung			
Prüfungsleistung			
Mündliche Prüfung			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			
Beschreibung / Inhalt Deutsch			

In der Thermodynamik und Strömungsmechanik werden Gase typischerweise als ein Kontinuum betrachtet – eine Annahme die gleichzeitig die Grenzen dieses Modells vorgibt und für stark verdünnte Gase nicht mehr zutrifft. Alternativ können Gase als Ensemble von Partikeln (Molekülen) betrachtet und mathematisch beschrieben werden. Diese Betrachtung ist die Grundlage der statistischen Thermodynamik und der kinetischen Theorie der Gase. Die Vorlesung richtet sich an Studenten des Maschinenbaus und des NanoEngineering im fortgeschrittenen Bachelor-Studiengang und in den Master-Studiengängen.

Die Vorlesung Molekulare Gasdynamik liefert eine Einführung in die statistische Beschreibung von Gasen, basierend auf der Grundannahme, dass Gase aus Partikeln (Molekülen) bestehen. Die Inhalte der Vorlesung sind folgende:

1. Einführung

Annahmen der molekularen Theorie, Molekülmodelle und Skalen; Die Stömungsbereiche „Kontinuumströmung“ und „freie Molekülströmung“; Thermodynamische Größen und molekulare Größenordnungen.

2. Elementare Gaskinetik

Makroskopische Eigenschaften eines Gases in Ruhe; Diffusion, Wärmeleitung und Schubspannungen als molekulare Transportprozesse.

3. Verteilungsfunktion und makroskopische Größen

Die molekulare Geschwindigkeitsverteilungsfunktion; Bestimmung der makroskopischen Größen aus der Verteilungsfunktion.

4. Kinetische Theorie für das Gleichgewicht

Die Maxwell-Boltzmann (MB) Verteilung; Anwendung der MB Verteilung und Momente der Gleichgewichtsverteilung; molekulare Stoßbeziehungen.

5. Boltzmann-Gleichung

Herleitung der Boltzmann-Gleichung; Grenzfall der freien Molekülströmung; Grenzfall der Kontinuumströmung; Das H-Theorem und die Entropie; Momente der Boltzmann-Gleichung; Das BGK-Modell.

6. Die Chapman-Enskog Entwicklung

Formulierung und Hierarchien der Chapman-Enskog Entwicklung; Herleitung der Navier-Stokes Gleichung aus dem BGK-Modell; Bestimmung von Transportgrößen mittel der Chapman-Enskog Entwicklung.

7. Numerische Lösungsverfahren: Direkte Monte-Carlo Simulation; Einführung in die Lattice-Boltzmann Methode; Programmierung eines einfachen Lattice BGK Lösers.

Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch

Vertieftes Verständnis der Strömungsmechanik und der Thermodynamik. Solide Grundlagen für die statistische Physik, sowie die statistische Beschreibung disperter Medien.

Description / Content English

In thermodynamics and fluid mechanics, gases are typically considered as a continuum—an assumption that simultaneously defines the limitations of this model and is no longer valid for highly rarefied gases. Alternatively, gases can be viewed and mathematically described as an ensemble of particles (molecules). This perspective forms the basis of statistical thermodynamics and the kinetic theory of gases.

The lecture is aimed at students of mechanical engineering and nanoengineering in advanced bachelor's programs and master's programs.

The lecture Molecular Gas Dynamics provides an introduction to the statistical description of gases, based on the fundamental assumption that gases consist of particles (molecules). The lecture topics are as follows:

1. Introduction

Assumptions of molecular theory, molecular models, and scales; The flow regimes of „continuum flow“ and „free molecular flow“; Thermodynamic quantities and molecular scales.

2. Elementary Gas Kinetics

Macroscopic properties of a gas at rest; Diffusion, heat conduction, and shear stresses as molecular transport processes.

3. Distribution Function and Macroscopic Quantities

The molecular velocity distribution function; Determination of macroscopic quantities from the distribution function.

4. Kinetic Theory for Equilibrium

The Maxwell-Boltzmann (MB) distribution; Application of the MB distribution and moments of the equilibrium distribution; Molecular collision relationships.

5. Boltzmann Equation

Derivation of the Boltzmann equation; Limiting case of free molecular flow; Limiting case of continuum flow; The H-theorem and entropy; Moments of the Boltzmann equation; The BGK model.

6. The Chapman-Enskog Expansion

Formulation and hierarchies of the Chapman-Enskog expansion; Derivation of the Navier-Stokes equation from the BGK model; Determination of transport quantities using the Chapman-Enskog expansion.

7. Numerical Solution Methods

Direct Monte Carlo simulation; Introduction to the lattice Boltzmann method; Programming a simple lattice BGK solver.

Learning objectives / skills English

In-depth understanding of fluid mechanics and thermodynamics. Solid foundation in statistical physics and the statistical description of dispersed media.

Literatur

Über Moodle zur Verfügung gestelltes Material

Modulname laut Prüfungsordnung			
Nachhaltige Nanotechnologie			
Module title English			
Sustainable Nano Technology			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Nachhaltige Nanotechnologie			
Course title English			
Sustainable Nano Technology			
Verantwortung	Lehreinheit		
Kuhlbusch, Thomas	MB		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	WiSe	D	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		
Studienleistung			
Prüfungsleistung			
Mündliche Prüfung			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch
Die ersten Vorlesungen befassen sich mit den generellen Konzepten der Nachhaltigkeit und Technologiefolgeabschätzung, sowie relevanten Definitionen und Begriffen im nanotechnologischen Umfeld. Diese Ansätze werden im weiteren Verlauf der Vorlesung auf wirtschaftliche, soziologische und ökologische Aspekte hin angewendet. Basierend auf diesen Grundlagen erfolgen in den späteren Vorlesungen die Diskussionen zu umweltrelevanten Eigenschaften von nanostrukturierten Materialien, deren mögliche Auswirkungen auf die Umwelt, Freisetzung- und Transportszenarien, dem Recyceln, sowie die gesamtheitliche Betrachtung der Auswirkungen von nanostrukturierten Materialien.
Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch
Die Studierenden lernen die Konzepte der Nachhaltigkeit und deren Einsatz auf das Gebiet der Nanotechnologie anzuwenden. Wesentliche Komponenten sind hierbei der ganzheitliche Ansatz von der Entwicklung der Nanotechnologie, der Erfassung möglicher Begleiterscheinungen (positiv wie negativ), sowie die Anwendung spezifischer Messtechniken und -strategien im Umfeld der Nanotechnologie.

Description / Content English
The introducing lectures will deal with the general concepts of sustainability and technology assessment, as well as relevant terms and definitions related to nanotechnology and technology assessment. These concepts will consecutively be applied related to economical, sociological, and ecological aspects. The subsequent lectures will discuss the environmentally relevant characteristics of nanostructured materials, the possible environmental implications, release and transport scenarios, recycling, as well as the holistic assessment of consequences due to the application of nanostructured materials.
Learning objectives / skills English

This lecture series aims at teaching students concepts of sustainability and their application in the area of nanotechnology. Important components are the development of assessments based on integrated approaches for developments in nanotechnology, the collection of accompaniment (positive as negative), as well as the specific application of measurement techniques and strategies related to developments in nanotechnology.

Literatur

(Empty box)

Modulname laut Prüfungsordnung			
Nanoelektronik			
Module title English			
Nano Electronics			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Nanoelektronik			
Course title English			
Nano Electronics			
Verantwortung	Lehreinheit		
Weimann, Nils	ET		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	WiSe	D	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		
Studienleistung			
Prüfungsleistung			
Mündliche Prüfung			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch
Die Veranstaltung behandelt gezielt elektronische Aspekte der Nanotechnologie und grenzt sich ab gegen die Bereiche Nanophotonik und Nanomagnetismus. Sie beginnt mit einer Sichtung geeigneter Materialien und Nanostrukturen und stellt kurz, orientiert an anwendungsrelevanten Nano-Bauelementen, Herstellungsverfahren vor. Die Boltzmanntransportgleichung, Transportmechanismen, insbesondere Tunnel- und ballistischer Transport, werden behandelt. Als Bauelemente werden u.a. 2DEG-Transistoren, Resonanz-Tunnel-Dioden und -Transistoren, Single-Electron-Transistoren, Coulomb-Blockade- sowie elektromechanische Nano-Elemente auf Halbleiter- und Kohlenstoffbasis bearbeitet; einfache Grundfunktionen im Sinne einer Nano-Schaltungstechnik schließen die Veranstaltung ab.
Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch
Es sollen die für Nanostrukturen typischen Funktionsmechanismen vermittelt und an möglichst anwendungsnahen elektronischen Bauelementen dargestellt werden.

Description / Content English
The lecture treats electronic aspects of the nanotechnology and differs from the areas nano-photonic and nano-magnetism. It starts with a classification of suitable materials and nano-structures and briefly introduces fabrication techniques. The Boltzmann transport equation, transport mechanisms, in particular tunnel and ballistic transport, are treated. Transistors with two-dimensional electron gas as channel (2DEG), resonance tunnel diodes and transistors, single Electron transistors, Coulomb blockade as well as electromechanical nano-elements on semiconductor and carbon base are presented and discussed. Simple basic functions as examples for a nano-circuit technology conclude the lecture.
Learning objectives / skills English
The functional mechanisms typical for nano-structures should be captured using the example of electronic devices very close to applications.

Literatur

- 1) S. Datta, Electron Transport in Mesoscopic Systems, Cambridge University Press, 1995
- 2) J.H. Davies, The Physics of Low-Dimensional Semiconductors, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1998

Modulname laut Prüfungsordnung			
Nanokristalline Materialien			
Module title English			
Nanocrystalline Materials			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Nanokristalline Materialien			
Course title English			
Nanocrystalline Materials			
Verantwortung	Lehreinheit		
Winterer, Markus	MB		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	WiSe	D	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2		1	
Studienleistung			
Antestat, Versuchsdurchführung Praktikum			
Prüfungsleistung			
Mündliche Prüfung			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch
Nanokristalline Materialien sind polykristalline Festkörper mit einer „Nano“-Mikrostruktur. Unter der Mikrostruktur eines Materials versteht man die Art, Kristallstruktur, Anzahl, Form und topologische Anordnung von Punktdefekten, Versetzungen, Stapelfehlern und Korngrenzen in einem kristallinen Material. Die Mikrostruktur wird bei der Herstellung und Verarbeitung von nanokristallinen Materialien erzeugt und verändert. Sie spielt eine wichtige Rolle bei den Eigenschaften der Endprodukte, wie z.B. der Möglichkeit zu superplastischen Verformung oder beim Transport von Elektronen und Ionen. Themen der Vorlesung sind:
01. Einführung und Mikrostruktur
02. Festkörperdiffusion - Mechanismen
03. Festkörperdiffusion - Korngrenzendiffusion
04. Phasenumwandlungen
05. Phasendiagramme
06. Phasenumwandlungen - Größeneffekte
07. Verdichtung und Formgebung
08. Sintern - Thermodynamik und Kinetik
09. Sintern - Kontrolle der Mikrostruktur
10. Eigenschaften und Anwendungen: Transportphänomene
11. Eigenschaften und Anwendungen: Katalyse und Sensorik
dabei werden sowohl die physikalisch-chemischen (Festkörperchemie- und Physik) und materialwissenschaftlichen Grundlagen behandelt, als auch die Herstellung, Verarbeitung, strukturelle Charakterisierung, Eigenschaften und Anwendung der nanokristallinen Materialien.
Im Praktikum wird ein Varistor-Bauelement aus nanokristallinem ZnO hergestellt und strukturell und elektrisch charakterisiert:
1. Festkörperdiffusion und EDX (HRSEM)
2. Spark-Plasma-Sintern von nanokristallinem ZnO und Mikrostrukturentwicklung (HRSEM, XRD)
3. Varistor-Bauelement und I-U-Kennlinie
Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch

Die Studierenden sollten in der Lage sein, Mikrostruktur insbesondere Korngrenzen und die Auswirkungen auf Festkörpereigenschaften qualitativ zu beschreiben. Die Studierenden verstehen Mechanismen von Festkörperdiffusion und Sintern und Modelle zu ihrer quantitativen Beschreibung. Sie beherrschen Verfahren zur Verarbeitung und Charakterisierung entsprechender Nanomaterialien und die Methoden zur Einstellung verschiedener Mikrostrukturen.

Description / Content English

Nanocrystalline materials are polycrystalline solids with a „nano“-microstructure. The microstructure of a material is the type, phase, number, morphology and topological arrangement of point defects, dislocations, stacking faults and grain boundaries in a crystalline solid. The microstructure is generated and modified during production and processing of nanocrystalline materials and determines the physical and chemical properties of the final products, such as superplastic deformation or transport of ions and electrons.

Topics of the lecture are:

01. Introduction and microstructure
 02. Solid state diffusion - mechanisms
 03. Solid state diffusion - grain boundary diffusion
 04. Phase transitions
 05. Phase diagrams
 06. Phase transitions - size effects
 07. Consolidation and Shaping
 08. Sintering - Thermodynamics and Kinetics
 09. Sintering - Control of microstructure
 10. Properties and Applications - transport phenomena
 11. Properties and applications - catalysis and sensors
- In the labcourse a varistor device consisting of nanocrystalline ZnO is produced and structurally and electrically characterized:
1. Solid state diffusion and EDX (HRSEM)
 2. Spark-plasma-sintering of nanocrystalline ZnO and microstructural development (HRSEM, XRD)
 3. Varistor-Device and characteristic I-U curve

Learning objectives / skills English

The students are able to qualitatively describe microstructures, especially grain boundaries and corresponding solid state properties. The students understand mechanisms of solid state diffusion and sintering and quantitative models. They master methods to process and characterize nanomaterials and methods to control different microstructures.

Literatur

Zur Einführung

- A. S. Edelstein and R. C. Cammarata (eds.), Nanomaterials: Synthesis, Properties and Applications, IOP, Bristol 1996
- H. Gleiter, Microstructure, chapter 9 in R. W. Cahn, P. Haasen (eds.), Physical Metallurgy, Elsevier, London 1996
- W. Schilling, K. Urban, and H. Wenzl, Elektrokeramische Materialien, 26. IFF Ferienkurs, Jülich 1995

Zur Vertiefung

- Y.-M. Chiang, D. Birnie, and W. D. Kingery, Physical Ceramics - Principles for Ceramic Science and Engineering, Wiley, New York 1997
- J. Maier, Physical Chemistry of Ionic Materials Ions and Electrons in Solids, Wiley 2004
- M. N. Rahaman, Ceramic Processing and Sintering, Marcel Dekker 2003
- J. E. Reed, Principles of Ceramics Processing, Wiley 1995
- R. M. German, Sintering Theory and Practice, Wiley 1996
- D. Wolf, and S. Yip, Materials Interfaces: Atomic level structure and properties, Chapman and Hall, London 1992

Original-Literatur zur Vertiefung, z.B. in den Zeitschriften

- Materials Research Society Bulletin
- Advanced Materials
- Journal of the American Ceramic Society
- Acta Materialia
- Journal of Materials Science

Modulname laut Prüfungsordnung			
Nano-Optoelektronik und Nano-Photonik			
Module title English			
Nano Optoelectronics and Nano Photonics			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Nano-Optoelektronik und Nano-Photonik			
Course title English			
Nano Optoelectronics and Nano Photonics			
Verantwortung	Lehreinheit		
Bacher, Gerd	ET		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	SoSe	D	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2			1
Studienleistung			
Prüfungsleistung			
Mündliche Prüfung			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch
Die Veranstaltung erläutert die Anwendungen von Nanostrukturen in der Optoelektronik und zielt darauf ab, wie durch nanometergroße Strukturen die Bauelement-Eigenschaften eingestellt werden können bzw. neue Bauelementanwendungen möglich werden. Nach der Erarbeitung grundlegender optischer Eigenschaften von Nanostrukturen werden in der Vorlesung die folgenden Themen diskutiert: a) Optoelektronische Bauelemente - Quantenfilmlaser, Quantenkaskadenlaser - Emitter und Einzelphotonenquellen auf Quantenpunkt-/Nanopartikelbasis - Detektoren / Modulatoren auf Nanostrukturbasis b) Nano-Photonik - Grundlagen periodischer Dielektrika, Wellenausbreitung in Dielektrika, Bragg-Gitter - optische Filter, DFB/DBR Laserdioden, Vertikal-Emitter - 2-dimensionale und 3-dimensionale photonische Kristalle - Metamaterialien
Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch
Die Studierenden sind nach aktivem Besuch der Veranstaltungen sensibilisiert für Anwendungen von Nanostrukturen in der Optoelektronik. Sie verstehen die grundlegenden Eigenschaften nano-optoelektronischer und photonischer Bauelemente und sind in der Lage für definierte optoelektronische und photonische Anwendungen geeignete Nanostrukturen einzusetzen. Sie können Möglichkeiten und Grenzen für den Einsatz von Nanostrukturen in der Optoelektronik und Photonik auch unter technischen Randbedingungen (Zuverlässigkeit, Reproduzierbarkeit, Kosten usw.) einordnen.
Description / Content English

The course explains the applications of nanostructures in optoelectronics and aims to show how nanometer-sized structures can be used to adjust device properties or enable new device applications. After working out the basic optical properties of nanostructures, the following topics are discussed in the lecture:

(a) optoelectronic devices

- Quantum film lasers, quantum cascade lasers
- Emitters and single photon sources based on quantum dots/nanoparticles
- Detectors / modulators based on nanostructures

b) nano-photonics

- Fundamentals of periodic dielectrics, wave propagation in dielectrics, Bragg gratings
- optical filters, DFB/DBR laser diodes, vertical emitters
- 2-dimensional and 3-dimensional photonic crystals
- metamaterials

Learning objectives / skills English

After actively attending the courses, students are sensitized to applications of nanostructures in optoelectronics. They understand the basic properties of nano-optoelectronic and photonic components and are able to use suitable nanostructures for defined optoelectronic and photonic applications. They will be able to classify the possibilities and limitations for the use of nanostructures in optoelectronics and photonics, also under technical constraints (reliability, reproducibility, costs, etc.)

Literatur

Nano-Optoelektronik und Nano-Photonik, Skriptum, Bacher, Gerd, 2020

Physics of Optoelectronic Devices, S.L. Chuang, John Wiley & Sons, 1995

Photonic Crystals, K. Busch, S. Lölkes, R. Wehrspohn, H. Föll (Eds.), Wiley VCH, 2004

Nano-Optoelectronics, Marius Grundmann (Ed.), Springer, 2002

Physical Models of Semiconductor Quantum Devices, Y. Fu und M. Wilander, Kluwer Academic Publishers, 1999

Modern Semiconductor Device Physics, S.M. Sze, John Wiley & Sons, 1998

Handbook of nanostructured materials and nanotechnology, Hrsg. Nalwa Hari Singh, Academic Press, San Diego, ISBN 0-12-513760-5

Handbook of Nanoscience, Engineering, and Technology, Goddard III William A.; Brenner, Donald W.; Lyshevski S.E.; Iafrate, G.J., Oct. 2002, 848 pp., ISBN 0-8493-1200-0

Modulname laut Prüfungsordnung			
Nanopartikel Entstehungsvorgänge			
Module title English			
Nano Particle Generation			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Nanopartikel Entstehungsvorgänge			
Course title English			
Nano Particle Generation			
Verantwortung	Lehreinheit		
Schulz, Christof; Wiggers, Hartmut	MB		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	WiSe	D	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1	1	
Studienleistung			
Antestat, Versuchsdurchführung Praktikum			
Prüfungsleistung			
Mündliche Prüfung			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch
Die Veranstaltung beschäftigt sich detailliert mit den physikalisch-chemischen Grundlagen der Partikelbildung (Keimbildung, Wachstum, Ostwald-Reifung, Sinterung, Kondensation) und ihrer modellhaften Beschreibung. Im Wesentlichen werden die Synthese auf nasschemischem Weg (Sol-gel-Verfahren , Fällungsreaktionen u.a.), durch Gashasensynthese (homogene/heterogene Partikelbildung in der Gasphase, Spraypyrolyse u.a.) und durch physikalische Verfahren in ihren Grundlagen behandelt.
Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch
Die Studierenden sind in der Lage, die Modelle zur Partikelbildung sowie ihre physikalisch-chemischen Grundlagen zu erklären und zu bewerten.

Description / Content English
This lecture addresses a detailed description of the physico-chemical fundamentals of particle formation (nucleation, condensation, growth, Ostwald-ripening, sintering) and the common models. The background of different formation processes like wet synthesis (sol-gel techniques, precipitation), gas-phase synthesis (e.g. homogeneous and heterogeneous particle formation in the gas phase, spray pyrolysis) and physical techniques will be discussed.
Learning objectives / skills English
The students learn to explain and critically review the models of nano particle formation and their chemical and physical fundamentals.

Literatur
- G. Schmid (Hrsg.), Nanoparticles: From Theory to Application, Wiley-VCH, Weinheim 2003
- T. T. Kodas and M. Hampden-Smith, Aerosol processing of materials, Wiley-VCH, New York, 1999
- A. S. Edelstein and R. C. Cammarata (eds.), Nanomaterials: Synthesis, Properties and Applications, IOP, Bristol 1996

Modulname laut Prüfungsordnung			
Nanostrukturierung durch Selbstassemblierung			
Module title English			
Nano-structuring by Self-Assembly			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Nanostrukturierung durch Selbstassemblierung			
Course title English			
Nano-structuring by Self-Assembly			
Verantwortung	Lehreinheit		
Schmeichel, Roland	ET		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	SoSe	D	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		
Studienleistung			
Prüfungsleistung			
Mündliche Prüfung			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch
Die Veranstaltung befasst sich mit Selbstorganisationsphänomänen zur Strukturbildung. Zu Beginn erfolgt eine Definition der Begriffe „Struktur“, „Ordnung“, „Selbstassemblierung“ und „Selbstorganisation“. Es folgt eine Einführung in die statistische Thermodynamik, mit dem Ziel die Extremalprinzipien der klassischen Thermodynamik aus mikroskopischen/statistischen Überlegungen abzuleiten. Im zweiten Teil werden intermolekulare und interpartikuläre Kräfte und Wechselwirkungspotentiale behandelt um daraus qualitative funktionale Abhängigkeiten charakteristischer thermodynamischer Größen, wie chemisches Potential oder Freie Energie für einfache charakteristische Mischsysteme abzuleiten und eine Unterteilung in lokale und nicht-lokale Wechselwirkungen durchzuführen. Im dritten Teil werden dann auf der Basis der vorangestellten Grundlagen Ordnungsphänomene vorrangig in der Flüssigphase wie molekulare Monoschichten, Doppelschichten, Micellen, Vesikel, flüssigkristalline Phasen etc. behandelt und deren Einsatz in der Nanotechnologie beschrieben.
Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch
Die Studierenden beherrschen die thermodynamischen Grundlagen der Selbstorganisation. Sie kennen den prinzipiellen Zusammenhang zwischen phänomenologischen thermodynamischen Größen und deren statistischer Deutung. Sie sind in der Lage, aus Zustandsummen, thermodynamische Größen zu berechnen. Darüber hinaus kennen sie die wesentlichen intermolekularen Kräfte und Wechselwirkungen und deren Zusammenhang mit den thermodynamischen Eigenschaften in einfachen Modellsystemen. Für einfache Modellsysteme können sie so Aussagen über die Entropie, die Zustandsumme und das chemische Potential machen. Sie sind in der Lage, für einfache Mischsysteme Phasendiagramme zu lesen und mit Hilfe einfacher Modelle Aussagen über kritische Konzentrationen und Formbildungen zu machen. Die Studierenden kennen Beispiele für die Anwendung von Selbstorganisationsphänomenen in der Nanotechnologie.
Description / Content English

The lecture considers self-assembly phenomena for structure forming. It starts with a definition of the terms: „Structure“, „Order“, „Self-assembly“ and „Self-organization“. It follows an introduction into the statistical thermodynamic in order to explain the extrema –principles in classical thermodynamics by microscopic /statistical considerations. The second part considers intermolecular forces and forces between particles and interaction potentials in order to derive characteristic functions for thermodynamic quantities like chemical potential and free energy for typical mixtures as well as to distinguish between local and non-local interactions. In the third part of the lecture the previous developed basics are applied to typical self-assembly phenomena, mainly in liquids, like molecular mono- and bi-layers, micelles and vesicles and liquid crystal phases and their application in the nanotechnology.

Learning objectives / skills English

The students know the thermo dynamical principles of self-assembly. They know the fundamental relation between phenomenological thermodynamic quantities and their microscopic statistical origin. They are able to calculate thermodynamic quantities from a given partition function. Further they know the fundamental intermolecular forces and interaction potentials and their relation to thermo dynamical properties. The students are able to estimate basic thermodynamic quantities like the entropy, partition function or chemical potential for simple model systems. They are able to read simple phase diagrams. They are able to give estimates for critical concentrations expected shaping. They know applications for self assembling processes in the nanotechnology.

Literatur

Jacob Israelachvili: Intermolecular & Surface Forces; Academic Press 2. Aufl. 2007 (ISBN: 978-0-12-375181-2)

Modulname laut Prüfungsordnung			
Numerical Mathematics			
Module title English			
Numerical Mathematics			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Numerical Mathematics			
Course title English			
Numerical Mathematics			
Verantwortung	Lehreinheit		
Gotzes, Claudia	Mathe		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
6	WiSe	E	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	2		
Studienleistung			
Prüfungsleistung			
Klausur			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch
Folgende Themen werden behandelt:
1. Fehleranalyse Darstellung von Zahlen, Gleitpunktzahlen, Rundungsfehler, Fehlerfortpflanzung, Fehlerfortpflanzung bei arithmetischen Operationen, Konditionierung
2. Nichtlineare Gleichungen Die Sekantenmethode, das Newtonverfahren, Fixpunktverfahren, Nullstellen von Polynomen, Systeme nichtlinearer Gleichungen, das Newtonverfahren für Systeme
3. Lineare Gleichungssysteme Die LR- und Cholesky-Zerlegung, die LR-Zerlegung, die Cholesky-Zerlegung, das Gaußsche Eliminationsverfahren, die QR-Zerlegung, Problem der kleinsten Quadrate, Iterative Lösungen, das Jacobi-Verfahren, das Gauß-Seidel-Verfahren, Konvergenzeigenschaften
4. Bestimmung von Eigenwerten Die Potenzmethode, Gerschgorinkreise, die QR-Methode, Hessenbergmatrizen
5. Gewöhnliche Differentialgleichungen Trennung der Veränderlichen und lineare Gleichungen, Einschrittverfahren, das Eulerverfahren, das verbesserte Eulerverfahren, das Runge-Kutta-Verfahren
6. Interpolation Lagrange-Polynome, Interpolationsfehler, Dividierte Differenzen, Splines
7. Integration Gaußsche Quadraturformeln
Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch
Die Studierenden sollen lernen, typische Probleme aus der Ingenieurmathematik mit numerischen Verfahren zu lösen, darunter lineare und nichtlineare Gleichungssysteme, Eigenwerte, Interpolation, Differentialgleichungen und Integration. Sie sollen lernen, abstrakt formulierte Methoden in eine konkrete Berechnung umzusetzen und diese Verfahren hinsichtlich Genauigkeit und Effizienz zu beurteilen.

Description / Content English

The course deals with the following subjects:

1 Error Analysis

Representation of numbers, Floating-point-numbers, Rounding errors, Error Propagation, Error propagation in arithmetic operations, Condition numbers

2 Nonlinear equations

The method of Bisection, The secant method, Newton's method, Fixed point iteration, Polynomial equations, Systems of nonlinear equations, Newton's method for systems

3 Systems of Linear Equations

The LR and Cholesky Decomposition, The LR-Decomposition, The Cholesky Decomposition, Gauss Elimination and Back-Substitution, Pivoting strategies, The QR Decomposition, Data fitting; Least square problems, Iterative solutions, Jacobi Iteration (total-step-method), Gauss-Seidel-Iteration (single-step-method), Convergence properties

4 Finding Eigenvalues

The Power method, Localizing eigenvalues, The QR-method, Hessenberg matrices

5 Ordinary Differential Equations

Basic analytic methods, Separation of variables, Linear differential equations, One-step-methods, Euler's Method, Midpoint Euler, Two-stage-models, Runge-Kutta-methods

6 Polynomial Interpolation

Lagrange form of Interpolation Polynomial, Interpolation Error, Divided Differences, Spline Interpolation

7 Numerical Integration

Gaussian Quadrature

Learning objectives / skills English

The students will learn to solve typical problems in engineering-mathematics by numerical methods, among others: Linear and nonlinear systems, eigenvalues, interpolation, differential equations, and integration. They should learn to implement general methods into a practical computation and to evaluate them with respect to accuracy and efficiency.

Literatur

- 1 Gautschi, W. Numerical Analysis, Birkhäuser, 1997.
- 2 Hammerlin und Hoffmann. Numerische Mathematik, Springer, 1994.
- 3 Householder. A.S. Principles of Numerical Analysis, Dover Publications, 1974.
- 4 Kincaid,D. and Cheney, W. Numerical Analysis, Brooks/Cole Publishing, 1991.
- 5 Locher. Numerische Mathematik für Informatiker, 1993.
- 6 Philipps,C. and Cornelius, B. Computational Numerical Methods, Ellis Hoorwood.
- 7 Stoer, J. and Burlisch, R. Introduction to numerical Analysis, 2005.

Modulname laut Prüfungsordnung			
Numerics and Flow Simulation			
Module title English			
Numerics and Flow Simulation			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Numerics and Flow Simulation			
Course title English			
Numerics and Flow Simulation			
Verantwortung	Lehreinheit		
Kempf, Andreas Markus	MB		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	SoSe	E	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	2		
Studienleistung			
Prüfungsleistung			
Mündliche Prüfung			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch

Die Vorlesung vermittelt detailliertes Verständnis numerischer Verfahren zur Simulation strömungsmechanischer Probleme (CFD, computational fluid dynamics). Die Inhalte gliedern sich in zwei Teile:

Teil 1: mathematische Grundlagen der Lösung von Transport- und Erhaltungsgleichungen

- Interpolationsverfahren, numerische Integration und Differentiation
- Finite Volumen Diskretisierung konvektiver und diffusiver Flüsse, Zeitintegration
- Druck-Geschwindigkeits Kopplung
- 3D-CFD, Simulation der turbulenten Strömung mit Reynolds-gemittelter Gleichungen, Simulation der turbulenten Strömung mit Grobstruktur-Modellen (LES)

Teil 2: Einführung in die Simulationspraxis am Beispiel von OpenFOAM

- Integration der Strömungssimulation im CAE Prozess, Grundkonzepte von OpenFOAM
- Simulation turbulenter, inkompressibler Strömungen
- Simulation kompressibler, reibungsfreier und reibungsbehafteter Strömungen
- Programmierung von Löser-Erweiterungen

Die Übung im Teil 1 wird durch Programmierung von Matlab Programmen begleitet, im Teil 2 wird die Bedienung von OpenFOAM vermittelt.

Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch

Studierende die die Vorlesung erfolgreich besucht haben:

1. Kennen die Stärken und Schwächen numerischer Verfahren im Kontext der Strömungssimulation
2. Sind in der Lage numerische Verfahren angepasst an die Problemstellung auszuwählen
3. Erwerben Verständnis für Quellen numerischer Fehler die für strömungsmechanische Probleme besonders wichtig sind
4. Verstehen die Methoden und sind in der Lage einfache Programme zur Lösung partieller Differentialgleichungen mit einer höheren Programmiersprache zu erstellen
5. Können komplexe CFD Programme anwenden um technische Probleme zu Simulieren
6. Können die Software OpenFOAM installieren und anwenden
7. Können selbstständig einfache Löser-Erweiterungen für OpenFOAM programmieren

Description / Content English

The lecture teaches detailed understanding of numerical methods for simulation of fluid flows (CFD, computational fluid dynamics). Main topics are split in two parts:

Part 1: mathematical basics of numerics for transport- and conservation-equations

- Interpolation methods, numerical differentiation and integration

- Finite volume discretisation of convective and diffusion fluxes, time integration methods

- Pressure-velocity coupling

- 3-D CFD, simulation of turbulent flows using Reynolds-averaged equations, large-eddy simulation (LES) of turbulence

Part 2: Introducton to fluid flow simulation with OpenFOAM

- Integration of CFD in the CAE process, basic concepts of OpenFOAM

- Simulation of turbulent, incompressible flows

- Simulation of compressible, viscous and inviscid flows

- Introduction to high-level programming with OpenFOAM

The tutorial seminar of Part 1 requires writing of Matlab programs. Tutorial seminar of Part 2 teaches the usage of OpenFOAM.

Learning objectives / skills English

Students which attended the lecture:

1. Are aware of strengths and weaknesses of numerical schemes in the context of flow simulation

2. Are capable to choose the adequate numerical methods for a particular flow problem

3. Learned to understand the sources of numerical errors, especially their importance in context of flow simulation

4. They understand the numerical methods and their computational implementation; they are capable to write simple programs for solution of partial differential equations using a high level programming language

5. They can apply complex CFD software for solution of practical flow problems

6. Can install and use OpenFOAM

7. Are capable to write simple solver extensions using the OpenFOAM library functions

Literatur

Lecture slides, über Moodle zur Verfügung gestelltes Material

Modulname laut Prüfungsordnung			
Optics in Photovoltaics			
Module title English			
Optics in Photovoltaics			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Optics in Photovoltaics			
Course title English			
Optics in Photovoltaics			
Verantwortung	Lehreinheit		
Schmid, Martina	Physik		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
6	SoSe	E	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2		2	
Studienleistung			
Prüfungsleistung			
Mündliche Prüfung			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch

Wir beginnen mit den Grundlagen der Photovoltaik, indem wir einen Überblick über Solarzellentechnologien und optoelektronische Funktionsprinzipien geben. Der Schwerpunkt des Kurses liegt dann auf optischen Konzepten von den Grundlagen (optische Beziehungen/Brechungsindex, Absorption von Halbleitern) über geometrische/strahlungsoptische Konzepte (Reflexion und Brechung, Spiegel und Linsen, Lichtkonzentration, Lensmaker-Gleichung, ABCD-Matrix-Methode) und Wellenoptik (Interferenz und Mehrfachreflexion, Transfermatrix-Methode für dünne Schichten) bis hin zur Plasmonik (Maxwell-Gleichungen, Oberflächenplasmonenpolaritonen, lokalisierte Oberflächenplasmonen, Mie-Theorie). Zum Schluss werden aktuelle Forschungsbeispiele zu nano- und mikrooptischen Konzepten vorgestellt. Ein wesentlicher Bestandteil der Vorlesung ist neben den theoretischen Grundlagen die praktische Umsetzung der entsprechenden physikalischen Gleichungen in analytischen Codes und numerischen Simulationen. Im Rahmen der Vorlesung werden entsprechende Codes und Modelle als Ausgangspunkte vorgestellt, an deren Anwendung sich die Studierenden anschließend beteiligen. Die verwendete Software ist meist Matlab und Comsol, ein Multiphysik-Simulationswerkzeug, das auf der Finite-Elemente-Methode basiert. Im Anschluss an die Vorlesung bearbeiten die Studierenden in einem Kompaktseminar („Blockkurs“ in der vorlesungsfreien Zeit) ausgewählte Projekte und vertiefen die Kenntnisse aus der Vorlesung durch praktische Berechnungen oder Simulationen.

Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch

Die Studierenden kennen die für Solarzellen relevanten Prinzipien der Optik - von der Strahlenoptik über die Wellenoptik bis zur Plasmonik. Darüber hinaus wissen sie, wie man Berechnungen und Simulationen zu entsprechenden Praxisbeispielen durchführt, z.B. mit Matlab oder Comsol Multiphysics.

Description / Content English

We start from the fundamentals of photovoltaics by giving an overview of solar cell technologies and optoelectronic working principles. The focus of the course then is on optical concepts from the basics (optical relations/refractive index, absorption of semiconductors) over geometrical/ray optics (reflection and refraction, mirrors and lenses, light concentration, Lensmaker's equation, ABCD matrix method) and wave optics (interference and multiple reflections, transfer matrix method for thin films) to plasmonics (Maxwell's equations, surface plasmon polaritons, localized surface plasmons, Mie theory). In the end, current research examples of nano- and microoptical concepts are presented. A key component of the course, aside from the theoretical basics, is the practical implementation of related physical equations in analytical code and numerical simulations. As part of the lecture, respective codes and models are presented as starting points, and the students subsequently participate in the application. The software used is mostly Matlab and Comsol, a multiphysics simulation tool based on the finite-element method. Following the lecture, the students will work on selected projects during a compact seminar ("Blockkurs" in the lecture-free period) and deepen their knowledge from the lecture through practical calculations or simulations.

Learning objectives / skills English

The students will be familiar with the principles of optics - from ray optics over wave optics to plasmonics - relevant to solar cells. Furthermore, they will know how to perform calculations and simulations of respective practical examples, using e.g. Matlab or Comsol Multiphysics.

Literatur

Pankove, Optical Processes in Semiconductors (Dove)
Saleh, Teich: Fundamentals of Photonics (Wiley)
Bohren, Huffman: Absorption and Scattering of Light by Small Particles (Wiley)
Meier: Plasmonics Fundamentals and Applications (Springer)

Modulname laut Prüfungsordnung			
Optische Signalverarbeitung			
Module title English			
Optical Signal Processing			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Optische Signalverarbeitung			
Course title English			
Optical Signal Processing			
Verantwortung	Lehreinheit		
Buß, Rüdiger	ET		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	W/S	D/E	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		
Studienleistung			
Prüfungsleistung			
Klausur			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch
Die Vorlesung Optische Signalverarbeitung beginnt mit der grundlegenden Theorie der nichtlinearen optischen Effekte in dielektrischen Materialien und in Halbleitern: Beispielsweise werden hier Fragen zur optischen Frequenzverdopplung anhand eines grünen Laserpointers diskutiert. Die Ursachen für optische Bistabilität werden beschrieben und es wird gezeigt, wie optisches Schalten zur Realisierung optischer Speicher und Logikelemente angewendet werden kann. Nachfolgend wird das Phänomen der optoelektronischen Bistabilität eingeführt. Es wird gezeigt, dass die Integration eines Modulators und eines Photodetektors zum sogenannten Self-Electrooptic-Effect-Device (SEED) führt. Dieses Element zeigt verschiedene Arten von Schaltvorgängen, die optisch und elektrisch gesteuert werden können. Schließlich werden die Einsatzgebiete der optischen Signalverarbeitung anhand speziellen Anwendungsbeispiele diskutiert. Dies sind unter anderem: optische Schaltnetzwerke, Bildverarbeitungssysteme, optische neuronale Netzwerke, parallel-optische Signalprozessoren.
Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch
Die Studierenden sind in der Lage, die physikalischen Mechanismen für die Entstehung optischer Bistabilität zu erörtern und diese bei der Analyse optischer logischer Elemente anzuwenden. Sie sind fähig, die erlernten Konzepte auf Systeme zu übertragen und den Einsatz optischer Signalverarbeitung kritisch mit bereits existierenden elektronischen Ansätzen zu vergleichen.
Description / Content English

The course „Optical Signal Processing“ starts with the basic theory of non-linear optical effects both in dielectric materials and in semiconductors. Optical second harmonic generation in green laserpointers is discussed. The causes for optical bistability are described and principles like optical switching are applied to the realisation of optical memories and logic elements. Within the next section of this course, the phenomenon of opto-electronic bistability is introduced. It is shown that the integration of a light modulator and a photodetector is leading to so-called self-electro-optic effect devices (SEED), showing various forms of switching behaviour which can be controlled both optically and electrically. Finally, the main advantages of optical signal processing are pointed out while discussing applications such as optical switching networks, image processing systems, optical neural networks, parallel optical signal processors and optical interconnects.

Learning objectives / skills English

The students are capable of discussing the physical mechanisms for the emergence of optical bistability and applying this to the analysis of optical logic elements. They are able to transfer the learned concepts to systems. They can question and compare the use of optical signal processing with existing electronic approaches.

Literatur

- [1] P. Mandel, S.D. Smith, B.S. Wherrett (Eds.), From optical bistability towards optical computing, Elsevier Science Publishers, North Holland, 1987
- [2] H.H. Arsenault, T. Szoplik, B. Macukow (Eds.), Optical Processing and Computing, Academic Press, San Diego, 1989
- [3] W. Erhard, D. Fey, Parallele digitale optische Recheneinheiten, Teubner Studienbücher, Elektrotechnik/Physik, Teubner Verlag, Stuttgart, 1994
- [4] B.S. Wherrett, P. Chavel (Eds.), Optical Computing, Proceedings of the International Conference, Institute of Physics Conference Series Number 139, IOP Publishing, 1995

Modulname laut Prüfungsordnung			
Organische Elektronik und Optoelektronik			
Module title English			
Organic Electronics and Optoelectronics			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Organische Elektronik und Optoelektronik			
Course title English			
Organic Electronics and Optoelectronics			
Verantwortung	Lehreinheit		
Schmeichel, Roland	ET		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	SoSe	D	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		
Studienleistung			
Prüfungsleistung			
Mündliche Prüfung			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch

Die Veranstaltung führt in die organische Elektronik und Optoelektronik ein. Dabei wird stets eine Balance aus grundlegender Molekülphysik und bauteilrelevanten Konzepten angestrebt. Zu Beginn erfolgen eine Klassifizierung der organischen Materialien und eine Einteilung bezüglich ihrer morphologischen/strukturellen Eigenschaften. Ausgehend von den Bindungsverhältnissen wird die elektronische Struktur organischer Halbleiter erläutert und es werden die für organische Halbleiter üblichen Transportmodelle vorgestellt. Dabei wird besonderes Gewicht auf die Elektron-Phonon-Kopplung (Molekülpolaron) und auf den Einfluss von Unordnung gelegt. Es werden Parallelitäten und Unterschiede zu anorganischen Halbleitern hervorgehoben. Die Veranstaltung geht auch auf Konzepte zur Dotierung organischer Halbleiter ein und es werden einige kommerziell relevante „Intrinsisch Leitfähige Polymere“ (ICPs) und Dopanten vorgestellt. Es folgt eine Einführung in Kontaktphänomene an den Grenzflächen Metall/org. Halbleiter. Auf der Basis dieser Kenntnisse werden einfache transportbasierte Bauelemente wie die Einschichtdiode und der organische Feldeffekttransistor eingeführt.

Weiterhin geht die Veranstaltung auf die optischen Eigenschaften organischer Materialien ein, wobei besonders auf die Bildung von Singulett- und Triplet-Exzitonen und die phononische Kopplungen (Franck-Condon-Prinzip) Wert gelegt wird. Auf Basis dieser Grundlagen werden als optoelektronische Bauteile organische Leuchtdioden (OLEDs) einschließlich lichtemittierende elektrochemische Zellen (LECs) und organische Solarzellen vorgestellt. Hier werden die jeweils technisch wichtigen Kenndaten eingeführt und an den historischen Entwicklungsstufen werden grundlegende Bauteilkonzepte erörtert.

Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch

Die Studierenden können organische Materialien bezüglich Morphologie und Bindungsstruktur klassifizieren. Sie kennen grundlegende Begriffe aus der Molekülphysik, wie konjugiertes Elektronensystem, Molekülpolaron, Exziton, Franck-Kondon-Prinzip und können diese korrekt anwenden. Die Studierenden können grundsätzliche Zusammenhänge zwischen Moleküleigenschaften und Bauteileigenschaften herstellen, wie z.B. die Korrelationen: funktionale Seitengruppen – Verschiebung der Molekülorbitale, Orientierung der Moleküle –Ladungsträgerbeweglichkeit, Ausdehnung des Pi-Systems – spektrale Verschiebung, etc. Die Studierenden kennen schließlich für Transistoren, Leuchtdioden und Solarzellen die wesentlichen kritischen Parameter, die die jeweiligen Bauteileigenschaften limitieren und die bekannten Konzepte um diesen Limitierungen entgegenzuwirken.

Description / Content English

The lecture introduces into the organic electronics and optoelectronics. It seeks for a balance between fundamental molecular physics and device relevant concepts. It starts with a classification of organic materials according to their binding nature and morphological properties. The basic electronic structure will be derived from the nature of molecular bindings and subsequently, it introduces in common charge transport models. A focus is given to electron-phonon-coupling (small polarons) and the effect of disorder. Similarities and differences to inorganic semiconductors are emphasized. The lecture considers also concepts for doping of organic semiconductors, while commercial relevant „intrinsic conducting polymers“ (ICPs) as well as dopants are considered.

It follows an introduction into contact phenomena on metal / org. semiconductor interfaces. On basis of this knowledge simple charge-transport-based devices like single layer diodes as well as field effect transistors are considered.

In its second part the lecture introduces into optical properties of organic materials, while special emphasis is given to the formation of singulett- / triplet- excitons, and the electron-phonon coupling (Franck-Condon–Principle). On this basis organic light emitting diodes (OLEDs and LECs) and organic solar cells are introduced. For each of these device classes the technical key-parameter are explained and fundamental device concepts are discussed on hand of important historical stages.

Learning objectives / skills English

The students are able to classify organic materials with respect to their binding structure and morphology. They know basic terms from molecular physics, like conjugated pi-electron system, molecule polaron, exciton, Franck-Condon-Principle and are able to use these terms correctly. The students are able to correlate molecular properties with device properties, like: functional groups – effect on HOMO-LUMO-level, orientation of molecules – effect on mobility, extension of pi-system – spectral shift, and so on. Finally, the students know for transistors, OLEDs and organic solar cells the most critical aspects limiting the device performance and know common concepts to act against these limiting factors.

Literatur

- Anna Köhler, Heinz Bässler: Electronic Processes in Organic Semiconductors: An Introduction. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA (2015)
Markus Schwörer, Hans Christoph Wolf: Organische Molekulare Festkörper. Wiley-VCH Verlag.

Modulname laut Prüfungsordnung			
Photovoltaik			
Module title English			
Photovoltaics			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Photovoltaik			
Course title English			
Photovoltaics			
Verantwortung	Lehreinheit		
Benson, Niels	ET		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	SoSe	D/E	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		1
Studienleistung			
Prüfungsleistung			
Mündliche Prüfung			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch
In dieser Vorlesung werden die Grundlagen der Photovoltaik bis hin zum vertieften Verständnis einzelner Zellkonzepte behandelt. Die Grundlagen schließen das wirtschaftliche Potenzial der Technologie, das Sonnenspektrum, Ladungsträger Generations- und Transportmechanismen in organischen wie anorganischen Halbleitern sowie die Funktionsweise des pn-Übergangs mit ein. Vertieft werden diese Inhalte hinsichtlich der allgemeinen elektrischen Solarzellenfunktionalität, Verlustmechanismen und Begrenzungen in der Konversionseffizienz. Weiterhin wird im Speziellen auf Solarzellen der 1. Generation: Si und m-Si, der 2. Generation: a-Si, organische und Graetzelzellen sowie auf Solarzellen der 3. Generation: Tandem Zellen eingegangen.
Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch
Die Studenten sind in der Lage:
<ul style="list-style-type: none"> - Das Energiegenerationspotential der Technologie zu erklären - Den Ursprung des photovoltaischen Effekts allgemein und die Funktionsweise einer Solarzelle an konkreten Materialsystemen zu erklären, unter zu Hilfenahme von quasi-Fermi Niveaus und standard Transportmodellen. - Generations und Rekombinations-mechanismen zu erklären. - Begrenzungen in der maximalen Konversionseffizienz zu erklären und hierbei zwischen materialbedingten, prozessbedingten und strukturbedingten Begrenzungen zu unterscheiden - Solarzellen elektro-optisch zu charakterisieren und die Ergebnisse mit Hilfe von standard Ersatzschaltbildern zu Interpretieren. - Solarzellen der drei Generationen zu unterscheiden, deren Funktionsweise zu beschreiben und deren Vor- und Nachteile zu erklären.

Description / Content English

This lecture deals with the photovoltaic basics, as well as an in depth understanding of selected solar cell concepts. The basics include the market potential of the photovoltaic technology, the solar spectrum, charge carrier generation and transport mechanisms in organic / inorganic semiconductors, as well as the working principle of the classical pn-junction. Emphasis is also placed on the general electrical solar cell functionality, loss mechanisms and limitations with respect to the power conversion efficiency. Specifically solar cells of the 1st generation: Si and m-Si, the 2nd generation: a-Si, organic and Graetzel cells as well as solar cells of the 3rd generation: tandem cells are discussed.

Learning objectives / skills English

The students are able:

- to describe the energy generation potential of this technology.
- to describe the origin of the photovoltaic effect, as well as the working principle of solar cells using concrete material systems, quasi Fermi levels as well as standard transport models.
- to describe generation and recombination mechanisms.
- to describe limitations of the max. obtainable power conversion efficiency and be able to differentiate between material, process and design limitations.
- to characterize solar cells electro-optically and are able to interpret their findings using standard equivalent circuits.
- to differentiate between solar cells of the three generations, are able to describe their working principle as well as their advantages and disadvantages.

Literatur

- The Physics of Solar Cells, Jenny Nelson, Imperial College Press
- Physics of Semiconductor Device, S.M. Sze and K.K. NG, WILEY-Interscience
- Physics of Solar Cells, Peter Würfel, WILEY-VCH
- Organic Molecular Solids, Markus Schwoerer and Hans Christoph Wolf, WILEY-VCH
- Solid State Physics, Harald Ibach and Hans Lüth, Springer

Modulname laut Prüfungsordnung			
Photovoltaik 2			
Module title English			
Photovoltaics 2			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Photovoltaik 2			
Course title English			
Photovoltaics 2			
Verantwortung	Lehreinheit		
Kirchartz, Thomas	ET		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	WiSe	E	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	2		
Studienleistung			
Prüfungsleistung			
Klausur			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch

In der Vorlesung stehen die Messung und Simulation von Halbleiterbauelementen am Beispiel der Solarzelle im Vordergrund. Dazu werden zunächst die Grundlagen geschaffen, um die Physik der Solarzelle zu verstehen und sie beschreiben zu können. Dabei werden die wesentlichen physikalischen Größen identifiziert, die den Wirkungsgrad einer Solarzelle beeinflussen, nämlich Ladungsträgerlebensdauer und Beweglichkeit sowie der Absorptionskoeffizient. Im Folgenden werden dann verschiedene Methoden eingeführt und erklärt mit denen man diese Größen bestimmen kann. Die numerische Simulation der Solarzelle ist dabei oft nützlich, um bestimmte Messverfahren besser zu interpretieren und um den Einfluss von Parametern wie Lebensdauer und Beweglichkeit auf die Kennlinie und den Wirkungsgrad einer Solarzelle zu verstehen. Die Vorlesung schließt ab mit einer Einführung in aktuelle Schwerpunkte der Solarzellenforschung wie z.B. druckbare Solarzellen und Perowskit-Solarzellen.

Die Vorlesung richtet sich sowohl an Studenten, die die Vorlesung Photovoltaik von Dr. Benson bereits gehört haben, als auch an Studenten, die diese Vorlesung nicht oder noch nicht gehört haben.

Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch

Die Studenten werden in der Lage sein:

- die Funktionsweise einer Solarzelle zu erklären,
- Bänderdiagramme und quasi-Fermi Niveaus im Dunkeln und unter Beleuchtung zu verstehen und zu benutzen,
- den Unterschied zwischen geordneten (kristallinen) und ungeordneten (nanokristallinen oder amorphen) Halbleitern zu verstehen,
- Messmethoden zu kennen und zu erklären, die zur Untersuchung von Materialien, Schichten, Schichtstapeln und ganzen Bauelementen in der Photovoltaik genutzt werden,
- Solarzellen mit einer Software numerisch zu simulieren.

Description / Content English

The focus of this course will be on the measurement and simulation of semiconductor devices using the solar cell as an example. First, we will therefore establish the fundamentals of solar cell device physics before we will identify relevant physical quantities needed for the description of the solar cell. These physical quantities affecting solar cell efficiency are for instance the charge carrier lifetime and mobility as well as the absorption coefficient. In the following, we will then introduce and explain methods to measure these physical quantities. Numerical simulations are often useful to better interpret certain measurement techniques and to better understand the influence of parameters like lifetime and mobility on the current-voltage curve and the efficiency of a solar cell. The course finishes with an introduction into focus areas of current research like printable solar cells and perovskite-based solar cells.

The course is intended for both, students that have already attended the course Phovoltaics by Dr. Benson and for students that have not or not yet attended this course.

Learning objectives / skills English

The students will be able:

- to explain the working principle of a solar cell
- to understand and use band diagrams and quasi-Fermi levels in the dark and under illumination
- to explain the difference between ordered (crystalline) and disordered (nanocrystalline and amorphous) semiconductors
- to know and to explain measurement methods used to analyze materials, layers, layer stacks and devices used in photovoltaics
- to numerically simulate solar cells using a software.

Literatur

- Jenny Nelson, The Physics of Solar Cells, Imperial College Press
- Peter Würfel, Physics of Solar Cells, WILEY-VCH
- D. Abou-Ras, T. Kirchartz, U. Rau (Eds.), Advanced Characterization Techniques for Thin-Film Solar Cells, Wiley-VCH

Modulname laut Prüfungsordnung			
Quanteninformationstheorie			
Module title English			
Quantum Information Theory			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Quanteninformationstheorie			
Course title English			
Quantum Information Theory			
Verantwortung	Lehreinheit		
Jung, Peter	ET		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	WiSe	D	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	2		
Studienleistung			
Prüfungsleistung			
Klausur			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch

Die Vorlesung gliedert sich in folgende Themen:

- Hat die universitäre Lehre zu Kommunikationsnetzen und zur Mobilkommunikation eine bedeutende Zukunft? Warum Quanteninformationstheorie? Was ist Kommunikation? Was ist der Unterschied zwischen Information und Entropie? Was sind Quanten?
- Quantenmechanische Grundlagen (Unschärferelation, Interferenz, Messungen in der Quantenmechanik, Verschränkung, warum beobachten wir in der klassischen Physik keine Quanteneffekte, Historisches, Dirac-Notation, Hilbertraum, lineare Operatoren und Observable, Vertauschbarkeit von Operatoren, quantenmechanischer Dichteoperator)
- Einteilchensysteme und Zweiteilchensysteme (Qubits, Bloch-Kugel, Tensoren, Schmidtzerlegung, Zustandsreinigung)
- Wiedergabtreue („Fidelity“) und Spurabstand („Trace Distance“)
- Bellsche Ungleichung
- „No Cloning“
- Quanteninformation und quantenmechanische Informationsübertragung

Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch

1. Verständnis der quantenmechanischen Grundlagen
2. Verständnis der Quanteninformation als Norm

Description / Content English

The lecture is divided into the following topics:

- Do university lectures on communication networks and mobile communication have a significant future? Why quantum information theory? What is communication? What is the difference between information and entropy? What are quanta?
- Quantum mechanical foundations (uncertainty principle, interference, measurements in quantum mechanics, entanglement, why do we not observe quantum effects in classical physics, historical aspects, Dirac notation, Hilbert space, linear operators and observables, commensurable operators, quantum mechanical density operators).
- One-particle systems and two-particle systems (qubits, Bloch sphere, tensors, Schmidt decomposition, state purification)
- Fidelity and trace distance
- Bell's inequality
- „No cloning“ theorem
- Quantum information and quantum mechanical information transfer

Learning objectives / skills English

1. Understanding of quantum mechanical foundations
2. Understanding quantum information as a norm

Literatur

Jung, P.: Einführung in die Quanteninformationstheorie. Düren: Shaker, 2022 (ISBN 978-3-8440-8740-6).

Modulname laut Prüfungsordnung			
Quantenkommunikation			
Module title English			
Quantum Communication			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Quantenkommunikation			
Course title English			
Quantum Communication			
Verantwortung	Lehreinheit		
Jung, Peter	ET		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	SoSe	D	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		
Studienleistung			
Prüfungsleistung			
klausur			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch
Die Vorlesung gliedert sich in folgende Themen:
- Warum Quantenkommunikation? Was ist Kommunikation? Was ist Information? Was sind Quanten?
- Quantenmechanische Grundlagen (Unschärfe, Indeterminismus, Interferenz, Superposition, Verschränkung, Dekohärenz, thermisches Widerstandsrauschen und Schrottrauschen)
- Ausgewählte mathematische Grundlagen (Hilbertraum, Vollständigkeitsrelation, Spektraldarstellung, Unschärferelation, Spur, Tensoren und Tensorprodukt)
- Qubits, Quantengatter und Quantenfourierreihe („quantum Fourier transform“, QFT)
- Quantenkommunikationssystem (Struktur, kohärente Zustände, Quantenteleportation, Quantenkanäle, Quantendetektion)
Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch
1. Verständnis von Unschärferelation, Indeterminismus und Dekohärenz
2. Verständnis der kohärenten Zustände und der Quantendetektion

Description / Content English
The lecture is divided into the following topics:
- Why quantum communications? What is communication? What is information? What are quanta?
- Quantum mechanical basics (uncertainty, indeterminism, interference, superposition, entanglement, decoherence, thermal resistance noise and shot noise)
- Selected mathematical foundations (Hilbert space, completeness relation, spectral representation, uncertainty principle, trace, tensors and tensor product)
- Qubits, quantum gates and quantum Fourier transform (QFT)
- Quantum communication system (structure, coherent states, quantum teleportation, quantum channels, quantum detection)
Learning objectives / skills English

1. Understanding uncertainty, indeterminism and decoherence
2. Understanding coherent states and quantum detection

Literatur

Jung, P.: Einführung in die Quantenkommunikation. Düren: Shaker, 2022 (ISBN 978-3-8440-8768-0).

Modulname laut Prüfungsordnung			
Quantenkommunikation 2			
Module title English			
Quantum Communication 2			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Quantenkommunikation 2			
Course title English			
Quantum Communication 2			
Verantwortung	Lehreinheit		
Jung, Peter	ET		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	SoSe	D	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		
Studienleistung			
Prüfungsleistung			
Klausur			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch
Die Vorlesung gliedert sich in folgende Themen:
- Operatorensummendarstellung nach Kraus
- Quantenkommunikationssystem (Struktur, optimale Quantendetektion, Quantenkanäle)
- Systembeispiele (Bayes-Detektion, MAP-Detektion, „Square Root Measurement“, ML-Detektion)
Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch
1. Verständnis der Krausdarstellung und der Quantenkanäle
2. Verständnis optimaler und nahezu optimaler Quantendetektoren

Description / Content English
The lecture is divided into the following topics:
- Operator sum representation according to Kraus
- Quantum communication system (structure, optimal quantum detection, quantum channels)
- System examples (Bayes detection, MAP detection, square root measurement (SRM), ML detection)
Learning objectives / skills English
1. Understanding the Kraus representation and quantum channels
2. Understanding of optimal and near-optimal quantum detectors

Literatur
Jung, P.: Quantenkommunikation II. Düren: Shaker, 2022 (ISBN 978-3-8440-8807-6).

Modulname laut Prüfungsordnung			
Quantentheorie			
Module title English			
Quantum Theory			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Quantentheorie			
Course title English			
Quantum Theory			
Verantwortung	Lehreinheit		
Osterloh, Andreas	Physik		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	WiSe	D	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	2		
Studienleistung			
Prüfungsleistung			
Klausur			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch

Die Vorlesung beginnt mit einer kurzen Darstellung der fundamentalen Rolle der Quantentheorie in der modernen Physik. Stichworte sind: Quantentheorie des Lichts, Quantentheorie der Materie, Quantenstatistik, Makroquantenphänomene. Die Schrödinger-Gleichung für materielle Teilchen wird motiviert und ihre Konsequenzen an einfachen Beispielen diskutiert (Potentialtopf, Tunneleffekt, harmonischer Oszillator). Ihre Anwendung auf periodische Kristalle wird modellhaft dargestellt (Bloch-Theorem, Kroning-Penny-Modell) und die Bandstruktur der Festkörper physikalisch motiviert. Es wird gezeigt, welche Änderungen auf der Nanoskala aufgrund von Quanteneffekten zu erwarten sind. In der Quantentheorie des Lichts wird die Planck'sche Strahlungsformel behandelt, sowie die Wechselwirkung von Strahlung mit Materie anhand von einfachen Modellen diskutiert. Weitere Konsequenzen der Quantentheorie für die Eigenschaften von Licht werden nach Interesse der Studierenden diskutiert (Photonenstatistik, nicht-klassisches Licht, Verschränkung).

Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch

Die Studierenden sollten Kenntnis erlangen über die grundsätzliche Bedeutung der Quantentheorie für Struktur und Stabilität der Materie. Sie sollen die Schrödinger-Gl. kennen und ihre Lösungen für einfache eindimensionale Probleme ausarbeiten können. Sie sollen die quantenmechanischen Ursachen für die elektronische Bandstruktur verstehen, und die Bedeutung von Quanteneffekten für Nanostrukturen selbst beurteilen können. Ferner sollen sie Grundkenntnisse über die Quantennatur des Lichts erlangen.

Description / Content English

The course starts with a short resume of the fundamental role of quantum theory for modern physics. Keywords are: quantum theory of light and of matter, quantum statistics, macro-quantum phenomena. The Schroedinger equation for elementary particles will be introduced and its physical motivation will be given; its consequences will be worked out for simple examples (particle-in-a-box, tunneling, harmonic oscillator). We will demonstrate the application of quantum theory to periodic crystals (Bloch's theorem) and give a physical motivation for the band structure of solids. Its modification for nanostructures due to the laws of quantum mechanics will be a major focus of this course. The quantum theory of light will cover Planck's formula, and simple models for the interaction of light with matter. Selected futher topics will be discussed on demand (photon statistics, non-classical light, entanglement of photons).

Learning objectives / skills English

The students should know about the fundamental role of quantum theory for the structure and stability of matter. They should be familiar with the Schroedinger equation and should be able to solve it for simple one-dimensional problems. They should be able to explain how the band structure of materials is related to quantum theory, and they should be able to assess and explain the role of quantum effects for nanostructures. They should know about basic aspects of the quantum theory of light.

Literatur

Schwabl, F., Quantenmechanik, Bd. 1, Springer, Berlin & Heidelberg, 1988.

Gasiorowicz, S. , Quantenphysik, Oldenbourg, München, 1999.

Scherz, U., Quantenmechanik- eine Einführung mit Anwendungen auf Atome, Moleküle und Festkörper, Teubner, Stuttgart, 1999.

Haken, H., und Wolf, H.C., Atom- und Quantenphysik, Springer, Berlin & Heidelberg, 1983.

Modulname laut Prüfungsordnung			
Reaktive Strömungen			
Module title English			
Reactive Flows			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Reaktive Strömungen			
Course title English			
Reactive Flows			
Verantwortung	Lehreinheit		
Schulz, Christof	MB		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	WiSe	D	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	2		
Studienleistung			
Prüfungsleistung			
Klausur			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch

Reaktive Strömungen spielen eine große Rolle in technischen Prozessen zur Energiegewinnung und Materialsynthese und werden in zahlreichen technischen Anlagen eingesetzt. Ein zentrales Element ist die Kopplung von Fluidodynamik, chemischer Reaktion sowie Stoff- und Wärmeübergang. Zum Verständnis derartiger Prozesse wird die chemische Thermodynamik und die chemische Kinetik herangezogen. Darüber hinaus ist die Interaktion zwischen Reaktion und Strömung in Gasphasenprozessen mit großem Energieumsatz von großer Bedeutung. Hochtemperaturreaktionen erfordern das Verstehen von Radikalreaktionen und Reaktionsmechanismen.

- 1 Einleitung
- 2 Ergebnisse der chemischen Thermodynamik
- 3 Kinetik homogener und heterogener Reaktionen
- 4 Allgemeine Flammenerscheinungen und verbrennungstechnische Kenngrößen
- 5 Theoretische Beschreibung von reaktiven Strömungen
- 6 Verbrennungswellen in homogenen, vorgemischten Gasen

Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch

Die Studierenden sind in der Lage die thermodynamischen und kinetischen Aspekte von Gasphasenreaktionen bei hohen Temperaturen zu erklären und zu bewerten. Sie lernen typische relevante Anwendungsfelder kennen.

Description / Content English

Reactive flows play a major role in technical processes for energy generation and material synthesis and are used in numerous technical plants. A central element is the coupling of fluid dynamics, chemical reaction and mass and heat transfer. The understanding of these processes strongly relies on chemical thermodynamics and chemical kinetics. The interaction between reaction and fluid flow is of special interest in reactive gas-phase processes with strong energy release. High temperature gas-phase reactions require the fundamental understanding of radical reactions and complex reaction schemes.

- 1 Introduction
- 2 Results of Chemical Thermodynamics
- 3 Kinetics of Homogeneous and Heterogeneous Reactions
- 4 General flame phenomena and parameters of combustion technology
- 5 Theoretical description of reactive flows
- 6 Combustion waves in homogeneous premixed gases

Learning objectives / skills English

The students learn to explain and critically review the thermodynamical and kinetics background of high-temperature gas-phase reactions. They get to know typical application fields.

Literatur

Grundlagen (Thermodynamik, Kinetik): Lehrbücher der Physikalischen Chemie, z.B.
P.W. Atkins, Physikalische Chemie, VCH
Verbrennung // Combustion
J. Warnatz, U. Maas, R.W. Dibble, Verbrennung, Springer, 2001
Chemically Reacting Flow
R.J. Kee, M.E. Coltrin, P. Glarborg; Wiley-Interscience, 2003

Modulname laut Prüfungsordnung			
Regelungstechnik EIT			
Module title English			
Control Engineering EIT			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Regelungstechnik EIT			
Course title English			
Control Engineering EIT			
Verantwortung	Lehreinheit		
Ding, Steven	ET		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	SoSe	D	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	2		
Studienleistung			
Prüfungsleistung			
Klausur			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch
Die Lehrveranstaltung besteht aus den folgenden Kapiteln:
1. Einführung
2. Modellbildung dynamischer Systeme
3. Stabilitätsuntersuchung
4. Synthese von Regelkreisen
5. Verfahren zum Reglerentwurf
6. Synthese durch Veränderung der Regelungsstruktur
Im ersten Teil wird die klassische Regelungstechnik fortgesetzt. Für den Reglerentwurf werden empirische Einstellregeln, Gütekriterien im Zeitbereich und Methoden im Frequenzbereich (Polkompensation, Betragsoptimum, symmetrisches Optimum) behandelt. Dann werden in der Praxis häufig verwendete strukturelle Varianten des Regelkreises, wie z.B. Split-Range-Regelung, Verhältnisregelung, Regler mit zwei Freiheitsgraden (Vorfilter und Vorwärtssteuerung), Störgrößenaufschaltung, Kaskadenregelung, Smith-Prädiktorregler für Totzeitstrecken u.a. betrachtet.
Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch
Die Studierenden sollen Grundfunktionen automatisierungstechnischer Systeme analysieren können. Sie sollen das Verhalten von linearen zeitinvarianten dynamischen Systemen und Regelkreisen im Zeit- und Frequenzbereich beschreiben und analysieren können und deren Stabilität untersuchen können. Ferner sollen sie in der Lage sein, einfache Regler zu konzipieren und applizieren.

Description / Content English

The lecture consists of the following chapters.

- 1. Introduction
- 2. Modelling of dynamic systems
- 3. Stability study
- 4. Synthesis of feedback control systems
- 5. Design methods
- 6. Variations of control structures

Learning objectives / skills English

The students should be able to analyze basic components in automatic control systems. They should be able to describe and analyze linear time-invariant dynamic systems and closed control loops and to check the stability. They should further be able to design simple controllers and parameterized them.

Literatur

- [1] S. X. Ding, Vorlesungsskript „Einführung in die Automatisierungstechnik“ (wird jährlich aktualisiert, per Download verfügbar).
- [2] H. Unbehauen, Regelungstechnik 1. Vieweg, Braunschweig u.a., 13. Aufl. 2005.
- [3] G.F. Franklin und J. D. Powell et al.: Feedback Control of Dynamic Systems. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, 5th ed. 2006.
- [4] J. Lunze, Regelungstechnik 1, 2. Auflage, Springer-Verlage, 1999.

Modulname laut Prüfungsordnung			
Repetitorium der Maxwellschen Theorie			
Module title English			
Revision Course of Maxwell's Theory			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Repetitorium der Maxwellschen Theorie			
Course title English			
Revision Course of Maxwell's Theory			
Verantwortung	Lehreinheit		
Waldow, Peter	ET		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	SoSe	D	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		
Studienleistung			
Prüfungsleistung			
Klausur			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch
Die Vorlesung dient u.a. der Vorbereitung und Begleitung der Theoretischen Elektrotechnik. Sie versucht den Spagat zwischen mathematischer Strenge und physikalischer Intuition zu schließen. Die Verzahnung zwischen Physik und Mathematik steht im Mittelpunkt der Veranstaltung. In mehreren Lektionen wird die Vektoranalysis und ihre Anwendung auf die Berechnung elektromagnetischer Felder behandelt. Die Darstellung der Maxwellschen Gleichung unter Verwendung des Nabla-Operators (differentielle Form) steht im Mittelpunkt Neben der Theorie erfolgt die Vertiefung anhand anschaulicher Beispiele und Musteraufgaben.
Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch
Die Teilnehmer sollen lernen, - welche mathematischen Methoden bei der elektromagnetischen Feldtheorie angewendet werden - die Unterscheidung nach statischen, stationären und dynamischen Vorgängen zu treffen - wie die Unterscheidung der differenziellen/integralen Formulierung der Maxwellschen Gleichungen erfolgt - welche Methode am Besten zur Beschreibung spezieller Problemklassen geeignet ist

Description / Content English
This course is designed as a preparation of the theoretical electrical engineering. Mathematical methods on the one hand side in contrast to physical intuition on the other hand side are in the focus of this course. In several lessons we will introduce vector analysis and its application to the calculation of electromagnetic fields. Formulation of Maxwell's equation by the nabla operator is emphasized. The theory is supplemented by a lot of illustrative examples and exercises.
Learning objectives / skills English

Participants will learn

- how mathematical methods are applied in electromagnetic field theory
- the distinction between static, stationary and dynamic processes
- how to distinguish the differential / integral formulation of Maxwell's equations
- which method is best used to describe specific problem classes

Literatur

1. Ingo Wolff, Grundlagen und Anwendungen der Maxwellschen Theorie I und II: Ein Repetitorium (VDI-Buch) (Deutsch) Taschenbuch – 13. März 1996; 294 Seiten, Verlag: Springer; Auflage: 3., überarb. (13. März 1996); ISBN-10: 3540621776, ISBN-13: 978-3540621775
2. Silvanus P. Thompson, Höhere Mathematik - und doch verständlich : Eine leichtfassl. Einf. in d. Differential- u. Integralrechnung Nachdruck der 12. Auflage, Deutsch Taschenbücher, 1988, ISBN:978-3-87144-739-6
3. Murray R. Spiegel, Höhere Mathematik für Ingenieure und Naturwissenschaftler. Theorie und Anwendung (Schaum's Outline) - 950 ausführliche Lösungsbeispiele (Englisch) Taschenbuch – Ungekürzte Ausgabe, 1. Januar 1978 416 Seiten, Verlag: Schaum Outline Series (1. Januar 1978) ISBN-10: 0070920230, ISBN-13: 978-0070920231
4. Murray R. Spiegel, Vektoranalysis. Theorie und Anwendung. Mit einer Einführung in die Tensoranalysis. (Schaum's Outline) (Englisch) Taschenbuch – 1. Januar 1977 240 Seiten, Verlag: McGraw-Hill, Maidenh. (1. Januar 1977) ISBN-10: 007092015X, ISBN-13: 978-0070920156
5. Richard Demmig und Gudrun Demmig, Repetitorien der Mathematik, versch. Bände,
 - Vektorrechnung I und II
 - Komplexe Zahlen I und II
 - Funktionen mehrerer Veränderlicher
 - Integralrechnung
 - Differentialgleichungen
 - Matrizen und Determinanten(jeweils separate Bände, z.T. nur antiquarisch erhältlich)
Verlag: Demmig (1987) ISBN-10: 3921092604, ISBN-13: 978-3921092606
6. Karl Küpfmüller Theoretische Elektrotechnik: Elektromagnetische Felder, Schaltungen und elektronische Bauelemente (Deutsch) Taschenbuch – 29. August 2017, 824 Seiten, Verlag: Springer Vieweg; Auflage: 20., aktualisierte Aufl. 2017 (29. August 2017) ISBN-10: 3662548364, ISBN-13: 978-3662548363
7. Horst Rollnick, Physikalische und mathematische Grundlagen der Elektrodynamik. Taschenbuch – 1. Januar 1976 209 Seiten, Verlag: Bibliographisches Institut, Mannheim; Auflage: 1. (1976) ISBN-10: 3411002972, ISBN-13: 978-3411002979
8. Arnold Sommerfeld, Vorlesungen über Theoretische Physik, Bd.3, Elektrodynamik (Deutsch) Taschenbuch – 1. Januar 1988 343 Seiten, Verlag: Harri Deutsch; Auflage: (Nachdr. d. 4. Aufl. 1988) (1. Januar 1988) ISBN-10: 387144376X, ISBN-13: 978-3871443763
9. Richard P. Feynman, The Feynman Lectures on Physics, Vol. II: The New Millennium Edition: Mainly Electromagnetism and Matter (Feynman Lectures on Physics (Paperback)) (Englisch) Taschenbuch – 4. Oktober 2011 592 Seiten, Verlag: Basic Books; Auflage: New Millenium (4. Oktober 2011) ISBN-10: 0465024947, ISBN-13: 978-0465024940
10. G. Mierdel und S. Wagner, Aufgaben zur theoretischen Elektrotechnik. Gebundene Ausgabe – 1. Januar 1968, VEB Technik, ASIN: B00B00HWOA (nur antiquarisch erhältlich)

Modulname laut Prüfungsordnung			
Rheologie und Rheometrie von Flüssigkeiten und Suspensionen			
Module title English			
Rheology and Rheometry of Liquids and Suspensions and Suspensions			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Rheologie und Rheometrie von Flüssigkeiten und Suspensionen			
Course title English			
Rheology and Rheometry of Liquids and Suspensions and Suspensions			
Verantwortung	Lehreinheit		
Hammad, Mohaned	MB		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	SoSe	D	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1	1	
Studienleistung			
Antestat, Versuchsdurchführung Praktikum			
Prüfungsleistung			
Mündliche Prüfung			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch
Kolloidale Produkte begegnen uns täglich im Alltag und sind essentieller Bestandteil neuer und nachhaltiger Technologien. Für deren Beherrschung ist ein grundlegendes Verständnis von deren Fließverhalten erforderlich.
Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch
Studierende verstehen nach dem Besuch der Vorlesung hydrodynamische Effekte im Fließverhalten nicht-kolloidaler Teilchen und können ausgehend von diesen das Fließverhalten harter Kugeln sowie das Fließverhalten realer Dispersionen, d.h. in Anwesenheit von repulsiven und attraktiven Wechselwirkungen interpretieren. Grundlagen zu zeitabhängigen rheologischen Effekten (Thixotropie) sind bekannt. Die Studierenden kennen die zugehörigen Messmethoden und können diese hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile sowie hinsichtlich der Systemspezifischen Randbedingungen miteinander vergleichen.

Description / Content English
Colloidal products are omnipresent in our daily life but also essential for new and sustainable technologies. For mastering them, an in-depth understanding of their flow behaviour is required.
Learning objectives / skills English
After visiting the lecture, students understand hydrodynamic effects in the flow of non-colloidal particles and can use this as starting point to interpret the flow of hard spheres and real dispersions, i.e., in the presence of repulsive and attractive interactions. Basics of time-dependent rheological effects (thixotropy) are known. The students know about the related measurement techniques and are able to discuss them with regard to their advantages and disadvantages as well as with regard to their system-specific boundary conditions.

Literatur

- Mewis, N.J. Wagner: Colloidal suspension rheology, Cambridge University Press, 2012
Irgens: Rheology and Non-Newtonian Fluids, Springer, 2014
Lerche, R. Miller, M. Schäffler: Dispersionseigenschaften 2D-Rheologie, 3D-Rheologie, Stabilität, Eigenverlag Berlin-Potsdam, 2015
Worthhoff: Technische Rheologie, WILEY-VCH, Weinheim
G. Mezger: Das Rheologiehandbuch, Vincentz Network, 2016
A. Osswald: Polymer Rheology, Hanser Publishers, Munich
N. Israelachvili: Intermolecular and surface forces, Academic press, 2011

Modulname laut Prüfungsordnung			
Ringvorlesung Thermoelektrik			
Module title English			
Lecture Series Thermoelectrics			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Ringvorlesung Thermoelektrik			
Course title English			
Lecture Series Thermoelectrics			
Verantwortung	Lehreinheit		
Schmeichel, Roland	ET		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	WiSe	D	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	2		
Studienleistung			
Prüfungsleistung			
Mündliche Prüfung			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch

Die Veranstaltung führt zunächst die drei thermoelektrischen Grundphänomene (Seebeck-Effekt, Peltier-Effekt, Thomson-Effekt) ein und zeigt aus thermodynamischen Überlegungen deren Verknüpfung (Kelvin-Relation). Weiterhin wird die Effizienz einer thermoelektrischen Energieumwandlung ermittelt und daraus die Bedeutung der Gütezahl ZT und der thermischen und elektrischen Anpassung abgeleitet. Messmethoden für die wichtigen thermoelektrischen Größen (Wärmeleitfähigkeit, Seebeck-Koeffizient, elektrische Leitfähigkeit) werden vorgestellt und bezüglich ihrer Unsicherheiten diskutiert. In einem Theorie-Teil werden der Onsager Formalismus und die Boltzmannsche Transporttheorie sowie der Phononentransport eingeführt. Daraus werden Konzepte für das Materialdesign, sowohl bezüglich der thermischen als auch bezüglich der elektronischen Eigenschaften abgeleitet und gängige thermoelektrische Materialklassen erläutert. Syntheseverfahren mit besonderem Bezug zu Nanomaterialien werden vorgestellt. Abschließend werden Grenzflächenphänomene insbesondere für die Phonenstreuung zunächst theoretisch vorgestellt und anschließend ihre messtechnische Überprüfung dargestellt.

Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch

Die Studierenden sind in der Lage:

- thermoelektrische Phänomene zu erklären
- elektrische und Wärmeleitfähigkeit, Seebeck- und Peltier-Koeffizient zu definieren
- den Gütefaktor ZT und die Effizienz eines thermoelektrischen Generators zu bestimmen
- die Grundzüge der Onsagerschen Transporttheorie sowie die Kelvin-Beziehung zu erläutern
- die Boltzmann-Gleichung in der Relaxationszeitnäherung herzuleiten
- den elektrischen und Gitterbeitrag zur Wärmeleitfähigkeit im Halbleiter zu diskutieren
- messtechnische Konzepte zur Bestimmung der Transport-Koeffizienten anzuwenden
- materialwissenschaftliche Optimierungsgesichtspunkte anzuwenden
- den Einsatz von Nanopartikeln für thermoelektrische Anwendungen zu erläutern
- Effizienzsteigerung durch Reduzierung der Dimensionalität und Energiefilterung zu diskutieren
- den Einfluss von Grenzflächen auf elektrischen und Wärmewiderstand zu verstehen

Description / Content English

The lecture introduces the three thermoelectric phenomena (Seebeck effect, Peltier effect, Thomson effect) and shows their relation (Kelvin relation) based on thermodynamic considerations. Furthermore, the efficiency of a thermoelectric energy conversion is determined and the significance of the Figure of Merit ZT and the thermal and electrical matching condition is derived from it. Measurement methods for the important thermoelectric quantities (thermal conductivity, Seebeck coefficient, electrical conductivity) are presented and discussed with regard to their uncertainties. In a theory part, Onsager formalism and Boltzmann's transport theory as well as phonon transport are introduced. From this, concepts for material design, both with regard to thermal and electronic properties, are derived and common thermoelectric material classes are explained. Synthesis methods with special reference to nanomaterials are presented. Finally, interfacial phenomena, especially for phon scattering, are presented theoretically and then their metrological verification is presented.

Learning objectives / skills English

Students are able to:

- Explain the thermoelectric phenomena
- Define electrical conductivity, thermal conductivity, and the Seebeck and Peltier coefficients
- Determine the Figure of Merit ZT and the efficiency of thermoelectric generators
- Explain the basics of Onsager's Transport Theory and Kelvin Relations
- Derive Boltzmann equation with the relaxation time approximation
- Discuss electrical and lattice contribution to thermal conductivity in semiconductors
- Apply measurement concepts to determine transport coefficients
- Understand materials science optimization
- Explain the use of nanoparticles for thermoelectric applications
- Discuss the increase in efficiency by reducing dimensionality and energy filtering
- Understand the influence of interfaces in electrical and thermal resistance

Literatur

D. M. Rowe (ed.), Thermoelectrics Handbook: Macro to Nano. Taylor & Francis Inc. (2006).

Modulname laut Prüfungsordnung			
Strömungsdynamik			
Module title English			
Fluid Dynamics			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Strömungsdynamik			
Course title English			
Fluid Dynamics			
Verantwortung	Lehreinheit		
Kempf, Andreas Markus	MB		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	SoSe	D	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	2		
Studienleistung			
Prüfungsleistung			
Klausur			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch
Die Vorlesung vermittelt Wissen über kontinuumsmechanische Modelle der Strömungsmechanik, ihre Grundlagen und vereinfachende Annahmen. Folgende Inhalte werden vermittelt:
1. Kinematik der Fluide und Transporttheoreme
2. Erhaltungsgleichungen von Masse, Impuls und Energie
3. Ähnlichkeitstheorie der Strömungsmechanik
4. Beschreibung viskoser, inkompressibler Strömungen
5. Schleichende Strömung
6. Potentialströmung
7. Grenzschichttheorie und Einführung in turbulente Strömungen
8. Eindimensionale Gasdynamik
Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch
Studenten die die Vorlesung erfolgreich besucht haben sind in der Lage:
1. Komplexe strömungsmechanische Probleme zu analysieren und mathematisch zu beschreiben
2. Strömungsmechanische Probleme zu klassifizieren und auf (vereinfachte) Modelle zu übertragen
3. Strömungsmechanische Probleme mittels der Potentialtheorie zu lösen
4. Reibungseinflüsse in Strömungen richtig einzuschätzen und richtigen Modellen zuzuordnen und ggfs. zu lösen
5. Gasdynamische Probleme zu erkennen und für eindimensionale Probleme mathematisch zu beschreiben, Druck- und Wärmeverluste zu berechnen

Description / Content English

The lecture teaches the continuum mechanical models of fluid mechanics, their basics and simplifying assumptions. Main topics are:

1. Kinematics of fluids and transport theorem
2. Konservation equations for mass, momentum and energy
3. Similarity of flows
4. Viscous, incompressible flows
5. Creeping flow
6. Potential flow theory
7. Boundary layer theory and introduction to turbulent flows
8. One-dimensional stream tube theory of compressible flows

Learning objectives / skills English

Students which attended the lecture are capable:

1. To analyze complex fluid mechanical problems and to find an adequate mathematical description
2. To classify fluid mechanical problems and to apply simplifying model assumptions
3. To solve fluid mechanical problems using the potential theory
4. To correctly estimate viscous effects and to apply suitable rheological models
5. To recognize the effects of compressibility and to find mathematical description for one-dimensional flows; To calculate heat and pressure losses in viscous, compressible flows

Literatur

Über Moodle zur Verfügung gestelltes Material

Modulname laut Prüfungsordnung			
Terahertz Technology			
Module title English			
Terahertz Technology			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Terahertz Technology			
Course title English			
Terahertz Technology			
Verantwortung	Lehreinheit		
Balzer, Jan	ET		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	WiSe	E	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2		1	1
Studienleistung			
Antestat, Versuchsdurchführung Praktikum			
Prüfungsleistung			
Mündliche Prüfung			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			

Beschreibung / Inhalt Deutsch
Elektromagnetische Strahlung mit einer Frequenz zwischen 0.3 THz und 10 THz wird häufig als „THz-Strahlung“ bezeichnet. Die THz-Strahlung ist im elektromagnetischen Spektrum zwischen Mikrowellen- und Infrarotstrahlung angesiedelt und Gegenstand aktueller Forschung. Der Spektralbereich wird gelegentlich auch als „THz-Lücke“ bezeichnet, da die Frequenzen nur schwer mit rein elektrischen Verfahren zu erreichen sind (Frequenzen zu hoch) und klassische optische Verfahren ebenfalls an ihre Grenzen stoßen (notwendige Bandlückenenergie zu klein). Trotz dieser Herausforderung konnten bereits viele Anwendungen wie Datenübertragung, zerstörungsfreie Materialuntersuchungen und Grundlagenforschung identifiziert werden.
Die Vorlesung wird folgende Bereiche abdecken:
- Fundamentale Wechselwirkung von THz-Strahlung mit Materie
- Erzeugung und Detektion von breitbandigen THz-Pulsen
- Dauerstrich THz-Quellen und Detektoren
- THz-Optiken
- THz-Zeitbereichsspektroskopie
- Ausgewählte Anwendungen von THz-Strahlung
Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch
Die Studenten erlernen Grundlagen zur Erzeugung und Detektion von elektromagnetischer Strahlung im Frequenzbereich zwischen 0,3 THz und 10 THz. Des Weiteren werden zukünftige Anwendungen diskutiert. Beispiele sind hier zerstörungsfreie Materialprüfung, Datenübertragung und Beispiele aus der Grundlagenforschung. Während des integrierten „Journal Clubs“ diskutieren die Studenten aktuelle Forschungsergebnisse aus dem Bereich der THz-Technologie.

Description / Content English

Electromagnetic radiation with a frequency between 0.3 THz and 10 THz is often referred as „THz radiation“. THz radiation is located between microwave radiation and far infrared radiation and is rather unexplored. It is often called „THz Gap“ since the frequencies are difficult to realize with optic approaches (necessary energy band gap too small) and electric approaches (frequency too high). However, many applications ranging from communications over non-destructive testing to fundamental research have been identified in this frequency range.

The lecture will cover the following topics:

- Basics of terahertz interaction with matter
- Generation and detection of broadband terahertz pulses
- Continuous wave terahertz sources and detectors
- Terahertz optics
- Terahertz time-domain spectroscopy
- Selected applications of terahertz radiation

Learning objectives / skills English

The students get insight into the generation and detection of electromagnetic radiation in the frequency range between 0.3 THz and 10 THz. Further, future applications will be discussed. Examples are here non-destructive testing, communications, and fundamental research. During the included journal club, the students will learn how to find, read and discuss the latest literature about THz technology.

Literatur

Xu, Jingzhou, Zhang, X.-C. „Introduction to THz Wave Photonics“, Springer, 2010

Lee, Yun-Shik „Principles of Terahertz Science and Technology“, Springer, 2009

Bründermann, Erik, Hübers, Heinz-Wilhelm, Kimmitt, Maurice FitzGerald „Terahertz Technologies“, Springer, 2012

Modulname laut Prüfungsordnung			
Theoretische Elektrotechnik 1			
Module title English			
Electromagnetic Field Theory 1			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Theoretische Elektrotechnik 1			
Course title English			
Electromagnetic Field Theory 1			
Verantwortung	Lehreinheit		
Erni, Daniel	ET		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
6	WiSe	D	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	2		
Studienleistung			
Prüfungsleistung			
Klausur			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			
Beschreibung / Inhalt Deutsch			

„Theoretische Elektrotechnik“ ist eine Veranstaltung, welche das physikalische Verständnis von elektromagnetischen Feldern vertiefen soll. Sie bildet zudem eine Schlüsselqualifikation für andere Bereiche der Elektrotechnik. In der Energietechnik sind es beispielsweise die Gebiete der Hochspannungstechnik, elektrische Maschinen und im Allgemeinen die der Energieversorgung. Die Vorlesung Theoretische Elektrotechnik stellt in ihrer Gesamtheit aber auch eine Erweiterung des Lehrinhaltes in Richtung der klassischen Elektrodynamik dar, welche wiederum eine Brückenfunktion erfüllt, z.B. für das Gebiet der Hochfrequenztechnik, der Halbleiterelektronik und für die modernen Themenstellungen aus der Nanophotonik und Nanooptik.

Die Veranstaltung „Theoretische Elektrotechnik 1“ umfasst die folgenden Themenstellungen:

(1) Elektrostatik:

- Das elektrische Feld: Feldstärke und Flussdichte
- Die Grundgleichungen der Elektrostatik (Satz von Gauss, Wirbelfreiheit)
- Das elektrostatische Potenzial
- Kapazitätsberechnungen
- Einfluss des Materials
- Grenzbedingungen
- Energie und Kräfte
- Das elektrostatische Randwertproblem
- Analytische, grafische, semi-analytische, direkte und iterative numerische Lösungsverfahren

(2) Das stationäre elektrische Strömungsfeld:

- Strom und Stromdichte
- Die Grundgleichungen des stationären Strömungsfeldes (Kontinuitätsgleichung, Gesetz von Ohm)
- Grenzbedingungen
- Leistungsdichte
- Widerstandsberechnungen
- Das Randwertproblem des stationären Strömungsfeldes
- Dualität zur Elektrostatik

Im Verlauf der Vorlesung werden auch die wichtigsten Elemente der Vektorrechnung, der Vektoranalysis, der Koordinatensysteme und der Tensorrechnung erarbeitet.

Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch

Die Studierenden sind in der Lage,

- Randwertprobleme aus der Elektrostatik selbstständig zu lösen,
- Randwertprobleme des stationären Strömungsfeldes selbstständig zu lösen,
- hierzu analytische oder numerische Berechnungsverfahren einzusetzen,
- das Verhalten der elektrischen Felder für den Entwurf zukünftiger Bauteile richtig einzuschätzen,
- stationäre Strömungsfelder in Leitern zu verstehen und deren Verhalten quantitativ zu bewerten,
- die Vektorrechnung und die Vektoranalysis im gegebenen Kontext formal korrekt einzusetzen.

Description / Content English

The course „Theoretische Elektrotechnik“ is aimed towards a profound physical understanding of electromagnetic fields. It represents a key qualification in order to bridge the gap to other realms of electrical engineering, such as high-voltage engineering, electrical engines, and energy transmission. The course as a whole represents an extension towards classical electrodynamics, addressing areas like microwave engineering, solid state electronics, and advanced issues in the framework of nanosciences, such as nanophotonics and nanooptics.

The lecture „Theoretische Elektrotechnik 1“ encompasses the following topics:

(1) Electrostatics:

- Electric field and electric flux density
- The fundamental equations (Gauss law, conservative fields)
- The electrostatic potential
- The general theory of capacitance
- Electrostatic field in material media
- Boundary conditions
- Energy and forces
- The electrostatic boundary value problem
- Analytical, graphical, semi-analytical, direct, and iterative numerical solution methods

(2) Stationary electric fields in conducting media:

- Current and current density
- The fundamental equations (continuity equation, Ohm's law)
- Boundary conditions
- Power density
- Calculation of the resistance
- The stationary boundary value problem
- Duality to electrostatics

The course also covers the fundamentals of vector calculus, vector analysis, coordinate systems, and some elements of tensor calculus.

Learning objectives / skills English

Based on this course, the students are capable of

- solving an electrostatic boundary problem while using either analytical or numerical methodologies,
- correctly evaluating the behavior of electrostatic field according to their appearance in technical building blocks and systems,
- understanding the underlying mechanisms of stationary current , and to provide quantitative measures for their behavior,
- mastering vector calculus, vector analysis, and to correctly apply these formalisms in the corresponding context of application.

Literatur

- Pascal Leuchtmann, Einführung in die elektromagnetische Feldtheorie. München: Pearson Studium, 2005.
- Ingo Wolff, Maxwellsche Theorie - Grundlagen und Anwendung. Band 1: Elektrostatik. Aachen: Verlagsbuchhandlung Dr. Wolff, 2005.
- Ingo Wolff, Maxwellsche Theorie - Grundlagen und Anwendung. Band 2: Strömungsfelder, Magnetfelder, Wellenfelder. Aachen: Verlagsbuchhandlung Dr. Wolff, 2007.
- David J. Griffiths, Introduction to Electrodynamics, (3rd. ed). San Francisco: Pearson, 2008.
- David J. Griffiths, Elektrodynamik - Eine Einführung, (3. Aufl.). München: Pearson Studium, 2011.
- Günther Lehner, Elektromagnetische Feldtheorie – für Ingenieure und Physiker. Berlin: Springer Verlag, 2006.
- Heino Henke, Elektromagnetische Felder – Theorie und Anwendungen, (3. Aufl.). Berlin: Springer Verlag, 2007.
- Julius Adams Stratton, Electromagnetic Theory. Hoboken: John Wiley & Sons / IEEE Press, 2007.
- Melvin Schwartz, Principles of Electrodynamics. New York: Dover Publications Inc., 1988.
- Gottlieb Strassacker, Rotation, Divergenz und Gradient - Leicht verständliche Einführung in die Elektromagnetische Feldtheorie. Wiesbaden: Teubner Verlag, 2006.
- Andrew Zangwill, Modern Electrodynamics. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

Modulname laut Prüfungsordnung			
Theoretische Elektrotechnik 2			
Module title English			
Electromagnetic Field Theory 2			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Theoretische Elektrotechnik 2			
Course title English			
Electromagnetic Field Theory 2			
Verantwortung	Lehreinheit		
Erni, Daniel	ET		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
6	SoSe	D	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	2		
Studienleistung			
Prüfungsleistung			
Klausur			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			
Beschreibung / Inhalt Deutsch			

„Theoretische Elektrotechnik“ ist eine Veranstaltung, welche das physikalische Verständnis von elektromagnetischen Feldern vertiefen soll. Sie bildet zudem eine Schlüsselqualifikation für andere Bereiche der Elektrotechnik. In der Energietechnik sind es beispielsweise die Gebiete der Hochspannungstechnik, elektrische Maschinen und im Allgemeinen die der Energieversorgung. Die Vorlesung Theoretische Elektrotechnik stellt in ihrer Gesamtheit aber auch eine Erweiterung des Lehrinhaltes in Richtung der klassischen Elektrodynamik dar, welche wiederum eine Brückenfunktion erfüllt, z.B. für das Gebiet der Hochfrequenztechnik, der Nachrichtenübertragung, der Halbleiterelektronik und für die modernen Themenstellungen aus der Nanophotonik und Nanooptik.

In der Veranstaltung „Theoretische Elektrotechnik 2“ werden die folgenden Themenstellungen behandelt:

(1) Magnetostatik:

- Das magnetische Feld: Feldstärke und Flussdichte
- Die Grundgleichungen der Magnetostatik (Biot-Savartsches Gesetz, Durchflutungsgesetz)
- Magnetische Potenziale
- Einfluss des Materials
- Grenzbedingungen
- Der magnetische Fluss

(2) Quasistationäre Felder:

- Wirkung zeitveränderlicher Felder (Induktionsgesetz)
- Die Induktivität
- Energie und Kräfte
- Der Verschiebungsstrom
- Grundgleichungen elektromagnetischer Felder (Maxwell-Gleichungen)

(3) Die elektromagnetische Felddiffusion:

- Zeitharmonische Felder
- Elektro-Quasistatik und Magneto-Quasistatik
- Die Diffusionsgleichung
- Skin-Effekt, Abschirmung, Stromverdrängung und Wirbelströme.

(4) Schnellveränderliche Felder:

- Elektromagnetische Wellenfelder
- Energie und Impulserhaltung (Poyntingscher Satz, elektromagnetischer Spannungstensor)
- Elektromagnetische Strahlungsquellen
- Retardierte Potenziale
- Ebene Wellen
- Wellenleitermoden und Strahlungsmoden
- Polarisation und Dispersion

Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch

Die Studierenden sind in der Lage,

- elektromagnetische Felder in ihrer Integral- bzw. Differentialform anzugeben,
- magnetische Systeme durch magnetische Ladungen und magnetische Ströme zu modellieren,
- eine elektromagnetische Abschirmung zu konzipieren,
- Felder mit harmonischer Zeitabhängigkeit zu verstehen und anzuwenden,
- Strahlungsfelder mathematisch physikalisch korrekt zu formulieren,
- Das raum-zeitliche Verhalten von Strahlungsfeldern in Bauelementen und Systemen richtig einzuschätzen,
- unterschiedliche Wellenleiterstrukturen nach deren Zwecksetzung zu bewerten.

Description / Content English

The course „Theoretische Elektrotechnik“ is aimed towards a profound physical understanding of electromagnetic fields. It represents a key qualification in order to bridge the gap to other realms of electrical engineering, such as e.g. high-voltage engineering, electrical engines, and energy transmission. The course as a whole represents an extension towards classical electrodynamics addressing areas like microwave engineering, communication systems, solid state electronics and advanced issues in the framework of nanosciences, such as e.g. nanophotonics and nano optics.

The lecture „Theoretische Elektrotechnik 2“ addresses the following topics:

(1) Magnetostatics:

- Magnetic field and magnetic flux density
- The fundamental equations (Biot-Savart law, Ampere's law)
- Magnetic potentials
- Magnetic fields in material media
- Boundary conditions
- Magnetic flux

(2) Slowly-varying fields:

- Electromagnetic induction (Faraday's law)
- The inductance
- Energy and forces
- The displacement current
- Fundamental laws of electromagnetic fields (Maxwell's equations)

(3) Electromagnetic field diffusion:

- Timeharmonic fields
- Electro-quasistatics and Magneto-quasistatics
- Diffusion equation
- Skin effect, shielding, current displacement, and eddy currents.

(4) Electrodynamic fields:

- Electromagnetic radiation
- Energy and momentum conservation (Poynting theorem, electromagnetic stress tensor)
- Radiation sources
- Retarded potentials
- Plane waves
- Waveguide modes and radiation modes
- Polarization and dispersion

Learning objectives / skills English

Based on this course, the students are able

- to express electromagnetic fields in both their differential and their integral representation,
- to model magnetostatic systems based on magnetic currents and magnetic charges,
- to design electromagnetic shielding applications,
- to understand time harmonic fields and to apply this concept in the corresponding technical context,
- to provide mathematical formulations for radiation fields,
- to correctly evaluate spatio-temporal behavior of radiation fields within building blocks and systems,
- to validate different waveguide structures according to the intended application.

Literatur

- Pascal Leuchtmann, Einführung in die elektromagnetische Feldtheorie, München: Pearson Studium, 2005.
- Ingo Wolff, Maxwellsche Theorie - Grundlagen und Anwendung. Band 1: Elektrostatik, Aachen: Verlagsbuchhandlung Dr. Wolff, 2005.
- Ingo Wolff, Maxwellsche Theorie - Grundlagen und Anwendung. Band 2: Strömungsfelder, Magnetfelder, Wellenfelder, Aachen: Verlagsbuchhandlung Dr. Wolff, 2007.
- David J. Griffiths, Introduction to Electrodynamics, (3rd. ed), San Francisco: Pearson, 2008.
- David J. Griffiths, Elektrodynamik - Eine Einführung, (3. Aufl.), München: Pearson Studium, 2011.
- Günther Lehner, Elektromagnetische Feldtheorie – für Ingenieure und Physiker, Berlin: Springer Verlag, 2006.
- Heino Henke, Elektromagnetische Felder – Theorie und Anwendungen, (3. Aufl.), Berlin: Springer Verlag, 2007.
- Julius Adams Stratton, Electromagnetic Theory, Hoboken: John Wiley & Sons / IEEE Press, 2007.
- Melvin Schwartz, Principles of Electrodynamics, New York: Dover Publications Inc., 1988.
- Gottlieb Strassacker, Rotation, Divergenz und Gradient - Leicht verständliche Einführung in die Elektromagnetische Feldtheorie, Wiesbaden: Teubner Verlag, 2006.
- Andrew Zangwill, Modern Electrodynamics, Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

Modulname laut Prüfungsordnung			
Thermo-electric Materials and Systems			
Module title English			
Thermo-electric Materials and Systems			
Kursname laut Prüfungsordnung			
Thermo-electric Materials and Systems			
Course title English			
Thermo-electric Materials and Systems			
Verantwortung	Lehreinheit		
de Boor, Johannes	ET		
Kreditpunkte	Turnus	Sprache	
5	SoSe	E	
SWS Vorlesung	SWS Übung	SWS Praktikum/Projekt	SWS Seminar
2	1		1
Studienleistung			
Prüfungsleistung			
Mündliche Prüfung			
Teilnahmevoraussetzungen an Prüfung			
Beschreibung / Inhalt Deutsch			

Inhalt der Vorlesung sind thermoelektrische Materialien und Systeme; diese können für die Gewinnung von Strom aus Wärme oder Temperaturregulierung verwendet werden. Ausgehend von den grundlegenden thermoelektrischen Effekten und thermodynamischen Zusammenhängen werden verschiedene Aspekte thermoelektrischer Forschung vorgestellt und in Zusammenhang gebracht. Diese umfassen u.a.:

Typische thermoelektrische Materialien und ihre Herstellung

Fertigung von thermoelektrischen Generatoren und Kühlern

Kontaktentwicklung für thermoelektrische Bauteile

Synthese-Mikrostruktur-Funktionseigenschaften Zusammenhänge

Beschreibung und Modellierung thermoelektrischer Bauteile in verschiedenen Komplexitäten: Einfluss von

Kontaktwiderständen, Effekte der Temperaturabhängigkeit von Materialeigenschaften

Messtechnik für thermoelektrische Materialien und Bauteile

Auslegung thermoelektrischer Bauteile für verschiedene Anwendungsgebiete (Raumsonden, Automotive, Gesundheitswesen)

Die Vorlesung ist ausgesprochen interdisziplinär und beinhaltet Aspekte der Halbleiterphysik, der Festkörperelektronik, der Thermodynamik, aber auch der Fertigungstechnik und Materialwissenschaft und Messtechnik.

Die grundlegenden Vorlesungsinhalte werden durch Anwendungsbeispiele ergänzt, in denen auch Systemaspekte thematisiert werden.

Eine Teilnahme an der Ringvorlesung Thermoelektrik ist vorteilhaft.

Ziel der Übung „Advanced modelling of thermoelectric transport“ ist die praktische Modellierung von thermoelektrischen Materialien und Bauteilen mit Hilfe von MATLAB. Auf Materialebene soll der elektrischen Transports in thermoelektrischen Materialien im Rahmen eines Zweibandmodells mit Hilfe der Boltzmann-Transport Theorie beschrieben werden sowie die Extraktion von Materialparametern anhand experimenteller Daten automatisiert durchgeführt werden. In einem weiteren Schritt werden die Effekte von Nano/Mikrostruktur auf elektrischem und thermischem Transport simuliert. Auf Bauteilebene soll das Verhalten von thermoelektrischen Generatoren und thermoelektrischen Kühlern unter einsatznahen Randbedingungen in verschiedenen Komplexitätsgraden simuliert werden.

In dem Seminar sollen aktuelle Forschungsarbeiten zu verschiedenen Aspekten der Thermoelektrik von den StudentInnen analysiert und kritisch hinterfragt werden. Neben der Vertiefung und der Anwendung des Wissens dient das Seminar also auch der kritischen Beschäftigung mit wissenschaftlicher Literatur und dem Üben von Vorträgen.

Lernergebnisse / Kompetenzen Deutsch

Die StudentInnen sind in der Lage:

- Die Vor -und Nachteile von thermoelektrischen Kühlern und Generatoren in verschiedenen Anwendungen zu erläutern
- Die wesentlichen Komponenten thermoelektrischer Bauteile zu benennen sowie deren Funktion zu erläutern
- Elektrische und Wärmeströme in thermoelektrischen Bauteilen in Abhängigkeit von elektrischen und thermischen Randbedingungen zu berechnen und den Einfluss von Kontaktwiderständen zu analysieren
- Wesentliche Material- und Bauteilgrößen zu benennen sowie deren Verknüpfung zu begründen
- Den Wirkungsgrad/die Kühlleistung im Constant-Property-Model zu berechnen und zu optimieren
- Vorteile und Grenzen von Charakterisierungsmethoden für thermoelektrische Materialien und Bauteile zu erklären
- Wesentliche Unterschiede zwischen dem thermischen und elektrischen Transport in bulk und nanostrukturierten Materialien zu begründen
- Die Abhängigkeit der thermoelektrischen Transportgrößen von der Ladungsträgerkonzentration im Einband- und Zweibandmodell zu erklären

Description / Content English

The lecture deals with thermoelectric materials and systems which can be employed to convert heat directly into electrical energy or to control temperature very precisely. Starting from the basic thermoelectric effects and thermodynamic relations different aspects of the field are introduced and set into relation with each other. These include e.g.:

- Synthesis of state-of-the-art thermoelectric materials
- Fabrication of thermoelectric generators and coolers
- Contact development for thermoelectric devices
- Synthesis-microstructure-property relationships
- Modelling of thermoelectric devices with different complexities: influence of contact resistances and the temperature dependence of material quantities
- Measurement technique for thermoelectric materials and devices
- Design of thermoelectric devices for different applications ranging from space probes over automotive to healthcare)

The lecture is clearly interdisciplinary and includes aspects of solid state physics, semiconductor physics, thermodynamics but also manufacturing technology and measurement technique.

The aim of the training session „Advanced modelling of thermoelectric transport“ is modelling of thermoelectric materials and devices using MATLAB. The electrical and thermal transport in thermoelectric materials shall be modelled using a single and two band models based on the Boltzmann transport formalism. Complementary basic material parameters shall be extracted by an automated analysis from experimental data. Furthermore, the effect of the microstructure of materials shall be included in the modelling. Modelling of the material properties serves as input for device modelling, where efficiencies/cooling power will be calculated for application-like boundary conditions. The influence of electrical and thermal contact resistances shall be modelled and analyzed in different complexities.

Aim of the seminar is the analysis and discussion of relevant scientific publications. Besides application of knowledge from the lecture this seminar establishes a base for working with scientific literature.

Learning objectives / skills English

The students are able to:

- To explain pros and cons of thermoelectric generators and coolers in different applications
- Name the relevant components in thermoelectric devices as well as explain their function
- Calculate electrical current and heat flow in dependence of electrical and thermal boundary conditions and to analyze the influence of contact resistances
- Name material and device properties and derive their interrelation
- Calculate conversion efficiency and cooling power within the constant property model
- Explain application and limitations of thermoelectric characterization techniques
- Explicate differences in transport between bulk and nanostructured materials
- Explain the dependence of the thermoelectric transport quantities on the carrier concentration in a single or two band model

Literatur

Thermoelectrics Handbook: Macro to Nano von D M Rowe (Herausgeber); Taylor & Francis Inc. (2006)
Modules, Systems, and Applications in Thermoelectrics, Edited By David Michael Rowe); Taylor & Francis Inc. (2012)