

### **A. Grundlagen und Methodik**

1. Quellen für hochbrillante Röntgenstrahlung
2. Fokussierung von Röntgenstrahlung: Auf dem Weg zur 1 nm Auflösung
3. Winkelaufgelöste Photoelektronenspektroskopie
4. Röntgenabsorption
5. Fluoreszenzspektroskopie
6. Magnetische Röntgenspektroskopie und Streuung
7. Diffraction Imaging und Röntgenholographie
8. Correlation Spectroscopy
9. New Field Speckle Spectroscopy

### **B. Anwendungen von Röntgenstrahlung**

1. Ultraschnelle dynamische Prozesse
2. Untersuchung von dünnen Schichten mittels Streuung
3. Metallische Oberflächen – Vom Atom zum Kontakt
4. Reflektivität und Streuung von Grenzflächen
5. Kolloidale Suspensionen
6. Metallische Gläser
7. Röntgenspektroskopie an freien Ionen

### 1. A.1 Sources of synchrotron radiation

BETREUER: H. Franz

The use of synchrotron radiation started as parasitic use of the X-rays and VUV radiation from bending magnets. Meanwhile dedicated magnetic structures are inserted into storage rings to deliver “customs made” X-ray beams. The talk should give an overview on the types of sources (bending magnets, wigglers, undulators) and describe the spectral and angular characteristics. Different approaches for the analytic treatment of the problem may be used.

Literature:

- J.D. Jackson, Classical Electrodynamics, J. Wiley & Sons
- P. Ilinski, PhD, available at HASYLAB
- K.J. Kim, Optical and power characteristics of synchrotron radiation sources, Optical engineering, 34, 342 (1995)

### 2. A.2 Focusing X-Rays: Towards 1nm resolution

BETREUER: M. Sprung

Nanoscience is one of the most dynamic and rapidly developing areas of interdisciplinary research. It addresses the unique physical and chemical properties of nanometer-sized (less than 100 nm) materials and phenomena occurring at the nanoscale. In order to understand, and eventually design, the properties of materials at the nanoscale, many materials synthesis, manipulation, characterization, and modeling/simulation tools need to be developed. This is a compelling reason to develop x-ray based nanoprobe at new synchrotron sources around the world. It is of utmost importance to develop focusing capabilities down to 10nm or below for these instruments. Several different approaches (diffractive, refractive and mirror optics) are currently pursued to reach this challenging goal. The seminar should give an overview of three x-ray focusing techniques (multilayer Laue Lens, Kirkpatrick-Baez mirrors and compound refractive lenses) and compare them.

Literature:

- TDR of Petra III and NSLS II
- References of Jörg Maser about the nanoprobe at CNM/ANL (<http://nano.anl.gov/research/nanoprobe.html>)
- References of Peter Cloetens as starting point
- References of Christian Schroer's group

### 3. B.1 Ultraschnelle dynamische Prozesse und Röntgenstrahlung

BETREUER: M. Martins

Moderne Lasersysteme erlauben es, starke nichtlineare Prozesse in Materie zu bewirken. Damit wird es möglich extrem kurze Lichtpulse im Bereich von as

( $10^{-18}$ s) zu produzieren, die es ermöglichen dynamische Prozesse auf dieser Zeitskala zu studieren. Im Rahmen des Vortrages sollen die grundlegenden Prozesse für die Erzeugung dieser als Pulse und einige Anwendungen diskutiert werden.

#### 4. **A.3 Winkelaufgelöste Photoelektronenspektroskopie**

BETREUER: M. Martins

Winkelaufgelöste Photoelektronenspektroskopie (ARPES) ist eine wichtigsten Methoden, um die elektronische Struktur von Materie mittels weicher Röntgenstrahlung zu untersuchen. Sie beruht auf dem von Einstein im Jahr 1905 erklärten Photoeffekt.

Im Rahmen des Seminarvortrages sollen sowohl die Technik, die theoretischen Grundlagen der Photoemission als auch einige Beispiele diskutiert werden.

Literature:

- Stefan Hüfner, *Photoelectron Spectroscopy*, Springer
- und weitere

#### 5. **B.2 Untersuchung von dünnen Schichten mittels Streuung** BETREUER: S. Roth

Hierin sollen die physikalischen Grundlagen der Streuung zur Untersuchung dünner Schichten anhand dreier Beispiele zusammengefasst werden. Dies beinhaltet eine anschauliche Beschreibung der fundamentalen Streuprozesse sowie der Klein- und Weitwinkelstreuung (GISAXS/GIWAXS) in Reflexion. Insbesondere soll auf die Wichtigkeit des Auflösungsvermögens der Röntgenstreuinstrumente und der Totalreflexion, wie man sie aus der Optik her kennt, eingegangen werden und ihre Pendanten im Röntgenbereich betrachtet werden. Dies kann auch mit Hilfe von Computersimulationen zur Veranschaulichung erfolgen.

Literatur:

- P.Müller-Buschbaum, Grazing incidence small-angle x-ray scattering - an advanced scattering technique for the investigation of nanostructured polymer films; *Anal.Bioanal.Chem.* 376, 3 (2003)
- P.Müller-Buschbaum, E.Bauer, E.Maurer, S.V.Roth, R.Gehrke, M.Burghammer, C.Riekel, Large scale and local scale structures in polymer blend films: A GIUSAXS and sub-microbeam GISAXS investigation; *Appl. Cryst.* 40, s341 (2007)
- J. Perlich, J. Rubeck, S. Botta, R. Gehrke, S. V. Roth, M. A. Ruderer, S. M. Prams, M. Rawolle, Q. Zhong, V. Körstgens, and P. Müller-Buschbaum:

“Grazing incidence wide angle x-ray scattering at the wiggler beamline BW4 of HASYLAB“ Rev. Sci. Instr. 81, 105105 (2010)

## 6. Metallische Oberflächen - vom Atom zum Kontakt

BETREUER: S. Roth

Moderne flexible Displays und Solarzellen beinhalten im elektrischen Kontaktbereich immer Polymer-Metall-Grenzflächen. Moderne Röntgenstreuungsmethoden helfen, die grundlegenden physikalischen Prozesse beim Aufbringen und Wachsen der Metallkontakte zu verstehen. In diesem Proseminarvortrag soll ein anschaulicher Überblick über aktuelle Untersuchungen des Schichtwachstums bei der Aufbringung metallischer Schichten gegeben werden.

### Literatur:

- E. Metwalli, S. Couet, K. Schlage, R. Röhlberger, V. Körstgens, M. Ruderer, W. Wang, G. Kaune, S.V. Roth, and P. Müller-Buschbaum: "In situ GISAXS investigation of gold sputtering onto a polymer template", Langmuir 24, 4265 (2008)
- G. Kaune, M. A. Ruderer, E. Metwalli, W. Wang, S. Couet, K.Schlage, R. Röhlberger, S. V. Roth, and P. Müller-Buschbaum: "In Situ GISAXS Study of Gold Film Growth on Conducting Polymer Films", ACS Appl. Mater. Interfaces 1, 353 (2009)

## 7. Reflektivität und Streuung an Grenzflächen

BETREUER: O.H. Seeck

X-ray diffuse scattering is sensitive to the lateral structure of surfaces and interfaces. It is used to investigate statistical properties of interfaces such as typical in-plane length scales, the jaggedness of interfaces and auto- and cross-correlation functions. The statistical parameters are usually connected to physical properties of the sample. For example, various models for layer growth exist which make predictions on the autocorrelation function of the surface. Another important example is appearance of liquid surfaces which are slightly rough due to capillary wave effects. The nature of the different rough interface can perfectly be investigated by x-ray diffuse scattering. In this seminar, the student should first explain the appearance of rough surfaces and the modelling by auto- and cross-correlation functions. The self-affine surfaces and the capillary waves should be introduced as an example together with the x-ray diffuse scattering in Born- approximation. Examples from semiconductor thin films and/or liquid surfaces should illustrate the use of the diffuse scattering in science.

### Literature:

- M. Tolan X-ray scattering from soft matter thin films, Springer: Berlin, Heidelberg, 1999

- S.K. Sinha et al. X-ray and neutron scattering from rough surfaces, Phys.Rev.B 38, 2297 (1988)
- O.H. Seeck. Capillary Waves on Polymer Thin Films, in Soft Matter: complex materials on mesoscopic scale Eds.: J.K.G Dohnt, G. Gomper, D. Richter, Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich, 2002
- M. Lütt et al. Kadar-Parisi-Zhang growth of amorphous silicon on Si/SiO<sub>2</sub> , Phys.Rev.B 56, 4085 (1997)
- M. Lütt Untersuchung des Skalenverhaltens wachsender Halbleiterschichten mit Röntgenstreuung, Diplomarbeit an der Universität Kiel, 1993
- T. Seydel Glasoberflächen: Einfrieren von Kapillarwellen? Dissertation an der Universität Kiel, 2000

## 8. Struktur und Dynamik kolloidaler Suspensionen

BETREUER: G. Grübel

Colloidal systems acting as a model system for condensed matter have been thoroughly studied during the last years. While the observed particle interactions in the case of a hard-sphere system are well explained by theory, this is not the case for indirect particle interactions between charge-stabilized colloids. The status of experimental work as well as our theoretical understanding is discussed.

Literature:

- P.N. PUSEY Colloidal Suspensions, J.P. Hansen, D. Levesque, J. Zinn-Justin, eds., Les Houches Session LI, 1989, Liquids, Freezing and Glass Transition, Elsevier 1991
- G. Nägele, Theories of Fluid Microstructures, J.K.G. Dhont, G. Gompper, G. Nägele, D. Richter, R.G. Winkler, Soft Matter, 39th IFF Spring School 2008, ISSN 1866-1807

## 9. Coherent Diffraction Imaging and X-ray Holography

BETREUER: C. Gutt

One of the most important aspects of imaging techniques is the spatial resolution available. The highest resolution reported so far for conventional imaging techniques using x-ray lenses is around 30 nm. Coherent diffractive imaging and holography are new lensless imaging techniques which can image objects with diffraction limited resolution that is in principle a resolution on sub-nanometer level. These techniques rely on the coherence properties of X-ray beams at modern synchrotron sources and reconstruct images by computational means. Applications range from imaging of biological cells to nano-patterned magnetic objects. In this seminar the student should explain the techniques of coherent diffractive imaging and x-ray holography. The theoretical background and experimental setups used shall be explained. Examples from current research should illustrate the potential and limitations of the techniques.

Literature:

Relevant literature will be provided.

**10. X-ray Photon Correlation Spectroscopy**

BETREUER: C. Gutt

Correlation spectroscopy uses coherent X-rays and allows investigating dynamic properties of samples in real time. The method measures fluctuations of X-ray intensities and the correlations between the intensities yield information about dynamic and structural properties of the sample. Correlation spectroscopy is today routinely used to study the dynamics of a wide variety of samples ranging from hard condensed matter to soft matter and magnetic materials. The measurement in the time domain allows to study non-equilibrium dynamics at phase transitions and new phenomena as aging in soft matter systems. In this seminar the student should explain the techniques of correlation spectroscopy. The theoretical background and experimental setups used shall be explained. Examples from current research should illustrate the potential and limitations of the techniques.

Literature:

Relevant literature will be provided.

**11. Structure of metallic glasses**

BETREUER: H. Franz

Metallic glasses (alloys of metallic compounds with amorphous structure) show some rather interesting mechanical properties: high strength, low ductility, high formability. The talk should give an overview on structural characterisation of typical metallic glass compounds. In particular the virtue of combined evaluation of different characterisation techniques using Reverse Monte-Carlo methods should be highlighted. Also the relation between mechanical load and structural evaluation should be explained using some recent experiments.

Literature:

- A.L. Greer, Metallic Glasses, Science 267,1947 (1995)
- H. Poulsen et al, Measuring strain distributions in amorphous materials, Nature Materials 4, 33 (2005)
- M. Stoica, J. Das, J. Bednarcik, H. Franz, N. Mattern, W. H. Wang, J. Eckert Strain distribution in Zr<sub>64.13</sub>Cu<sub>15.75</sub>Ni<sub>10.12</sub>Al<sub>10</sub> bulk metallic glass investigated by in-situ tensile tests using synchrotron radiation, Journal of Applied Physics 104, 013522 (2008)

**12. Near Field Speckle: A new approach to perform ultra small angle scattering**

BETREUER: M. Sprung

Very recently, M. Giglio and coworkers presented an exciting new approach to perform scattering experiments in the ultra small angle x-ray scattering (USAXS) regime<sup>1</sup>. Their experiments show that high quality x-ray speckles are observable

by detecting the scattered radiation and the transmitted beam in the near field. Correct analysis of near field speckle (NFS) data retrieves the following information:

- (a) The scattering intensity distribution is obtained in absolute units
- (b) The range of observable Q vectors is extended towards lower Q by an order of magnitude compared with state of the art USAXS instruments such as a Bonse-Hart camera
- (c) Dynamic behavior can be obtained (similar to X-Ray Photon Correlation Spectroscopy experiments)

This seminar should give an overview of this new NFS method and discuss advantages and limitations compared to traditional USAXS methods. It should also discuss beam and detector requirements.

Literature:

- R. Cerbino, L Peverini, M. A. C. Potenza, A. Robert, P. Bösecke and M. Giglio, "X-ray scattering information obtained from near field speckle", Nature Physics 4 (2008) 238-243 and references therein.

### 13. Einleitung in Röntgenabsorptionsspektroskopie

BETREUER: W. Caliebe

- Absorptionskanten, Energieniveau-Schema
- Experimenteller Aufbau: Transmission, Fluoreszenz, Detektoren, Probenumgebung
- Nahkantenspektroskopie (XANES), unbesetzte Zustände
- EXAFS, Strukturuntersuchung, Abstände von nächsten Nachbarn
- woher kommt die EXAFS-Gleichung, was bedeuten und bewirken die einzelnen Terme?
- Datenauswertung, FEFF-Programm
- Anwendungen in Physik und anderen Fächern

Literature:

- Ferienschule Jülich 1992
- Aktuelle Ergebnisse: Publikationen von EXAFS-Messplätzen
- Haw, Experimental Methods in Catalysis

### 14. Magnetische Spektroskopie und Streuung

BETREUER: W. Caliebe

- zirkular polarisierte Röntgenstrahlen
- Zirkulardichroismus, Lineardichroismus
- magnetisierte Probe, Drehen Magnetfeld oder Polarisation, elementspezifische Magnetisierung, Differenzmessung
- Summenregeln
- Inelastische Röntgenstreuung
- DAFS, ASAXS (anomale Streuung)
- Anwendung

Literature:

- Kofersche Doktorarbeit
- Bücher: Lovesey-Collins, Schülke, FMF DeGroot & A. Kotani

**15. Fluoreszenzspektroskopie**

BETREUER: W. Caliebe

- Atomphysik, Orbitalmodell
- Energiedispersiv, Wellenlängendispersiv
- hohe Energieauflösung, Festkörpereffekte, Spinaufspaltung
- Bildgebung, Anwendungen in anderen Fächern

Literature:

- Buch über Atomphysik
- Paper und Bücher von Frank, Schülke

**16. B.7 Röntgenspektroskopie an freien Ionen**

BETREUER: S. Klumpp

Materie in ihrer ionischen Form ist im Universum die Dominierende. Seien es hochgeladene Atome (und Moleküle) als Nebel im interstellaren Medium, die uns Auskunft über die Elementverteilung im Universum geben oder in Sternenplasmen, respektive irdischen Reaktoren, in denen Energie erzeugt wird. Auch in biologischen Systemen sind Ionen für den Transport von Energie und Information zuständig, wie z.B. bei dem Übergang zwischen zwei Nervenzellen an den Synapsen.

Röntgenstrahlung ermöglicht nun auf der einen Seite einen Blick in ein unsichtbares Universum sowohl im Mikro- als auch im Makrokosmos. Die Eigenschaften von atomaren Ionen sind zudem von größter Bedeutung für die weitere Entwicklung von Sternmodellen. Experimente mit Röntgenstrahlung an freien Ionen waren



lange nicht möglich, da Ionen auf der Erde nur in sehr geringen Dichten hergestellt werden können.

Im Vortrag sollen sowohl die experimentellen Methoden zur Untersuchung von Ionen mit Röntgenstrahlung vorgestellt werden, als auch Beispiele für die Bedeutung von Röntgenstrahlung mit Universum diskutiert werden.