

Organisatorisches

Allgemeines

Das **physikalische Fortgeschrittenenpraktikum (FP)** ist eine einsemestrige Pflichtveranstaltung für Studierende des Studienganges Physik, die in der Studienordnung des Fachbereichs Physik mit **12 SWS** angesetzt ist. Voraussetzung für die Teilnahme ist der erfolgreiche Abschluß (**Vordiplom**) des Grundstudiums. Das Praktikum wird unter der organisatorischen Leitung von Prof. Dr. M. Kneissl an den drei experimentellen Instituten des Fachbereichs -

- Institut für Festkörperphysik (IFP)
- Optisches Institut (OI)
- Institut für Atomare Physik und Fachdidaktik (IAAP)

- durchgeführt.

Anmeldung

Die Anmeldung erfolgt ausschließlich elektronisch unter URL:

<http://gift.physik.tu-berlin.de/cgi-bin/fp/fpregister>

Der Beginn der Anmeldung für das folgende Semester ist August (WS) bzw. Februar (SS). Anmeldeschluß ist der 30. September (WS) bzw. 31. März (SS). Es ist sinnvoll, eine eventuell gebildete Gruppe (je zwei Studierende) schon bei der Anmeldung bekanntzugeben. Für die Anmeldung erforderlich ist die Vorlage des **Vordiplomzeugnisses** (Kopie) bzw. der Bescheinigungen über den Prüfungsabschluß in den Fächern Experimentalphysik und Theoretische Physik bei Lehramtskandidaten. Die Vorlage muß bei der Gruppeneinteilung (1. Vorlesungswoche) vorgezeigt werden.

Die **Übungsbescheinigungen** nach erfolgreicher Teilnahme sind abzuholen im:

Sekretariat PN 6-1 (Raum PN 637, Tel. 22078)

Versuchseinteilung

Jede Gruppe soll 6 Versuche absolvieren. Es gibt 2 Versuchsarten - standardisierte Versuche und projektartige Versuche. Die Standardversuche sind seit mehreren Jahren existent mit entsprechendem Skript und mehr oder weniger stationärem Versuchsaufbau. Sie bilden den Schwerpunkt des Praktikums und dienen zur Vertiefung physikalischer Kenntnisse, die im Studium erworben wurden. Alternativ hierzu werden jedes Semester von den Instituten die

Projekte angeboten. Projekte werden von den Betreuern häufig aus ihrer unmittelbaren Forschungsarbeit herausgelöst und dienen z.B. dem Aufbau einer neuen Meßapparatur. Eine Gruppe soll maximal ein Projekt durchführen. Diese Versuche sind in ihrem Ablauf nur sehr grob definiert. Die Struktur des Versuchs wird im Verlauf der Durchführung erarbeitet. Da der Aufwand entsprechend höher ist, entspricht ein Projekt vom Umfang her zwei Standardversuchen.

Die angebotenen Versuche können von Semester zu Semester variieren. Es gilt die Regel, daß jede Gruppe je zwei Versuche aus den 3 beteiligten Instituten absolvieren soll, um eine gewisse Bandbreite des Experimentierens zu erreichen. Aus organisatorischen Gründen sind Abweichungen möglich.

Die Einteilung findet in der ersten Vorlesungswoche des jeweiligen Semesters statt. Ort und Zeit werden auf der Anmeldungswebseite und/oder per e-mail bekannt gegeben.

Die Aufteilung der Versuche wird bis zum Ende der 1. VL-Woche erarbeitet und ebenfalls ausgehangen und im Internet veröffentlicht unter:

<http://www.physik.tu-berlin.de/institute/IFFP/richter/new/lehre/fp/>

Wünschen nach einzelnen Versuchen wird nach Maßgabe der organisatorischen Machbarkeit entsprochen. Die Wunschlisten der Gruppen werden zur Versuchseinteilung entgegengenommen.

Durchführung

1. In der Regel werden **Gruppen à 2 Studenten** gebildet. In absoluten Ausnahmefällen kann es Gruppen à 3 Studenten geben.
2. **Jeder** Student des FP erhält einen **Laufzettel**. Auf dem Laufzettel sind die einzelnen Versuche mit ihren Kurzbezeichnungen vermerkt, der Durchführungszeitraum sowie die Bewertung durch den Betreuer.
3. Je Gruppe wird **ein gebundenes Protokollbuch** geführt. Das Protokollbuch wird nicht von der Universität zur Verfügung gestellt. Die Laufzettel werden bei Ausgabe in die ersten Seiten des Protokollbuches eingeklebt. Nach Beendigung des FP muß das Protokollbuch im Sekr. PN 6-1 vorgelegt werden. Daraufhin wird der Übungsschein ausgestellt.
4. **Pro Versuch steht ein Zeitraum von 2 Wochen zur Verfügung. Zwischen Beginn und Ende eines Versuchs soll aber nicht mehr als 1 Woche liegen**, d.h. wenn am Dienstag eine Vorsprache begonnen wird, dann sollte am darauffolgenden Dienstag das Protokoll vorliegen. Ein neuer Versuch kann nur dann begonnen werden, wenn der letzte Versuch durch Unterschrift des Betreuers testiert worden ist.
5. Jeder Versuch teilt sich in die Abschnitte **Vorsprache, Experiment, Auswertung, Rücksprache**. Jeder Abschnitt wird mit einer Note von 1-“sehr gut” bis 5-“nicht ausreichend” bewertet und dies wird auf dem Laufzettel vermerkt. Die Notengebung

soll der Gruppe helfen, ihre Teilleistungen besser einzuschätzen. Der Versuch wird abschließend mit einem Prädikat (“Mit Erfolg”, “Mit Bedenken”, “Ohne Erfolg”) bewertet, wobei keine starre Relation bezüglich der Notengebung und der Prädikatsvergabe existiert.

Das FP muß wiederholt werden, wenn mehr als 1 Versuch mit dem Prädikat “Mit Bedenken” oder 1 Versuch “Ohne Erfolg” bewertet wurde.

6. Das Protokollbuch dient der Dokumentation während des Versuches und der Auswertung des Experiments. Es soll ein Ziel des Versuchs im Protokollbuch formuliert werden. Auf eine Darstellung physikalischer Grundlagen des Versuchs im Protokollbuch ist zu verzichten. Die Kenntnis dieser Grundlagen sollen die Studenten in der Vorsprache und durch Anwendung bei der Auswertung nachweisen. Eine Bewertung der Vorsprache mit der Note 5 kann es daher nicht geben, denn in diesem Falle sollte die Vorsprache wiederholt oder der Versuch abgebrochen werden.
7. Inwiefern das Protokoll im Protokollbuch ausreichend ist, hängt vom jeweiligen Versuch ab. Der Betreuer legt vorher fest, welche Daten und in welcher Form zusätzlich zur Protokollabgabe aufbereitet worden sein sollen. Dies kann z.B. entweder als Printout erfolgen oder als Graphik-Datei.
8. Zu jedem Versuch existieren Skripte, die zu Beginn des 2-wöchigen Zyklus beim Betreuer abzuholen sind und nach Beendigung des Versuches sofort zurückzugeben sind. Bei Versuchen aus dem Bereich des IAAP (durch den Buchstaben A, z.B. A9, gekennzeichnet) sind die Skripte bei Frau Kootz (PN 339, Tel. 23712/24887 von 10-13 Uhr) abzuholen.

Die Skripte beinhalten in der Regel eine thematische Einführung und eine Anleitung zur experimentellen Durchführung der Versuche. Zum Verstehen des physikalischen Hintergrunds ist zusätzlich ein Literaturstudium notwendig. Die entsprechende Literatur ist in den Skripten angegeben.

Kurzbeschreibungen der Versuche finden sich im Internet unter:

<http://www.physik.tu-berlin.de/institute/IFFP/richter/new/lehre/fp/>

Kurzbeschreibung der Versuche

Inhaltsverzeichnis

1	Atomphysik	6
	A1 – Stern - Gerlach - Versuch	6
	A7 – Lebensdauermessungen angeregter Atomzustände mit zeitaufgelöster Laserspektroskopie	7
	A8 – Resonanzstreuung von polarisiertem Licht an Kaliumatomen in einem äußeren Magnetfeld	8
	A9 – Ion - Atom - Stöße	9
	A10 – Mößbauereffekt	10
	A11 – Gamma-Gamma-Winkelkorrelation	11
	A12 – Gamma-Spektrometrie	12
	A13 – Rutherford-Streuung und Alpha-Spektrometrie	13
	A14 – Absorptionsspektroskopie am Jod-Molekül	14
	A15 – Farbstofflaser	15
2	Elektronenoptik	16
	E1 – Elektronenoptische Bank	16
3	Festkörperphysik	17
	F1 – Faraday - Effekt	17
	F2 – Halleffekt- und Leitfähigkeitsmessung (F2)	18
	F3 – Thermische Eigenschaften von Festkörpern	19
	F4 – Kristallstrukturuntersuchung mit Röntgenstrahlen	20
	F5 – Kristallfeldanalyse durch Elektronenspinresonanz	21
	F6 – Photolumineszenzspektroskopie an III-V Halbleitern	22
	F7 – Fourierspektroskopie an Festkörpern	23
	F8 – Ellipsometrie	24
	F10 – Rasterkraftmikroskopie	25
	F11 – Anti-Stokes-Lumineszenz von CdS-Kristallen	26
	F12 – Anwendungen der Ramanspektroskopie	27
	F13 – Strom-Spannungs und Kapazitäts-Spannungs Kennlinien	28
	F20 – Reflexions Anisotropie Spektroskopie (RAS)	29
	F21 – Winkelaufgelöste Lichtstreuung (ARS), Rauigkeiten	30
	F22 – Reflexions- und Transmissionsspektroskopie an Halbleitern	31
	F23 – Gewinnmessung nach Hakki und Paoli	32
	M3 – Entwurf und Realisierung digitaler Filter	33
	M6 – Lichtmodulation durch Ultraschall (M6)	34

4 Optik	35
O1 – Rubinlaser	35
O2 – Ortsfrequenzfilterung	36
O3 – Nd:YAG Laser	37
O4 – Holographie	38
O8 – Holographische Interferometrie	39
O9 – Totalreflexion	40
O10 – Messungen an einem diodengepumpten Festkörperlaser	41
5 Projektversuche	42

1 Atomphysik

A1 – Stern - Gerlach - Versuch

Standort: OI (Arbeitsgruppe Prof. Dr. Bostanjoglo, P 11)

Zum Nachweis der Richtungsquantelung des Elektronenspins am 4s-Elektron des Kalium-Atoms wird der Versuch von O. Stern und W. Gerlach (leicht modifiziert) durchgeführt. Hierzu wird ein Kalium-Atomstrahl erzeugt. Im inhomogenen Feld eines Magneten (Stern-Gerlach-Magnet) tritt aufgrund der Kraft die dieses Feld auf einen magnetischen Dipol ausübt, eine Aufspaltung des Strahles in zwei Anteile auf. Zur Bestimmung des Strahlprofils nach Passieren des Magneten wird ein Langmuir-Taylor-Detektor (Oberflächenionisation) verwendet. Aus der gemessenen Aufspaltung x kann unter Berücksichtigung der Geschwindigkeitsverteilung im Atomstrahl und einer endlichen Detektorauflösung das Bohrsche Magneton μ_B bestimmt werden

Lernziele bzw. Methoden:

- Vakuumtechnik (Vakuumpumpen, Druckmeßgeräte)
- Nachweismöglichkeiten für einen Atomstrahl
- Charakteristika eines Atomstrahls (Geschwindigkeits- bzw. Energieverteilung, Winkelverteilung)
- Verhalten von Atomen in starken und schwachen Magnetfeldern Drehimpulsquantisierung, Kopplung von Drehimpulsen, Feinstruktur, Hyperfeinstruktur, Zeeman-Effekt, Paschen-Back-Effekt.

Literatur:

Th. Meyer-Kuckuck: Atomphysik, Teubner (1985)
Handbuch der Physik, Band 37,1, S.25 - 45 (1959)

A7 – Lebensdauermessungen angeregter Atomzustände mit zeitaufgelöster Laser-spektroskopie

Standort: IAAP (Arbeitsgruppe Prof. Dr. P. Zimmermann, PN 3-2)

Angeregte Atomzustände können im allgemeinen durch elektromagnetische Übergänge unter spontaner Lichtemission zerfallen. Das zeitliche Verhalten dieses Prozesses wird durch ein exponentielles Zerfallsgesetz mit einer charakteristischen Zerfallszeit, der mittleren Lebensdauer S , beschrieben. Werden, wie im vorliegenden Versuch, die Cäsiumatome durch den kurzen Lichtpuls eines stickstoffgepumpten Farbstofflasers (Pulsbreite ca. 3 ns) angeregt, so ist das zeitliche Abklingverhalten der reemittierten Resonanzfluoreszenz gegeben durch: $I(t) = I_0 \cdot \exp(-t/\tau)$.

Die Fluoreszenz wird unter Verwendung eines Photomultipliers mit entsprechendem Interferenzfilter und nachgeschalteter schneller Elektronik zeitaufgelöst registriert. Aus den gemessenen Abklingkurven soll die Lebensdauer bestimmt werden, wobei der Druck, der in der verwendeten Cäsiumzelle herrscht, variiert wird.

Lernziele bzw. Methoden:

- Anregung mittels durchstimmbarem Lasersystem;
- Fluoreszenzsignaldetektion mit Photomultiplier und NIM-Elektronik (Diskriminator, TAC, MCA).
- Auswahlregeln für elektrische Dipolstrahlung;
- Grundlagen der Lebensdauermessungen strahlender Übergänge (quenching, radiation trapping, pile-up Effekte);
- grundlegende Größen des Einelektronenspektrums von Cs.

Literatur:

Demtröder: Laser Spektroskopie; Springer Verlag, Berlin (1971)

Mayer-Kuckuk: Atomphysik. Eine Einführung; Teubner-Verlag, Stuttgart (1980)

Weber, Herziger: Laser, Grundlagen und Anwendung, Physik Verlag, Weinheim (1978)

P. Zimmermann: Einführung in die Atom- und Molekülphysik, Akademische Verlagsgesellschaft (1978)

D'Yakonov, M.I.; Perel', V.I: Sov Phys JETP (1965),20,997

Coates, P.B.: J. Phys. E (1968),1,878

Hannaford, P.; Lowe, R.M.: Opt. Eng. (1983),22,532

A8 – Resonanzstreuung von polarisiertem Licht an Kaliumatomen in einem äußeren Magnetfeld

Standort: IAAP (Arbeitsgruppe Prof. Dr.D. Zimmermann, PN 3-2)

Die Untersuchung der Intensität des an Atomen gestreuten Resonanzlichts in Abhängigkeit von der Polarisation und von einem äußeren Magnetfeld ermöglicht die Bestimmung atomarer Größen wie Lebensdauern und Hyperfeinstrukturaufspaltungskonstanten angeregter Atomzustände. In einem äußeren Magnetfeld führt die Präzessionsbewegung der atomaren magnetischen Momente zu einer Änderung der Polarisation und der Winkelverteilung des resonant gestreuten Lichts (Hanle-Effekt). Außerdem kann, als Folge der Wechselwirkung des magnetischen Moments der Hülle mit dem äußeren Magnetfeld, eine vorhandene Hyperfeinstrukturkopplung zwischen Kerndrehimpuls und Hüllendrehimpuls aufgehoben werden. Bei Resonanzstreuung von polarisiertem Licht bewirkt diese Entkopplung ebenfalls eine Änderung der Polarisation des gestreuten Lichts. Im Rahmen des vorliegenden FP-Versuchs soll mit Hilfe der Resonanzstreuung von Licht an Kaliumatomen die Lebensdauer und die magnetische Hyperfeinstrukturaufspaltungskonstante für einen angeregten Zustand von Kalium bestimmt werden.

Lernziele bzw. Methoden:

- Atomare Energieniveaus,
- Wirkung äußerer Magnetfelder auf Atomelektronen,
- Wechselwirkung von Atomen mit elektromagnetischer Strahlung.

Literatur:

Haken-Wolf: Atom- und Quantenphysik, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg (1983)
Mayer-Kuckuck: Atomphysik, Teubner Studienbücher, Stuttgart (1985)

A9 – Ion - Atom - Stöße

Standort: IAAP (Arbeitsgruppe Prof. Dr. v. Oppen, PN 3-2)

Die Physik atomarer Stoßprozesse ist für viele Bereiche von Wissenschaft und Technik von großer Bedeutung. Einige Anwendungsgebiete sind Plasmaphysik, Astrophysik, Fusionsforschung und Laserphysik. In der Fusionsforschung sind atomare Stoßprozesse beispielsweise für die Aufheizung des Plasmas mit hochenergetischen Wasserstoffstrahlen und für seine Abkühlung durch Verunreinigungen mit schweren Elementen von grundlegender Bedeutung.

Im Versuch kann man - am Beispiel der Ion-Atom-Stöße - elementare Experimentiertechniken dieser Forschungsrichtung kennenlernen. In einem 10 keV-Kleinbeschleuniger wird ein Ionenstrahl erzeugt und dessen Umladung in einem Gastarget in Abhängigkeit von der Ionenenergie untersucht. Mit einem Faradaybecher kann der Anteil neutraler Teilchen im Ionenstrahl für symmetrische (z.B. $\text{He}^+ + \text{He}$) und unsymmetrische Stoßsysteme (z.B. $\text{H}^+ + \text{He}$) bestimmt werden. Die zu messende Umladungsfunktion, die für symmetrische und unsymmetrische Systeme bei niedrigen Energien markant verschieden sind, werden mit elementaren quantenphysikalischen Modellen interpretiert.

Lernziele bzw. Methoden:

- Erzeugung und Nachweis von Ionenstrahlen,
- Teilchenoptik,
- Hochvakuumherzeugung und -meßtechnik,
- Theorie des Ladungsaustauschs,
- Messung absoluter und relativer Wirkungsquerschnitte.

Literatur:

- B. H. Bransden, C. J. Joachain: Physics of Atoms and Molecules, Kap. 13, Longman, London and New York (1984)
- J. Großer: Einführung in die Teilchenoptik, Teubner Studienbücher, Stuttgart (1983)
- J.E. Bayfield: Atomic Physics Vol. 4, S. 397, Ed. G. zu Putlitz, E.W. Weber, A. Winnacker, Plenum-Press, New York-London (1975)

A10 – Mößbauereffekt

Standort: IAAP (Arbeitsgruppe Prof. Dr. Hese, PN 3-2)

Der Mößbauereffekt bedeutet die rückstoßfreie Emission und Absorption von Gamma-Quanten durch Atomkerne, die in Festkörpern eingelagert sind. Der Mößbauereffekt ist somit ein Gammaskopisches Verfahren zur Erzeugung und Detektion von extrem schmalbandiger Gamma-Strahlung. Dieser Effekt findet seine Anwendung bei der Untersuchung diverser kernphysikalischer Eigenschaften, wie z.B. der Bestimmung von Lebensdauern, magnetischen Momenten u.s.w.. Außerdem lassen sich Eigenschaften der Matrix, in welche die Mößbauer-Atome eingebaut sind, bestimmen. Das enorme energetische Auflösungsvermögen macht es auch möglich prinzipielle physikalische Fragen, wie z.B. die Rotverschiebung elektromagnetischer Strahlung im Gravitationsfeld, experimentell zu bestätigen.

Im Rahmen des FP Versuches soll mit Hilfe des Mößbauereffektes das 14.4 keV Kernniveau des Fe-Isotops der Massenzahl 57 untersucht werden. Zu diesem Zweck wird die Absorption der Strahlung einer ^{57}Co -Quelle in verschiedenen Absorberfolien untersucht, wobei Quelle und Absorber mit Hilfe des Doppler-Effektes gegeneinander verstimmt werden. Aus dem Experiment können die Lebensdauer, sowie das magnetische Moment des angeregten Kernzustandes bestimmt werden.

Lernziele bzw. Methoden:

- Eigenschaften von Kernniveaus,
- Gamma-spektroskopische Messverfahren,
- Steuerung und Messwerterfassung mit Hilfe eines PC's.

Literatur:

S. de Benedetti: The Mößbauer Effect, Scientific American, April 1960, p.73
B. Wegener: Der Mößbauereffekt, BI Hochschultaschenbuch, Mannheim (1966)
Mayer-Kuckuck: Physik der Atomkerne, Teubner Studienbuch, Stuttgart (1973)

A11 – Gamma-Gamma-Winkelkorrelation

Standort: IAAP (Arbeitsgruppe Prof. Dr. P. Zimmermann, PN 3-2)

Der radioaktive ^{60}Co -Kern zerfällt mit einer Halbwertszeit von ca. 5 Jahren durch Beta-Zerfall fast ausschließlich in ein angeregtes Niveau des ^{60}Ni -Kerns. Dieser gelangt durch sukzessive Emission zweier Gamma-Quanten in den Grundzustand. Das Spektrum dieser Gamma-Quanten wird mit Hilfe eines Szintillationsdetektors und entsprechender Nachweiselektronik aufgenommen.

Da die beiden Gamma-Quanten nahezu gleichzeitig (10^{-12} s) vom selben Kern emittiert werden, stehen ihre Ausbreitungsrichtungen in einer festen Beziehung zueinander. Diese sogenannte Winkelkorrelation kann nach Legendre-Polynomen entwickelt werden, wobei die Entwicklungskoeffizienten in eindeutiger Weise von den beteiligten Kerndrehimpulsen und den Multipolaritäten der Strahlung abhängen. Der zweite Teil der Aufgabe ist es, diese Winkelkorrelation zu messen und die Entwicklungskoeffizienten zu berechnen, um die Multipolarität der Strahlung und die beteiligten Kerndrehimpulse zu bestimmen.

Lernziele bzw. Methoden:

- Verwendung von Photomultipliern und schneller NIM-Elektronik (Diskriminatoren, Zähler, Koinzidenzstufe).
- Photo-, Compton- und Paarbildungseffekt;
- Betazerfall;
- elektromagnetische Übergänge (Multipolordnung, Parität);
- Kernspin und statische Kernmultipolmomente;
- Bindungsenergien der Nukleonen im Kern.

Literatur:

Bodenstedt, E. Experimente der Kernphysik und Ihre Deutung; Mannheim, Bibliograph. Inst. (1979)

Mayer-Kuckuck, T. Kernphysik. Eine Einführung; Stuttgart, Teubener, (1979)

Segré, E.G. Nuclei and Particles, London; The Benjamin/Cummings Publ. (1982)

Crouthamel, C.E. Applied Gamma-Ray Spectroscopy; Pergamon, New York (1960)

Siegbahn, K. Alpha-, Beta- and Gamma-Ray Spectroscopy; North Holland Publishing Co., Amsterdam (1965)

Melissinos, A.C. Experiments in Modern Physics; Academic-Press, New York (1966)

A12 – Gamma-Spektrometrie

Standort: IAAP (Arbeitsgruppe Prof. Dr. P. Heide, PN 3-1)

Die meisten experimentellen Informationen über die Eigenschaften von Atomkernen stammen aus der Untersuchung von spontanen Zerfällen (Radioaktivität) und induzierten Übergängen (Kernreaktionen). Dabei ist eine detaillierte Analyse der Energiespektren der emittierten Teilchen bzw. der emittierten elektromagnetischen Strahlung erforderlich.

Geladene Teilchen werden meist durch elektrische und magnetische Felder nach Energie, Impuls und Ladung analysiert und in einem Detektor hoher Nachweiswahrscheinlichkeit nachgewiesen. Neutronen, die nicht direkt ionisieren, können über sekundär entstehende ionisierende Strahlung nachgewiesen werden.

Für die Spektroskopie von γ -Strahlung werden Detektoren verwendet, in denen das γ -Quant mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit seine gesamte Energie abgibt. Es entsteht ein elektrischer Impuls, der eine der Energie proportionale Amplitude hat. Dieses elektrische Signal wird mit schneller Elektronik verarbeitet und in einem Vielkanalanalysator (*Multi Channel Analyzer*, MCA) gespeichert.

Aus der detaillierten Analyse der spektroskopischen Information lässt sich die Herkunft der am Versuchsort präsenten Radioaktivität qualitativ und quantitativ bestimmen. Hierbei lassen sich auch geringe Spuren von γ - und Röntgenquant-emittierenden Kontaminationen nachweisen.

Gammaspektrometrische Verfahren werden heute in vielen Bereichen von Wissenschaft und Technik verwendet, zum Beispiel als bildgebende Verfahren bei Computertomografie oder Positronenemissionstomografie oder in der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung.

Unter Verwendung zweier verschiedener Detektortypen – NaJ(Tl)-Szintillationszähler und Ge(Li)-Halbleiterzähler – führt der Versuch in die Spektrometrie von γ -Strahlung ein. Es werden Energieauflösung, Nachweiswahrscheinlichkeit, Energielinearität und zeitliches Verhalten untersucht. Weiterhin wird der Einfluss von störenden Effekten – so das Entweichen von Sekundärstrahlung, der Nachweis von Streustrahlung und Totzeiteffekte in der Elektronik – auf die Form der aufzunehmenden Spektren betrachtet.

Lernziele bzw. Methoden:

- Umgang mit radioaktiven Präparaten
- Umgang mit γ -Detektoren
- Umgang mit NIM-Elektronik sowie mit dem Multi Channel Analyzer
- Interpretation von γ -Spektren
- Versuchsplanung unter Berücksichtigung von Totzeit-, Nachweiswahrscheinlichkeits-, Untergrund- und Auflösungsfragen
- Integration und Auswertung von γ -Spektren

Literatur:

Glenn F. Knoll: Radiation Detection and Measurement. Third Edition. Wiley: New York 2000.
William R. Leo: Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments. A How-to Approach. Second Revised Edition. Springer: Berlin 1994. **Skript:** erhältlich bei Frau Kootz, Raum PN 339 oder unter <http://kern.physik.tu-berlin.de/Lehre/>

A13 – Rutherford-Streuung und Alpha-Spektrometrie

Standort: IAAP (Arbeitsgruppe Prof. Dr. P. Heide, PN 3-1)

Im Hinblick auf die große Bedeutung, die das Rutherford'sche Streuexperiment für die Entwicklung der Kernphysik hatte, ist die experimentelle Verifikation der Rutherford'schen Streuformel für einen Praktikumsversuch sehr geeignet. Der Versuch stellt u. a. eine Verbindung zwischen der Energieverlusttheorie geladener Teilchen bei ihrem Durchgang durch Materie infolge elektrischer Wechselwirkungen und dem Streuexperiment her und zeigt, welche Bedeutung die Energieverlustproblematik gerade bei kernphysikalischen Anwendungen (z.B. Messung von Energiespektren geladener Teilchen) hat.

Lernziele bzw. Methoden:

- Funktionsweise und Bedienung von Halbleiterdetektoren,
- Vor- und Hauptverstärker und Vielkanalanalysatoren
- Vakuumtechnik

Literatur:

K. Siegbahn: α -, β - and γ -Spectroscopy, Vol. 1

A14 – Absorptionsspektroskopie am Jod-Molekül

Standort: IAAP (Arbeitsgruppe Prof. Dr. D. Zimmermann, PN 3-2)

Die Absorptionsspektroskopie ist eine in der Molekülphysik häufig angewendete Untersuchungstechnik, um möglichst genaue experimentelle Daten über die diskreten Energieniveaus von Molekülen zu ermitteln. Große praktische Bedeutung hat sie im Bereich der Spurenanalytik. Dort wird die Absorptionsspektroskopie als empfindliches Nachweisverfahren für sehr geringe Stoffmengen eingesetzt.

In der vorliegenden Aufgabe wird das Absorptionsspektrum des zweiatomigen Jod-Moleküls im sichtbaren Spektralbereich aufgenommen und analysiert. Dabei dient ein evakuierbares Glasrohr als Absorptionszelle, in der die Jod-Moleküle entsprechend dem Dampfdruck bei Zimmertemperatur, mit einem Dampfdruck von ca. 400 Pa in der Gasphase vorliegen. Als Strahlungsquelle wird eine Xenon-Höchstdrucklampe verwendet, dessen Licht mit Hilfe eines Gittermonochromators spektral zerlegt wird. Die zu beobachtenden Absorptionslinien entsprechen Schwingungsbanden eines Übergangs zwischen zwei verschiedenen elektronischen Zuständen. Ihre quantitative Analyse erlaubt die Bestimmung einiger charakteristischer Größen der betreffenden Molekülpotentiale. Darüberhinaus sind qualitative Aussagen hinsichtlich der Rotationsstruktur der Schwingungsbanden möglich.

Lernziele bzw. Methoden:

- Umgang mit einem Gittermonochromator
- Kenntnisse über Aufbau, Eigenschaften und Spektren von zweiatomigen Molekülen

Literatur:

K.H. Hellwege: Einführung in die Physik der Molekeln, Heidelberger Taschenbücher Springer Verlag, Berlin-Heidelberg (1974)

W.A. Bingel: Theorie der Molekülspektren, Chemische Taschenbücher (1967)

A15 – Farbstofflaser

Standort: IAAP (Arbeitsgruppe Prof. Dr. Hese, PN 3-2)

Zwar bedeutete die Entdeckung des Lasers einen enormen Fortschritt, aber die feste Frequenz war für spektroskopische Zwecke nur beschränkt nutzbar. Im Jahre 1966 wurde während der Untersuchung der Fluoreszenz an einem organischen Farbstoff durch Sorokin und Lankard zufällig festgestellt, daß bei Bestrahlung durch einen Rubinlaser Laseraktivität auftrat. Diesen Effekt nutzten sie zur Konstruktion des ersten Farbstofflasers. Die ersten Resonatoren bestanden aus einer Farbstoffzelle zwischen zwei Breitbandspiegeln. Die gewünschte Wellenlänge mußte aus dem breiten Emissionsprofil des Farbstoffes herausgefiltert werden. Indem sie einen Spiegel durch ein dispersives Element ersetzten, zeigten 1967 Soffer und McFarland, daß ein Farbstofflaser auch schmalbandige, abstimmbare Laserstrahlung erzeugen kann.

Farbstofflaser werden heute im gepulsten oder Dauerstrich-Betrieb vom nahen UV bis in das nahe IR eingesetzt, z.B. in der Spektroskopie, der Medizin, der Biologie, etc.

Lernziele bzw. Methoden:

- Aufbau eines von einem Stickstofflaser gepumpten, gepulsten Farbstofflasers in verschiedenen Anordnungen,
- Bestimmung von Bandbreite und Abstimmbereich

Literatur:

F.P. Schäfer: Dye Lasers

F.J. Duarte: Dye Laser Principles und High Power Dye Lasers

Demtröder: Laserspektroskopie

Eichler: Laser

2 Elektronenoptik

E1 – Elektronenoptische Bank

Standort: OI (Arbeitsgruppe Prof. Dr. Niedrig, P 11)

Die elektronenoptische Bank ist ein Baukastensystem, mit dem das Verhalten von Elektronen in elektromagnetischen Feldern und die Wechselwirkung der Elektronen mit Materie demonstriert werden kann. So ist es leicht möglich, ein funktionstüchtiges Transmissionselektronenmikroskop aufzubauen, an dem im Rahmen des Versuches die Elektronenemission, die Elektronenstrahlerzeugung und die Abbildungseigenschaften einer magnetischen Linse quantitativ untersucht werden können. Die Mechanismen der Kontrastentstehung im Elektronenmikroskop können dabei sowohl an gestellten Objekten (Hellfeldabbildung) als auch an einer herzustellenden polykristallinen Aluminiumschicht (für Beugungsbilder) erarbeitet werden.

Die Aufgabe vermittelt Kenntnisse über die Vakuumtechnik, Techniken der Elektronenoptik und die Präparation dünner Schichten. Das Lernziel ist das Verständnis der Wechselwirkung schneller Elektronen mit der Materie, hier insbesondere die quantitative Beschreibung der elastischen Elektronenstreuung am Einzelatom und der Elektronenbeugung am Kristall.

Lernziele bzw. Methoden:

- Erzeugung und Messung von Vor- und Hochvakuum,
- Elektronen in elektromagnetischen Feldern,
- Kontrastentstehung im Elektronenmikroskop,
- Elektronenbeugung am Festkörper

Literatur:

Bergmann-Schäfer: Lehrbuch der Experimentalphysik Bd.III Optik, Kap. Elektronenbeugung und -mikroskopie, W. de Gruyter, Berlin (1993)

C.Kittel: Einführung in die Festkörperphysik

L.Reimer: Elektronenmikroskopische Untersuchungs- und Präparationsmethoden, Springer-Verlag 1969

3 Festkörperphysik

F1 – Faraday - Effekt

Standort: OI (Arbeitsgruppe Prof. Dr. Bostanjoglo, P 11)

Gewisse Substanzen haben die Eigenschaft den Polarisationsvektor linear polarisierten Lichtes beim Durchgang zu drehen, wenn sie sich in einem Magnetfeld befinden oder vorher magnetisiert worden sind. Man bezeichnet diese Drehung als Faraday-Effekt. Der Drehwinkel ist proportional zum Skalarprodukt aus Magnetisierung und Ausbreitungsrichtung des Lichtes. Unter Verwendung eines abbildenden Verfahrens können daher Bereiche unterschiedlicher Magnetisierung in dünnen Eisenschichten sowie magnetooptischen Kristallen sichtbar gemacht werden. Auf diese Weise ist es möglich, Ummagnetisierungsvorgänge zu beobachten.

Darüberhinaus können bei Verwendung einer integrierenden Methode die Hysteresiskurven der verschiedenen Proben auf einem Oszillographen dargestellt werden. So lassen sich, wenn auch nicht orts aufgelöst, schnelle Änderungen der magnetischen Struktur beobachten. Aus den Messungen lassen sich unter anderem die Koerzitivfeldstärke und die Kollapsfeldstärke bestimmen

Lernziele bzw. Methoden:

- Grundlagen des Magnetismus (insbesondere Ferromagnetismus)
- Technik der Abbildung magnetischer Bereiche mittels des Faraday-Effektes

Literatur:

- A. Morrish: The Principals of Magnetism, New York (1980)
 M. Lambeck: Zeitschrift für angewandte Physik 18 Heft 5/6, S. 506-511 (1965);
 Bergmann-Schaefer: Lehrbuch der Experimentalphysik, Bd. IV, Teil 1 (1981), Kap. „Magnetismus“
 C. Kittel: Einführung in die Festkörperphysik (1991), Kapitel „Magnetische Eigenschaften der Materie“

F2 – Halleffekt- und Leitfähigkeitsmessung (F2)

Standort: IFP (Arbeitsgruppe Prof. Dr. Kneissl, PN 6-1)

Die Kenntnis der elektrischen Eigenschaften von Halbleitern, die im wesentlichen durch die elektrische Leitfähigkeit und den Hall-Koeffizienten charakterisiert werden, ist eine Voraussetzung für den Bau von elektronischen Bauelementen. Die Bestimmung des Hall-Koeffizienten und der spezifischen Leitfähigkeit wird in diesem Versuch nach der „van der Pauw-Methode“ durchgeführt, die im Prinzip auf Spannungsmessungen bei vorgegebenem konstanten Gleichstrom I beruht, wobei sich die Probe in einem äußeren Magnetfeld B befindet. Der besondere Vorteil dieser Vierpunktmeßmethode liegt darin, daß Proben beliebiger Geometrie vermessen werden können.

Im Rahmen des Versuches wird die Temperatur zwischen der Raumtemperatur und der Temperatur von flüssigem Stickstoff ($T = 77$ K) variiert. Aus den hieraus resultierenden Leitfähigkeitskurven kann einerseits der Bandabstand E_g , andererseits die Tiefe der Störstellenniveaus berechnet werden, deren Ladungsträger den wesentlichen Beitrag zur Leitfähigkeit liefern. Darüberhinaus ist es möglich, den Streumechanismus, der die Beweglichkeit der Ladungsträger begrenzt, zu erkennen (Streuung an Phononen, Streuung an geladenen Störstellen). Zudem ermöglicht die Analyse der Temperaturabhängigkeit des Hallkoeffizienten zu unterscheiden, ob es sich um einen p- oder um einen n-Halbleiter handelt.

Die in diesem Versuch zu untersuchenden Proben sind III-V oder II-VI - Verbindungshalbleiter. Die Kenntnis der elektrischen Eigenschaften dieser Materialien ist aufgrund der Tatsache, daß diese die Ausgangssubstanzen zur Herstellung praktisch aller optoelektronischen Bauelemente sind, von besonderer Bedeutung.

Lernziele bzw. Methoden:

- van der Pauw-Methode,
- Halleffekt,
- Bändermodell,
- spezifischer Widerstand von Halbleitern,
- Streuung von Ladungsträgern in Festkörpern,
- Fermi-Funktion.

Literatur:

Kittel: Einführung in die Festkörperphysik, R. Oldenbourg Verlag München-Wien (1980)
Ibach-Lüth: Festkörperphysik, Springer-Verlag Berlin-Heidelberg (1981)
L.J. van der Pauw: Philips Technische Rundschau, 20. Jahrgang, S. 230

F3 – Thermische Eigenschaften von Festkörpern

Standort: IFP (Arbeitsgruppe Prof. Dr. Kneissl, PN 6-1)

Die thermischen Eigenschaften von Festkörpern, die spezifische Wärme C_p , die Wärmeleitfähigkeit K und die thermische Leitfähigkeit D werden am Beispiel von kristallinem Quarz im Temperaturbereich $60 \text{ K} < T < 300 \text{ K}$ studiert. Mittels der phänomenologischen Theorie der Wärmeleitung werden die Größen in einem stationären (K) und einem instationärem (D, C_p) Experiment bestimmt. Aufgabe ist es, die Messergebnisse mit den Vorhersagen der mikroskopische Theorie der Gitterschwingungen im Temperaturbereich $0 < T < T_{\text{Schmelzpunkt}}$ zu vergleichen.

Lernziele bzw. Methoden:

- Umgang mit Vakuum- und Tieftemperaturtechnik.
- Messung von μV -Spannungstransienten im ms-Bereich.
- Berechnung der thermischen Größen und Vergleich mit relevanten Literaturdaten.
- Konzept der Gitterschwingungen (Phononen) im kristallinen Festkörper.

Literatur:

Ibach-Lüth: Festkörperphysik, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg (1981)

Becker: Theorie der Wärme, Heidelberger Taschenbücher Bnd. 10, Springer Verlag Berlin Heidelberg (1966)

Weißmantel-Hamann: Grundlagen der Festkörperphysik, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1980

F4 – Kristallstrukturuntersuchung mit Röntgenstrahlen

Standort: IFP (Arbeitsgruppe Prof. Dr. Kneissl, PN 6-1)

Röntgenstrahlen sind elektromagnetische Wellen, deren Wellenlänge in der Größenordnung der atomaren Abstände in Kristallen liegt. Sie werden an den periodisch angeordneten atomaren Bausteinen gebeugt, wobei charakteristische Beugungsbilder entstehen. Diese enthalten Informationen über die atomaren Netzebenenabstände, den Aufbau und die Symmetrie der Kristalle. Im Rahmen des Versuches wird zunächst die Entstehung von Röntgenstrahlen behandelt und das Spektrum einer Cu-Röhre aufgenommen. Zur spektralen Zerlegung der Röntgenstrahlen dient ein NaCl-Einkristall mit kubisch-flächenzentrierter Struktur.

Es werden verschiedene pulverförmige und einkristalline Kristallproben sowohl mit „weißer“ als auch mit (überwiegend) monochromatischer Röntgenstrahlung untersucht, wobei ein Nickel-Metallplättchen als Filter dient, das gerade die Cu- K_{β} -Linie und einen Teil des Bremsspektrums ausfiltert. Ein Experiment mit dieser monochromatisierten Strahlung wird als Debye-Scherrer-Verfahren bezeichnet, das Experiment mit „weißer“ Strahlung als Laue-Verfahren. Untersuchungsgegenstand sind insbesondere Halbleiterschichten (III–V-Halbleiter, z.B. GaAs, InP, Dicke $d \approx 10^{-6}$ m), die im Rahmen laufender Forschungsarbeiten mit Hilfe eines epitaktischen Verfahrens (metallorganische Gasphasenepitaxie-MOCVD) auf einem Substratmaterial aufgebracht werden. Aufgrund der im allgemeinen unterschiedlichen Gitterkonstanten von Substratmaterial und Halbleiterschicht ergibt sich eine Gitterfehlpassung, die mittels der Röntgenuntersuchungen charakterisiert werden kann.

Lernziele bzw. Methoden:

- Erzeugung von und Spektroskopie mit Röntgenstrahlung,
- Röntgenspektroskopie an Kristallen,
- Beschreibung im reziproken Gitter.

Literatur:

H. Krischner: Einführung in die Röntgenfeinstrukturanalyse, Friedr. Vieweg & Sohn, 2.Auflage, Braunschweig (1980)

Ch. Kittel: Introduction to Solid State Physics, Jogn Wiley & Sons, Kapitel 1 und 2

F5 – Kristallfeldanalyse durch Elektronenspinresonanz

Standort: IFP Arbeitsgruppe EPR Forschungszentrum Adlershof

Die Elektronenspinresonanz (ESR) stellt eine mikrowellenspektroskopische Untersuchungsmethode zur Charakterisierung paramagnetischer Zentren in Festkörpern dar.

Untersucht wird die Aufspaltung des Grundzustands des betrachteten Zentrums in einem äußeren Magnetfeld (Zeeman-Effekt), wobei die Größenordnung dieser Aufspaltung auf der Wellenlängenskala in den Bereich der Mikrowellen fällt. Werden nun *resonante* Mikrowellen eingestrahlt, d.h. ist die Resonanzbedingung

$$hf_{MW} = g\mu_B B$$

h : Plancksches Wirkungsquantum

f_{MW} : Mikrowellenfrequenz

μ_B : Bohrsches Magneton

B : magnetische Flußdichte

erfüllt, können Übergänge zwischen den Zeeman-Niveaus induziert werden. Im ESR-Experiment wird die damit verbundene Absorption von Mikrowellenquanten detektiert und so durch Messung von Mikrowellenfrequenz und magn. Flußdichte der g-Faktor bestimmt. Für freie Elektronen, deren magnetisches Moment einzig auf ihrem Spin basiert, ist $g=2$, für freie Atome entspricht g dem Landé-Faktor. Für ein Ion im Kristallfeld ist g nicht länger ein Skalar sondern ein Tensor, der die lokale Symmetrie am Ort des Ions widerspiegelt. Demzufolge hängt der Wert von g in der Resonanzbedingung von der Richtung des Magnetfelds bezüglich der Kristallachsen ab.

Anhand des Beispiels von Cr^{3+} -Ionen, die in einen Al_2O_3 -Kristall eingebaut sind, soll aus der Winkelabhängigkeit des ESR-Spektrums auf die lokale Symmetrie des Zentrums geschlossen werden. Aus den experimentellen Ergebnissen sollen die Parameter des Systems mit Hilfe eines speziell auf die Belange von ESR-Untersuchungen zugeschnittenen quantenmechanischen Formalismus bestimmt werden.

Lernziele bzw. Methoden:

- Mikrowellenspektroskopie,
- Lock-In-Meßtechnik,
- NMR-Magnetfeldmeßung

Literatur:

Orton: „Electron Paramagnetic Resonance“, London Iliffe Books LTD. (1986)

F6 – Photolumineszenzspektroskopie an III-V Halbleitern

Standort: IFP (Arbeitsgruppe Prof. Dr. Kneissl, PN 6-1)

Die strahlende Rekombination von optisch angeregten Ladungsträgern hängt in vielfältiger Weise von der elektronischen Zustandsdichte nahe der Bandkante ab. Somit ist die spektrale Auflösung dieses Lichtes im sichtbaren und nahen Infrarot eine wichtige Methode zur Bestimmung von Verunreinigungen, Stöchiometrieschwankungen oder Verspannungen multinärer heteroepitaktischer Schichten. Diese Ergebnisse liefern wichtige Rückschlüsse auf den Wachstumsprozess in der metallorganischen Gasphasenepitaxie (MOVPE). Im weiteren ist es möglich geworden Quantisierungsphänomene von Elektron-Loch-Paaren in dünnen Halbleiterheterostrukturen zur Qualitätskontrolle der Grenzflächen der Heterostruktur auszunutzen und die Lumineszenzspektroskopie als Standardmethode einzusetzen.

Folgende Experimente sind während der Versuchszeit durchzuführen:

1. Aufnahme und Interpretation von Spektren, gemessen an MOVPE-gezüchteten InP und GaAs Schichten bei verschiedenen Temperaturen und Anregungsdichten.
2. Lumineszenz und Absorptionsmessungen an InGaAs/InP Single Quantum Well Strukturen bei verschiedenen Temperaturen.

Lernziele bzw. Methoden:

- optische Messtechnik,
- Arbeit mit flüssigem Helium,
- Verständniss des Einflusses der Kristallstruktur auf die strahlende Rekombination von Ladungsträgern.

Literatur:

K.-H. Goetz: Dissertation, Institut für Halbleitertechnik, RWTH Aachen, 1984.

J. Christen,: Dissertation, Institut für Festkörperphysik, TU Berlin,1988.

G. Bastard: „*Wave mechanics applied to semiconductor heterostructures*“, monographies de physique.

F7 – Fourierspektroskopie an Festkörpern

Standort: IFP (Arbeitsgruppe Prof. Dr. Kneissl, PN 6-1)

Die Methode der Fourierspektroskopie ist eine Alternative zur klassischen Spektroskopie. Bei der klassischen Spektroskopie wird ein Wellenfeld durch ein Prisma oder Gitter örtlich zerlegt. Die Fouriertransformation vom k -Raum in den Ortsraum geschieht somit in der Apparatur. Bei der Fourier- oder besser Interferenzspektroskopie läßt man das zu untersuchende Lichtwellenfeld lediglich mit sich selbst interferieren und nimmt ein Interferenzspektrum auf. Dieses wird dann mit einem Rechner in das eigentliche Frequenzspektrum fouriertransformiert.

Die Methode der Fourierspektroskopie eignet sich besonders gut im infraroten und sichtbaren Spektralbereich. Das im Versuch vorhandene Spektrometer deckt den Bereich von ca. $k = 9000 \text{ cm}^{-1}$.. 20000 cm^{-1} ab. Es bietet die Möglichkeit, Transmissionsspektren von z. Bsp. Band- und Kantenfiltern bzw. Halbleiterproben aufzunehmen.

Die zur Verfügung stehenden Halbleiterproben sind InAs, InP, GaAs, GaP, Si und ZnSe. Es soll jeweils das Fundamentalgap dieser Proben bestimmt werden. Zur Justage stehen eine HeNe-Laser und diverse Filter zur Verfügung. Weiterhin läßt sich ermitteln, ob das Fundamentalgap ein direkter oder ein indirekter Bandübergang ist.

Ein weitere Besonderheit des vorhandenen Spektrometers ist die äußerst bescheidene Gesamtgröße von $21 * 28 * 7 \text{ cm}^3$.

Lernziele bzw. Methoden:

- Methode der Fourierspektroskopie,
- Umgang mit moderner Meßaufzeichnung und -auswertung mittels eines Rechners,
- Bandstrukturen von Halbleitern und deren optische Bestimmung im Vergleich zu Literaturdaten.

Literatur:

P. Grosse: Fourierspektroskopie, Beckman-Report 1/70

Ibach-Lüth: Festkörperphysik, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg

Kuzmany: Festkörperspektroskopie, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg

F8 – Ellipsometrie

Standort: IFP (Arbeitsgruppe Prof. Dr. Kneissl, PN 6-1)

Die Ellipsometrie ist ein Meßverfahren der Polarisationspektroskopie zur Bestimmung der optischen Eigenschaften von Festkörpern. In dem Praktikumsversuch wird ein Ellipsometer in PSRA (polarizer, sample, rotating analyzer) Anordnung verwendet. Es wird linear polarisiertes Licht auf die Probe eingestrahlt. Da sich das Reflexionsvermögen parallel (R_p) und senkrecht (R_s) zur Einfallsebene sowohl im Betrag als auch in der Phase unterscheidet, ist das reflektierte Licht im Allgemeinen elliptisch polarisiert. Dieser Polarisationszustand wird mit Hilfe eines rotierenden Analysators gemessen und daraus das komplexe Reflexionsverhältnis ρ bestimmt.

$$\rho = R_p/R_s = \tan(\psi) * \exp(i * \delta)$$

Mit dem Zwei- bzw. Drei-Phasen Modell lassen sich daraus die optischen Größen (Brechzahl n und Absorption k) bzw. die die komplexe dielektrische Funktion ε berechnen. Es lassen sich damit auch Schichtdicken und Zusammensetzung der Proben bestimmen.

Lernziele bzw. Methoden:

- Polarisationspektroskopie
- dielektrische Funktion, Zwei- und Drei-Phasen Modell
- computerunterstützte Auswertung

Literatur:

Ibach-Lüth Festkörperphysik, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg

Bauer, Richter Optical Characterization of Epitaxial Semiconductor Layers, Springer Verlag, Berlin Heidelberg

Azzam, Bashara Ellipsometry and Polarized Light, North-Holland Publishing Comp.

F10 – Rasterkraftmikroskopie

Standort: IFP (Arbeitsgruppe Prof. Dr. Kneissl, PN 6-1)

Die Rasterkraftmikroskopie ist ein modernes Verfahren zur direkten Abbildung der Oberflächenstruktur einer Probe auf atomaren Höhenskalen. Dazu wird eine Spitze in geringem Abstand über die Probenoberfläche bewegt. Diese Spitze sitzt auf dem sogenannten Cantilever. Die Kraft, resultierend aus der Wechselwirkung Spitze-Probe wird zur Abstandsregelung benutzt. Die Höhenauflösung (z-Richtung) ist 0.1 nm und besser, die laterale Auflösung (in x- und y-Richtung) ist dagegen durch Spitzenradius und -form limitiert. Typischerweise beträgt sie die 10-60 nm bei einer neuen Spitze. Nur mit hohem Aufwand ist es 1999 gelungen, die Oberfläche von NaCl / (Kochsalz) mit dem AFM in atomarer Auflösung abzubilden.

Lernziele bzw. Methoden:

- Kennenlernen der Funktionsweise von Rasterkraftmikroskopen
- Statistik einer Oberfläche: Rauigkeit, Autokorrelation, Periodizitäten
- Vermessung von epitaktisch gewachsenen Proben (Rauigkeit, Periodizitätslängen, Facettengeometrie) die konkrete Aufgabenstellung richtet sich nach den Proben.

Literatur:

Handbuch zum Nanoscope III; Digital Instruments, (1996) Lektüre empfiehlt sich während der Messungen im dunklen Keller

Scanning Tunneling Microscopy II: Further Applications and Related Scanning Techniques; R. Wiesendanger and H.-J. Güntherodt, editors, Springer Verlag, (1995)

Surface Analysis with STM and AFM: Experimental and Theoretical Aspects of Image Analysis; S. N. Magonov and M.-H. Whangbo, VCH, Weinstein, New York, (1996)

F11 – Anti-Stokes-Lumineszenz von CdS-Kristallen

Standort: IFP (Arbeitsgruppe Prof. Dr. Thomsen, PN 5-4)

Photolumineszenzmessungen sind eine Standardmethode zur Charakterisierung von Halbleitern. Typische Lumineszenzerscheinungen in II-VI Halbleitern sind bandkanten nahe Emissionen. Die Form und die spektrale Lage dieser Banden hängen von der Kristallqualität und der Störstellenkonzentrationen ab. Eine derartige Bande ist die grüne Lumineszenz in CdS, die bei tiefen Temperaturen ($T < 100\text{K}$) beobachtet werden kann. Diese Lumineszenz kann durch UV-Licht (Band-Band-Anregung) und durch rotes Licht (Anti-Stokes-Lumineszenz) angeregt werden. Im zweiten Fall erfolgt die Anregung sowohl über reelle Störstellen-Niveaus (2-Stufen-Prozeß) als auch über virtuelle Zwischenniveaus (2-Photonen-Prozeß bei hoher Photodichte).

Im Rahmen des Versuches sollen die spektrale Verteilung der Lumineszenz und ihr Anregungsspektrum bei $T = 77\text{ K}$ aufgenommen werden. Die Ergebnisse sind im Bändermodell zu diskutieren.

Lernziele bzw. Methoden:

- Spektralanalyse mit Prismenmonochromatoren
- Lumineszenz- und Anregungsspektroskopie
- Bändermodell des Festkörpers
- optische Eigenschaften flacher und tiefer Störstellen

Literatur:

Bartolo, B. di; Optical Interactions in Solids; New York u.a., Wiley 1968
Kuzmany, H.; Festkörperspektroskopie, Eine Einführung; Berlin/Heidelberg u.a., Springer 1990
Bergmann, L./Schäfer, Cl.; Lehrbuch der Experimentalphysik, Band 6, Festkörper; Berlin/New York, Walter de Gruyter 1992
Landolt, H./Börnstein, R.; Zahlenwerte und Funktionen aus Naturwissenschaften und Technik, Gruppe 3, Band 17b; Berlin/Göttingen/Heidelberg, Springer 1982

F12 – Anwendungen der Ramanspektroskopie

Standort: IFP (Arbeitsgruppe Prof. Dr.Thomsen, PN 5-4)

Ramanstreuung ist inelastische Streuung von Licht an elementaren Anregungen, meist Gitterschwingungen im Kristall. Hieraus gewonnene Spektren enthalten u.a. Informationen über Materialzusammensetzung, Qualität und Temperatur des Kristalls.

In den Kristall einfallendes Licht der Frequenz ω_i wird hauptsächlich elastisch gestreut. Durch angeregte Quasiteilchen, z.B. optische Phononen erfahren die Kristallatome eine Änderung ihrer Polarisierbarkeit mit ω_R . Im Spektrum existieren nun schwache Seitenbänder aus unelastischen Streuprozessen mit den Frequenzen $\omega_{AS} = \omega_i + \omega_R$ und $\omega_S = \omega_i - \omega_R$. Der Raman Effekt beruht auf einer Änderung der Polarisierbarkeit des Kristalls mit der Phononenfrequenz. Die Phononmoden selbst sind durch die atomare Geometrie der Probe vorgegeben. Dabei spielen vor allem die Massen der Atome, deren Bindungen sowie die Periodizität des Gitters eine entscheidende Rolle. Eine genauere Betrachtung der Eigenschaften von Phononen findet man im Ibach Lüth.

Mit Ramanspektroskopie lassen sich die Phononen eines Materials messen und damit indirekt auch die kristalline Qualität (Linienbreite der Moden), Komposition (Energie der Moden) aber auch unter Umständen Verunreinigungen (neue Moden die für neuauftauchende Bindungen) oder Dotierungen (Kopplung der Phononen mit freien Ladungsträgern). Für mehr Informationen dazu sei auf die Literatur verwiesen.

Lernziele bzw. Methoden:

- optische Spektroskopie
- Monochromatoren
- Phononen, Kristallstruktur
- inelastische Streuprozesse

Literatur:

Festkörperphysik - Eine Einführung in die Grundlagen; H. Ibach and H. Lüth, Springer Verlag, (1981)

Phonon Raman Scattering in Semiconductors, Quantum Wells and Superlattices, Basic Results and Applications; T. Ruf, Springer

F13 – Strom-Spannungs und Kapazitäts-Spannungs Kennlinien

Standort: IFP (Arbeitsgruppe Prof. Dr. Kneissl, PN 6-1)

Metall-Halbleiter-Kontakte haben zwei fundamentale Anwendungen in der Halbleitertechnologie. Zum einen werden sie zur Kontaktierung von Halbleitern benötigt, wenn diese z.B. mit Leiterbahnen verbunden werden (ohmsche Kontakte). Zum anderen haben Metall-Halbleiter-Übergänge häufig die Eigenschaft, auf elektrischen Strom, gleichrichtend zu wirken. Diese Diodencharakteristik wird in Halbleiterbauelementen (Schottkydiode, MESFET) genutzt.

In diesem Versuch werden Schottkydioden, die durch Aufdampfen von Metallen auf III-V Verbindungshalbleiter (z.B. GaAs, InP) hergestellt wurden, elektrisch charakterisiert. Die verwendeten Methoden, Strom-Spannungs (I-V)- und Kapazitäts-Spannungs (C-V)-Messungen, ermöglichen die Untersuchung der Potentialbarriere und der Raumladungszone, die sich im Halbleiter ausbilden und für die Diodencharakteristik verantwortlich sind. Die Messungen und die Auswertung werden an einem rechnergesteuerten Messplatz durchgeführt.

Lernziele bzw. Methoden:

- Strom-Spannungs- und Kapazitäts-Spannungs-Messung,
- computergesteuerte Messdatenerfassung,
- nicht lineare Parameterfits,
- Bändermodell,
- Stromtransportmechanismen,
- Schottkymodell, ohmsche Kontakte.

Literatur:

Sze: Physics of Semiconductor Devices, 2nd Edition, J.Wiley & Sons, 1981
Rhoderick, Williams: Metal-Semiconductor Contacts, Clarendon Press, Oxford, 1988

F20 – Reflexions Anisotropie Spektroskopie (RAS)

Standort: IFP (Arbeitsgruppe Prof. Dr. Kneissl, PN 6-1)

Reflexions-Anisotropie-Spektroskopie (RAS) ist eine zerstörungsfreie optische Meßmethode, mit der in erster Linie die *Oberfläche* von Festkörpern untersucht werden kann. RAS benötigt im Gegensatz zu auf Elektronenbeugung basierenden Techniken wie LEED oder RHEED kein Vakuum und ist daher relativ problemlos an verschiedenste Wachstums-’Umgebungen’ anpaßbar. Im Gegensatz zur spektroskopischen Ellipsometrie benötigt man im Wesentlichen nur ein einzelnes optisches Fenster, welches senkrechten Lichteinfall auf die Probe ermöglichen muß. Das ermöglicht eine leichte und schnelle Justage der Apparatur.

RAS wird daher in zunehmendem Maße in der Halbleiterindustrie zur *in situ*-Kontrolle der einzelnen Wachstumsschritte eingesetzt, d.h. man kann Qualität und Eigenschaften einer auf einem Wafer aufgetragenen Schicht bereits während des Wachstums kontrollieren und gegebenenfalls gegensteuern bzw. den Prozeß abbrechen.

Lernziele bzw. Methoden:

- Polarisationsmodulierte Spektroskopie
- Oberflächensensitive Messmethode
- die konkrete Aufgabenstellung richtet sich nach der verfügbaren Apparatur, bzw. Proben.

Literatur:

Scholz, S. Polarisationsmodulierte Reflexion an Halbleiteroberflächen, Diplomarbeit (1992) (beim Betreuer erhältlich)

Stahrenberg, K. Messen mit der RAS, Laborpraktikumsbericht (1994) (beim Betreuer erhältlich)

Rumberg, J. RAS für Doofe, (1994) (beim Betreuer erhältlich)

Skript: <http://www.physik.tu-berlin.de/institute/IFFP/richter/new/lehre/fp/scripts/f20.pdf>

F21 – Winkelaufgelöste Lichtstreuung (ARS), Rauigkeiten

Standort: IFP (Arbeitsgruppe Prof. Dr. Kneissl, PN 6-1)

Licht wird an beliebigen Objekten und Teilchen gestreut. Für Teilchen und Strukturen die sehr viel kleiner als die Wellenlänge des Lichts ist bezeichnet man den Mechanismus als Rayleigh-Streuung. Sind die Objekte sehr viel größer als die Wellenlänge, läßt sich die Streuung durch Reflektion an der Oberfläche beschreiben. Im Bereich der Streuung an Strukturen in der gleichen Größenordnung wie die Wellenlänge gibt es einen Übergangsbereich der als Mie-Streuung bezeichnet wird.

In der winkelaufgelosten Lichtstreuung bestimmt man die räumliche Verteilung des gestreuten Lichts. Je nach Probe und Fragestellung lassen sich Rückschlüsse auf die zu untersuchende Probe ziehen. Anwendungsbeispiele finden sich in der Umweltanalytik (z.B. Bestimmung von Zahl und Form von Schwebstoffen in der Luft) in der Qualitätskontrolle (z.B. Papierherstellung, Homogenisierung von Milch).

In der Festkörperphysik wird die Lichtstreuung meist zur Bestimmung von Rauigkeiten (Rayleigh- Streuung) aber auch zur Bestimmung von Kohärenzlängen und Periodizität von periodischen Strukturen auf Halbleitern eingesetzt.

In diesem Versuch soll an Hand verschiedener Proben die Möglichkeiten der Lichtstreuung gezeigt werden, sowie verschiedene Streumechanismen demonstriert werden.

Lernziele bzw. Methoden:

- Statistik einer Oberfläche: Rauigkeit, Autokorrelation, Periodizitäten
- Rayleigh-, Miestreuung, Beugung
- dielektrische Funktion

Literatur:

Bergmann-Schaefer: Lehrbuch der Experimentalphysik, volume III, Optik. Walter de Gruyter & Co, Berlin, 1974.

Max Born and Emil Wolf. Principles of optics: electromagnetic theory of propagation, interference and diffraction of light. Pergamon Press., 1964.

J. A. Ogilvy. Theory of Wave Scattering from Random Rough Surfaces. Adam Hilger, 1997.

Skript unter: <http://www.physik.tu-berlin.de/institute/IFFP/richter/new/lehre/fp/scripts/fp-ars.pdf>

F22 – Reflexions- und Transmissionsspektroskopie an Halbleitern

Standort: IFP (Arbeitsgruppe Prof. Dr. Kneissl, PN 6-1)

Reflexions- und Transmissionsspektroskopie ist eine der ältesten optischen Methoden zur Untersuchung von Stoffeigenschaften. Schon das bloße Hindurchschauen durch einen transparenten Gegenstand oder die Beobachtung der Reflexion an einer glatten Oberfläche ist ja im weitesten Sinne bereits Spektroskopie.

In diesem Versuch sollen die optische Eigenschaften einiger ausgewählter Halbleiter im Spektralbereich vom nahen Infrarot bis zum nahen Ultraviolett untersucht werden. Ziel ist es, mittels Reflexions- und Transmissionsspektroskopie die dielektrische Funktion bzw. den komplexen Brechungsindex zu bestimmen und daraus Rückschlüsse auf die Bandstruktur des Halbleiters zu ziehen.

Lernziele bzw. Methoden:

- optische Spektroskopie,
- Konzept der dielektrischen Funktion,
- Kramers-Kronig-Transformationen
- Bandstruktur von Halbleitern.

Literatur:

Ralf Arnold: (*fast*) *Alles über die IR-Spektroskopie*, www.ir-spektroskopie.de

Peter Y. Yu, Manuel Cardona: *Fundamentals of Semiconductors*, 2nd edition, Springer-Verlag 1999

Edward D. Palik (ed.): *Handbook of Optical Constants of Solids I+II*, Academic Press, Inc.

Skript: <http://www.physik.tu-berlin.de/institute/IFFP/richter/new/lehre/fp/scripts/F22.pdf>

F23 – Gewinnmessung nach Hakki und Paoli

Standort: IFP (Arbeitsgruppe Prof. Dr. Bimberg, PN 5-2)

In diesem Versuch soll das temperatur- und ladungsträgerabhängige Gewinnsspektrum von Halbleiter-Laserdioden bestimmt werden.

Lernziele bzw. Methoden:

- Bandstruktur und Bandlücke von Halbleitern
- Absorption und Verstärkung optischer Strahlung in Halbleitern
- Aufbau und Funktionsweise einer Halbleiterlaserdiode
- Funktionsweise und Auflösung eines optischen Gitters bzw. Gittermonochromators
- Gewinnmessung nach Hakki und Paoli

Literatur:

H. Ibach und H. Lüth, Festkörperphysik - Eine Einführung in die Grundlagen, Springer Verlag, 1981

G.H.B. Thompson, Physics of Semiconductor Laser Devices, Verlag John Wiley & Sons, 1980

Skript unter: http://www.physik.tu-berlin.de/institute/IFFP/richter/new/lehre/fp/scripts/F23_Hakki_Paoli.pdf

M3 – Entwurf und Realisierung digitaler Filter

Standort: IFP (Arbeitsgruppe Prof. Dr. Bimberg, PN 5-2)

Im Gegensatz zu analogen Filtern erlauben digitale Filter mit ein und derselben elektronischen Schaltung (hier: Mikroprozessor oder PC) unterschiedliche Filtercharakteristiken zu realisieren. Ferner sind digitale Filter extrem stabil und eignen sich auch problemlos zur Verarbeitung von Signalfrequenzen unterhalb von 1 Hz, wie sie beispielsweise bei Erdbebenmessungen auftreten. Ihr Einsatz ist zum Beispiel in CD-Playern. Die theoretische Grundlage eines digitalen Filters bildet die Fourier-Transformation.

In diesem Versuch sollen digitale FIR-Filter (FIR: Finite Impuls Response) berechnet und angewendet werden. Nachdem mit Hilfe der vorgegebenen Literatur die einzelnen Schritte zur Berechnung von FIR-Filtern ermittelt sind, können diese mit den entsprechenden Programmen auf einem Rechner mit CPM-Betriebssystem realisiert werden. Bevor die Filter zum Einsatz kommen, wird die Linearität der verwendeten Analog/Digital- und Digital/Analog-Wandler überprüft und ihre Auflösung ermittelt. Die auf dem CPM-Rechner sowie einem Signalprozessorentwicklungssystem arbeitenden digitalen Filter sollen bezüglich Frequenz- und Phasengang charakterisiert werden und ihre Impulsantworten sind zu ermitteln. Abschließend kann auf einem Signalprozessorsystem eine Fast-Fourier-Transformation beliebiger Eingangssignale in Echtzeit durchgeführt werden. Das System arbeitet dann wie ein Spektrum-Analyser.

Lernziele bzw. Methoden:

- Abtasttheorem,
- analoge und digitale Fourier-Transformation,
- Fast-Fourier-Transformation (FFT),
- FIR-Filter.

Literatur:

S.A. Azizi: Entwurf und Realisierung digitaler Filter, Oldenburg-Verlag, München-Wien (1981)
E.O. Brigham: FFT - Schnelle Fourier Transformation, Oldenburg Verlag, München-Wien (1982)

M6 – Lichtmodulation durch Ultraschall (M6)

Standort: OI (Arbeitsgruppe Prof. Dr. Bostanjoglo, P 11)

In einer Flüssigkeit (dest. Wasser bzw. Propanol) wird mit Hilfe eines Hochfrequenzsenders und eines Schwingquarzes eine Ultraschallwelle erzeugt. Die stehende bzw. laufende Ultraschallwelle wird als Beugungsgitter für kohärentes Licht eingesetzt (Debye-Sears-Effekt). Die stehende Ultraschallwelle wird sowohl durch Beugung als auch durch Abbildung photographisch nachgewiesen. Aus der photographischen Aufnahme des Beugungsbildes und durch Auswertung der Frequenz und Wellenlänge kann die Geschwindigkeit der Schallwelle im Medium bestimmt werden. Die durch die Ultraschallwelle verursachte zeitliche Modulation des gebeugten Laserlichtes wird mit Hilfe einer PIN-Photodiode und eines Oszilloskopes nachgewiesen.

Lernziele bzw. Methoden:

- Verkoppelung kohärenter Lichtquellen (Laser) und elektronischer Messtechnik (Oszilloskop, PIN-Diode)
- Ultraschallmethoden.

Literatur:

L. Bergmann: „Der Ultraschall“, Hirzel, Stuttgart 1954 8Bp830
Born-Wolf: Principles of optics, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg

4 Optik

O1 – Rubinlaser

Standort: OI Arbeitsgruppe Prof. Dr. Eichler, P 11)

Laser haben in den verschiedensten Gebieten, wie Nachrichtentechnik, Meßtechnik, Materialbearbeitung und Medizin, starke Verbreitung gefunden. Die Grundlagen der Lasertechnik und Kenntnis der speziellen optischen Komponenten werden am Beispiel des Rubinlasers vermittelt sowie Anwendungen in der nichtlinearen Optik untersucht.

Rubin ist ein kristalliner Festkörper aus Saphir (Al_2O_3), in dem ein geringer Anteil der Aluminium-Ionen durch Chrom-Ionen ersetzt sind. Die Cr-Ionen können zur Aussendung von rotem Laserlicht (Wellenlänge 694 nm) angeregt werden, der Kristall wird dazu optisch gepumpt. Im Versuch befinden sich der Rubinkristall und zwei Blitzlampen in einem verspiegelten Laserkopf. Zum Laser gehört außerdem ein optischer Resonator, der durch zwei dielektrische Spiegel gebildet wird. Rubinlaser sind effiziente Puls laser im sichtbaren Spektralbereich, sie werden beispielsweise für die Holografie eingesetzt.

Die Übungsteilnehmer sollen zunächst einen Rubinlaser aufbauen und justieren. Daran werden u.a. Untersuchungen zum zeitlichen Verlauf und zur Energie der Laserstrahlung vorgenommen. Weiterhin wird der Laser durch den Aufbau einer Güteschaltung so modifiziert, daß sich kurze, intensive Lichtimpulse erzeugen lassen.

Lernziele bzw. Methoden:

- Kenntnis und Anwendung optischer Bauelemente,
- optische Resonatoren,
- optisches Pumpen,
- stimulierte Emission,
- Kristalloptik,
- nichtlineare Optik,
- Detektion von Laserstrahlung,
- elektronische Meßtechnik

Kenntnisse für die Vorsprache:

Absorption und Emission von Licht, Lichtverstärkung, Linienverbreiterung, Resonatoren, Moden, Schwellbedingung, Güteschaltung; Versuchsprogramm

Literatur:

L. Bergmann C. Schäfer: Lehrbuch der Experimentalphysik Bd. III Optik, W. de Gruyter, Berlin (1993)

F.K. Kneubühl, M.W. Sigrist: Laser, Teubner Studienbücher Physik, B.G. Teubner, Stuttgart 1989 (*wird an die Teilnehmer ausgegeben*)

H. Weber, G. Herziger: Laser, Grundlagen und Anwendungen, Physik Verlag

J. Eichler, H.J. Eichler Laser: Grundlagen, Systeme, Anwendungen, Springer-Verlag, Berlin 1991

R.W. Boyd: Nonlinear Optics, Academic Press, New York 1992

Y.R. Shen: Nonlinear Optics, Wiley & Sons, New York 1984

O2 – Ortsfrequenzfilterung

Standort: OI (Arbeitsgruppe Prof. Dr. Bostanjoglo, P 11)

Ein Kreuzgitter wird mit kohärentem Licht in einer zweistufigen Anordnung vergrößert abgebildet. Durch definierte Eingriffe im Fraunhoferschen Beugungsbild des Kreuzgitters (Aperturbeschneidung, Ortsfrequenzfilterung) wird der Zusammenhang zwischen primärem und sekundärem Bild untersucht und anhand der Kirchhoffschen Beugungstheorie diskutiert. Die Aufgabe führt in die Theorie der Lichtbeugung und der Bildentstehung bei kohärenter Beleuchtung ein. Experimentell wird der Zusammenhang von Objekt, Fraunhoferschem Beugungsbild und Bild des Objektes mit Hilfe einer mikrooptischen Bank und eines Lasers als Lichtquelle untersucht.

Lernziele bzw. Methoden:

- quantitative Beschreibung der Bildentstehung;
- Ortsfrequenzanalyse und -filterung.

Literatur:

Born: Optik, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg

Born-Wolf: Principles of optics, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg.

Bergmann-Schaefer: Lehrbuch der Experimentalphysik, Band III Optik, W. de Gruyter, Berlin (1993)

Francon: Holografie, Springer, Berlin

O3 – Nd:YAG Laser

Standort: OI (Arbeitsgruppe Prof. Dr. Bostanjoglo, P 11)

Durch den Einbau von Nd - Ionen in YAG Wirtskristalle läßt sich ein aktives Medium für Puls laser erzeugen, das eine sehr niedrige Pumpschwelle besitzt und mit dem ein echter 4-Niveau-Betrieb bei Raumtemperatur für den Übergang bei 1064 nm möglich ist. Wird ein Nd:YAG Kristall in einen geeigneten optischen Resonator eingesetzt, mit einer Xe-Blitzlampe gepumpt und mit einer Pockelszelle gütegeschaltet, dann lassen sich äußerst intensive Lichtpulse mit Halbwertsbreiten im Nanosekunden-Bereich erzeugen, die bei Fokussierung mit einer Linse hervorragend zur Bearbeitung verschiedenster Materialien geeignet sind. Das Laserlicht (1064 nm) läßt sich außerdem sehr effizient in geeigneten nichtlinearen Medien (KDP oder KTP) frequenzverdoppeln (532 nm).

Der Versuch gibt die Möglichkeit, den am häufigsten eingesetzten Festkörper laser (Medizin, Messtechnik, Materialbearbeitung) kennenzulernen. Ein optisch gepumpter Nd:YAG Laser, der mit einer Xe-Blitzlampe im Pulsbetrieb angeregt wird, soll justiert und in Betrieb genommen werden. Das Emissionsverhalten des nichtgütegeschalteten Lasers (spiking) und des aktiv gütegeschalteten Lasers (Q-switch) wird beobachtet. Die Modenstruktur des frequenzverdoppelten Laserlichtes wird in Abhängigkeit vom Modenblendendurchmesser untersucht. Es können auf Wunsch verschiedene Materialien mit dem Laser bearbeitet werden.

Lernziele bzw. Methoden:

- Aufbau und Justierung eines Puls lasers,
- nichtlineare Optik,
- Laser-Resonatoren,
- Theorie des Lasers,
- Erfassung kurzer optischer und elektronischer Signale und Pulstechnik.

Literatur:

Kneubuehl-Siegrist: Laser, Teubner Studienbücher, B.G. Teubner, Stuttgart 1988

W. Koechner: Solid-State Laser Engineering, Springer Series in Optical Sciences, Springer-Verlag

O4 – Holographie

Standort: OI (Arbeitsgruppe Prof. Dr. Bostanjoglo, P 11)

Bei der konventionellen Photographie wird nur die Intensität der einfallenden elektromagnetischen Welle aufgezeichnet. Die Holographie ermöglicht durch Überlagerung zweier elektromagnetischer Wellen (Referenz und Objektwelle) zusätzlich auch die Speicherung der Phase, so daß die räumliche Objektinformation nicht verlorengeht. Durch Überlagerung einer ebenen Welle mit einer Kugelwelle ergibt sich auf der Fotoplatte als Interferenzstruktur eine Fresnel'sche Zonenplatte. Wird die entwickelte Fotoplatte mit einer ebenen Welle beleuchtet, so wirkt diese gleichzeitig als Sammel- und Zerstreuungslinse (virtuelles Bild, reelles Bild) und rekonstruiert somit den Ausgangspunkt der Kugelwelle. Wird die Kugelwelle durch das von einem Objekt ausgehende Lichtwellenfeld ersetzt, so kann das bei der Interferenz mit der Referenzwelle entstehende Muster als Überlagerung von Fresnel'schen Zonenplatten gedeutet werden. Bei der Rekonstruktion ergibt sich ein reelles und virtuelles Bild des Objektes.

Die Aufgabe führt in die Grundlagen der holographischen Bildspeicherung ein. Nach dem selbständigen Aufbau eines holographischen Strahlenganges sollen folgende Versuchspunkte bearbeitet werden:

1. Aufnahme von Amplituden und Phasenhologrammen sowie Rekonstruktion des virtuellen und reellen Bildes
2. Mikroskopische Untersuchung eines Hologramms.

Darüberhinaus können bei Interesse weitergehende Untersuchungen an Hologrammen durchgeführt (z.B. Beugungswirkungsgrad bestimmen) sowie Weißlichthologramme hergestellt werden.

Lernziele bzw. Methoden:

- Aufnahme von Hologrammen,
- Laser,
- Kohärenzbegriff,
- Fresnel'sche Zonenplatte,
- Bildentstehung,
- Elektronen-Holographie,
- Weißlichtholographie

Literatur:

M. Francon: Holographie, Springer-Verlag, Berlin (wird zur Verfügung gestellt)

G.W. Stroke: An introduction to coherent optics and holography, Academic press, New York

O8 – Holographische Interferometrie

Standort: OI (Arbeitsgruppe Prof. Dr. Kross, P 11)

Mit Hilfe der holographischen Interferometrie können sehr geringe Deformationen von beliebig geformten Körpern zerstörungsfrei gemessen werden (Deformationen > 100 nm). Je nach Art der Deformation (statisch oder dynamisch) werden entweder ein Doppelbelichtungs- oder ein real-time-Verfahren angewandt.

Doppelbelichtungsverfahren: Interferenz zwischen dem ungestörten Objekt und dem verformten Objekt

Real-time-Verfahren: Interferenz zwischen der Rekonstruktion des ungestörten Objekts und dem sich dynamisch verformenden Objekt.

Im Rahmen des FP-Versuchs wird ein Doppelbelichtungshologramm von einer zu verbiegenden Metallplatte aufgenommen. Des Weiteren werden mittels des real-time-Verfahrens eine Schwingungsanalyse einer Kopfhörermembran vorgenommen, sowie Schlieren um eine Glühlampe herum sichtbar gemacht. Neben der qualitativen Analyse der Hologramme wird auch eine quantitative Auswertung der Plattenbiegung sowie der Schwingungsamplituden vorgenommen.

Lernziele bzw. Methoden:

- Verschiedene Holographiearten,
- Interferenz,
- Kohärenz,
- Laser

Literatur:

Vest, C.M.: Holographic Interferometry, Wiley, N.Y. (1979)

Hariharan, P.: Optical Holography, Cambridge University Press, Cambridge 1984, Kap. 14, 15

Schumann, Zürcher, Cuhe: Holography and Deformation Analysis, Springer Verlag, Berlin 1985, Kap. 4, 5

O9 – Totalreflexion

Standort: OI (Arbeitsgruppe Prof. Dr. Kross, P 11)

Beim Übergang von einem optisch dichteren in ein optisch dünneres Medium tritt ab einem bestimmten Einfallswinkel Totalreflexion auf. Dabei wird der totalreflektierte Lichtstrahl nicht an dem Punkt der Grenzfläche reflektiert, an dem er auf diese auftrifft, sondern seitlich versetzt. Dieser Effekt wird Goos-Hänchen-Effekt genannt nach den beiden Physikern, die diese Versetzung 1947 erstmals gemessen haben.

Im Rahmen des FP-Versuchs wird diese Strahlversetzung nach verschiedenen Methoden gemessen. Außerdem werden die Abhängigkeiten des Effekts von Polarisation und Einfallswinkel untersucht. Mit dem Begriff „Strahl“ wird vertraut gemacht.

Lernziele bzw. Methoden:

- Totalreflexion und Anwendungen,
- Polarisationsoptik,
- Reflexion an Metallen und Nichtmetallen

Literatur:

Hecht, E. Optics, 2nd edition, Addison-Wesley, chapters 4,8,9

Goos, F., Hänchen, H.: Ein neuer fundamentaler Versuch zur Totalreflexion, Ann. Physik 6. Folge, **1**, S.333-346 (1947)

Wolter, H.: Untersuchungen zur Strahlversetzung bei Totalreflexion des Lichts mit der Methode der Minimumstrahlkennzeichnung, Z. Naturforschg. **5a**, S.143-153 (1950)

Bergmann Schäfer: Lehrbuch der Experimentalphysik, Bd. III, Optik, 8. Auflage, W. de Gruyter, Berlin (1987), Kap. 4

O10 – Messungen an einem diodengepumpten Festkörperlaser

Standort: OI (Arbeitsgruppe Prof. Dr. Bostanjoglo, P 11)

Festkörperlaser, deren typischer Vertreter der Nd:YAG Laser ist, haben sich dank ihres einfachen Aufbaus in vielen Einsatzgebieten wie Materialbearbeitung, Meßtechnik, Medizin und Forschung etabliert. Durch den Einsatz von Laserdioden zum Pumpen des Festkörperlasers werden neben einer kompakten Bauweise günstige Eigenschaften wie z.B. hohe thermische Stabilität wegen geringer Aufheizung des aktiven Mediums erzielt. Da sich mittels der Laserdioden das Pumplicht präzise und schnell steuern läßt, lassen sich an diodengepumpten Festkörperlasern dynamische Prozesse besonders gut studieren.

Durch die wechselseitige Beeinflussung von Inversionsdichte und Photondichte wird beim Beginn des optischen Pumpens ein Einschwingvorgang hervorgerufen, der als „spiking“ bezeichnet wird. Bei periodischem Pumpen zeigt das spiking chaotisches Verhalten, d.h. je nach Wahl der Pumpparameter (Frequenz, Tastverhältnis, Pumpleistung) können die typischen Bereiche chaotischen Verhaltens (Periodizität, Periodenverdopplung, Chaos) durchfahren werden. Der periodische Fall, „Resonanz-spiking“, wird in der Aufgabe experimentell wie theoretisch untersucht. Experimentell zugängliche Ergebnisse wie die periodische Schwankung der Inversionsdichte und deren Verhalten mit der Pumprate werden diskutiert.

Lernziele bzw. Methoden:

- Aufbau des Lasers aus Mikrobank-Systemkomponenten;
- Justierung und Optimierung des Lasers bzw. Resonators nach Kriterien wie Laserschwelle, Spikeeinsatzzeit, Modenstruktur;
- Umgang mit Bilanzgleichungen des 4-Niveau-Systems;
- Verständnis der Vorgänge im aktiven Medium und des dynamischen Verhaltens.

Literatur:

W. Koechner: Solid State Laser Engineering, Springer Series in Optical Science, Springer Verlag

5 Projektversuche

Projektversuche werden jedes Semester neu und meist zu anderen Themen durchgeführt. Es existieren daher in der Regel keine Kurzbeschreibungen oder gar fertige Skripte. Projektversuche werden während der Einteilung der Gruppen direkt von den Betreuern vorgestellt.