

Solarenergie
Forschung und Entwicklung

Photovoltaik

Die Energie der Sonnenstrahlung,

welche die Erdoberfläche erreicht, beträgt ein Vielfaches des gegenwärtigen Weltenergiebedarfs. Mit verschiedenen Technologien ist man bereits heute in der Lage, diese Energie nutzbar zu machen. Die Photovoltaik stellt dabei die einzige Methode dar, das Sonnenlicht direkt in elektrische Energie umzuwandeln.

Der Wirkungsgrad

photovoltaischer Anlagen entspricht dem Verhältnis der gewonnenen elektrischen Energie zur Strahlungsenergie des einfallenden Sonnenlichts. Theoretisch können mit den verschiedenen Solarzellmaterialien Wirkungsgrade von etwa 30 % erreicht werden. Diese Grenze ergibt sich aus der Tatsache, dass ein Teil des Sonnenlichts zu energiearm ist (infrarotes Licht) und nicht absorbiert werden kann. Ein weiterer Teil der Strahlung ist sehr energiereich (blaues Licht) und gibt seine Energie teilweise als Wärme ab. Die besten Solarzellen aus einkristallinem Silizium erreichen im Labor einen Wirkungsgrad von etwa 25 %. Der Wirkungsgrad kompletter Photovoltaikanlagen liegt meist nicht höher als 15 %. Derzeit wird der Photovoltaikmarkt von der Technologie des mono- oder multikristallinen Siliziums beherrscht, bei der Siliziumscheiben mit einer Dicke von etwa 0,3 mm zu Solarzellen prozessiert werden.

Die gegenwärtigen Kosten

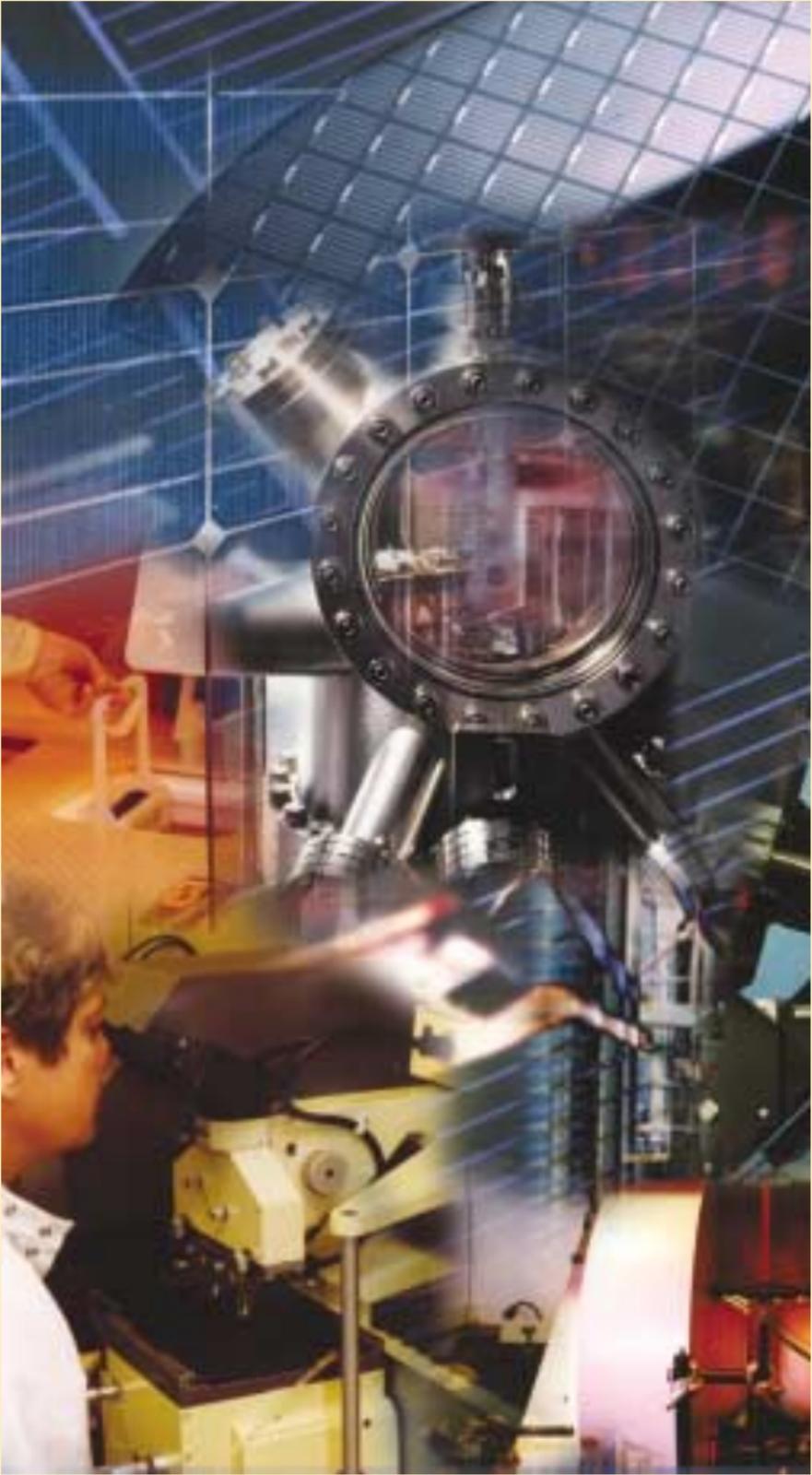
für photovoltaisch gewonnene Elektrizität, in Deutschland etwa 70 Cent pro Kilowattstunde, behindern eine weitergehende terrestrische Anwendung. Die Verbesserung bestehender Technologien und Materialsysteme wie auch die Untersuchung neuer Materialien und Methoden der Energiewandlung beinhalten daher stets als ein Hauptziel die Kostenreduktion.

Bei den Dünnschichttechnologien

gehen geringere Herstellungskosten einher mit weniger Materialverbrauch, einfacherer Produktionstechnologie und höherer Produktivität. Durch energiesparende Prozesse reduziert sich die Energierücklaufzeit: Dünnschichtsolarzellen der nächsten Generation mit Absorberdicken von wenigen Tausendstel Millimetern werden weniger als ein Jahr benötigen, um die in ihre Herstellung geflossene elektrische Energie zu erzeugen.

Die Forschungsarbeiten am HMI

zielen auf die Entwicklung von kostengünstigen Dünnschichttechnologien für die photovoltaische Energiewandlung.



Solarenergieforschung am HMI

Die Herausforderung

Die Solarenergieforschung ist Teil einer Strategie, um die zukünftige stabile und ausreichende Versorgung mit elektrischer Energie sicherzustellen. Die endliche Verfügbarkeit fossiler Brennstoffe sowie deren negativer Einfluss auf Umwelt und Klima stellen vorhersehbare Engpässe in der Energieversorgung dar und erzwingen die Entwicklung solarer Technologien auf der Basis von Nachhaltigkeitskriterien. Im Bereich Solarenergieforschung am Hahn-Meitner-Institut setzen wir den Fokus auf die Entwicklung zukünftiger Generationen von kostengünstigen Dünnschicht-Solarzellen.

Die Dünnschichttechnologie

Mit der Konzentration auf Dünnschichttechnologien verfolgen wir Forschungsprojekte, die auf die Entwicklung von effizienten Solarzellen zielen. Dies soll zu substantiellen Kostensenkungen der solaren Stromerzeugung führen. Die Strategie ist, in enger Zusammenarbeit mit der Industrie existierende und bereits bewährte Optionen zu technologischer Reife zu bringen und, parallel dazu, neue Materialien und Zellenkonzepte der Zukunft zu entwickeln. Der Fokus liegt dabei auf den vielversprechendsten Materialoptionen, nämlich polykristallinem Silizium und Verbindungshalbleitern (I-III-VI₂- und III-V-Halbleitern).

Wissenschaftlicher und technologischer Fortschritt wird durch einen breiten Ansatz in Forschung und Entwicklung erzielt. Grundlegende systematische Forschung ergänzt die empirischen Arbeiten. Die Arbeitsschwerpunkte reichen von grundlegender materialwissenschaftlicher Forschung bis zur industriellen Umsetzung:

- Materialwissenschaftliche Grundlagen;
- Konzepte für Solarzellenstrukturen;
- Solarzellen im Labormaßstab und Prototypen von Modulen;
- Analyse und numerische Simulation der Bauelemente;
- Prozessentwicklung und Prozesskontrolle.

Unsere Arbeiten stützen sich auf modernste physikalische Analyseverfahren für die Untersuchung von Materialien, Zellen und Modulen. Besondere Bedeutung hat dabei die Untersuchung und Präparation von Halbleitergrenzflächen und Defektstrukturen.

Dünnschichtsolarzellen aus kristallinem Silizium

Prof. Dr. Walther Fuhs, SE1, Berlin-Adlershof

Die Forschungsarbeiten zielen auf die Entwicklung der wissenschaftlichen und technologischen Grundlagen einer neuen Generation von Dünnschichtsolarzellen aus polykristallinem Silizium auf kostengünstigen Substraten wie Glas. Solche Zellen stellen eine attraktive Option dar, weil sie die Vorzüge der kristallinen Silizium-Wafertechnologie mit denen der Dünnschichttechnologie verbinden können. Wirkungsgrade im Bereich von 15% können erreicht werden, wenn es gelingt, die Silizium-Kristallite groß im Vergleich zur Dicke der Absorberschicht zu machen ($d = 2-5 \mu\text{m}$). Die Herausforderung ist dabei die Realisierung dieser Forderung auf Glassubstraten, weil dabei die Temperaturen für alle Prozesse auf Werte unterhalb $650 \text{ }^\circ\text{C}$ beschränkt sind.

Im Zentrum der Forschungsarbeiten stehen:

- Rekristallisierungsprozesse zur Herstellung grobkristalliner Saatschichten;
- Wachstumsmechanismen bei Gasphasendeposition (Niedertemperaturepitaxie durch Ionen-unterstützte Abscheidung);
- Entwicklung von Niedertemperaturemittlern (Heterostrukturen);
- Identifizierung von aktiven Defekten und ihre Passivierung;
- Transport- und Rekombinationsmechanismen, die elektronische Struktur von Grenzflächen, Modellierung und numerische Simulation;

Solarzellenkonzepte, die auf Heterostrukturen basieren, sind für alle Arten von kostengünstigen Siliziumabsorbern (multikristallines Silizium, Bandsilizium, polykristalline Schichten) sehr attraktiv. Im Vordergrund der physikalisch und technologisch orientierten Arbeiten stehen derzeit Heterostrukturen von amorphem und kristallinem Silizium (a-Si:H/c-Si) mit verschiedenen Siliziumabsorbern. Für solche Zellen wurde mit monokristallinem Silizium bereits ein Wirkungsgrad von 17% erreicht.

Ansprechpartner:

Dr. Klaus Lips, Telefon: 030-8062-1353,

E-Mail: lips@hmi.de



Heterostruktur-Solarzelle.

Heterogene Materialsysteme

Prof. Dr. Martha Ch. Lux-Steiner, SE2, Berlin-Wannsee

Das langfristige Ziel besteht in der Entwicklung einer Tandemsolarzelle auf der Basis von hochabsorbierenden Verbindungshalbleitern unter Berücksichtigung der technologischen Umsetzbarkeit. Im Vergleich zu Einzel-Solarzellen haben Tandemstrukturen das Potential für einen höheren Wirkungsgrad auf gleicher Fläche.

Die Forschungsaktivitäten erstrecken sich von Grundlagen-orientierten Studien zu Material- und Grenzflächeneigenschaften bis hin zu Bauelement-orientierten Technologien und industriellen Depositionsverfahren. Mittels hochsensitiver Analysetechniken wie Synchrotronstrahlungs- und Ionenstrahldiagnostik sowie der Kelvinsondenkraftmikroskopie werden chemisch strukturelle und elektronische Eigenschaften orts aufgelöst an realen Materialsystemen untersucht.

Photogeneration und Trennung von Ladungsträgern entscheiden über die Effizienz von Solarzellen. Absorberoberflächen, funktionelle Materialien und Grenzflächen werden designed und auf ihr Anwendungspotential hin untersucht. Zusätzlich werden kosteneffiziente und umweltgerechte Depositionsverfahren neu entwickelt. Erforscht werden neue Konzepte in der Photovoltaik und in der Optoelektronik im Allgemeinen, basierend auf anorganischen und organischen Materialien.

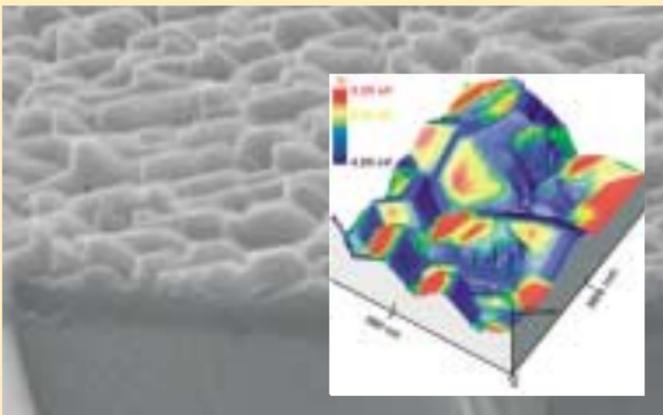
Gegenwärtig verfolgen wir folgende Ziele:

- Cadmiumfreie Dünnschichtsolarzellen auf der Basis von $\text{Cu}(\text{In,Ga})(\text{S,Se})_2$;
- Effiziente $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{S}_2$ - und CuGaSe_2 -Solarzellen mit hohen Leerlaufspannungen;
- Entwicklung infrarot-transparenter Solarzellen als Frontzelle für Tandemstrukturen;
- Prototypen neuer Solarzellenkonzepte wie die hoch strukturierte ETA-Zelle mit extrem dünnem Absorber und die organischen Solarzellen.

Ansprechpartner:

Dr. Thomas Schedel-Niedrig, Telefon: 030-8062-2392,

E-Mail: schedel-niedrig@hmi.de



Kupfer-Gallium-Diselenid-Schicht unter dem Elektronen- und Kraftmikroskop.

Technologie von Solarzellen und Modulen

Dr. Roland Scheer, SE3, Berlin-Wannsee

Die Entwicklung neuartiger Solarzellen erfordert auch neue Technologien und Prozesse zu ihrer Herstellung. Die Abteilung Technologie der Photovoltaik konzentriert sich daher auf anwendungsorientierte Probleme von Dünnschichtsolarzellen. In enger Kooperation mit der Industrie werden Materialien und Prozesse entwickelt und optimiert. Dabei stehen im Mittelpunkt:

- Entwicklung hochproduktiver Depositionsverfahren und Verkapselungstechniken;
- Untersuchung von Prozessstabilität und Langzeitstabilität der Bauelemente;
- Methodenentwicklung für In-situ-Prozessbeobachtung und Qualitätskontrolle;
- Identifikation von Defektmechanismen.

Für die Erforschung neuartiger Technologien steht eine Präparationslinie zur Herstellung von Dünnschichtsolarmodulen zur Verfügung. Als Trägermaterialien kommen feste und flexible Substrate zum Einsatz. Ihre vollständige Prozessierung, von der Substratreinigung bis zur Verkapselung der Module, dient der Erprobung neuartiger Prozessschritte und der Quantifizierung von Prozessausbeuten. Das Ergebnis sind funktionstüchtige, serienverschaltete Module mit Flächenmaßen bis zu $10 \times 10 \text{ cm}^2$. Diese Präparationslinie wird gegenwärtig zur Entwicklung von Modulen auf der Basis von Chalkopyrithalbleitern mit Schwerpunkt auf der neuartigen Verbindung CuInS_2 als lichtabsorbierende Schicht genutzt. Die Präparationslinie dient auch zur Entwicklung von Prozesskontrolle mittels In-situ-Verfahren.

Die Qualität eines solaren Bauelementes und seiner Bestandteile wird mit bildgebenden und berührungslosen Verfahren beurteilt. Ziel ist eine preisgünstige Kontrolle aller Fertigungsschritte für die industrielle Produktion.

Ansprechpartner:

Joachim Klaer, Telefon: 030-8062-2491,

E-Mail: klaer@hmi.de

*Laminiertes
 CuInS_2 -Modul
mit 13 inte-
grierten serien-
verschalteten
Zellen.*



Dynamik von Grenzflächenreaktionen

Prof. Dr. Frank Willig, SE4, Berlin-Wannsee

Die Abteilung hat sehr anspruchsvolle Messtechniken und neue Probenpräparationstechniken entwickelt, mit denen sowohl die günstigste Präparationsweise als auch die Funktionsweise neuer Typen von Solarzellen im Detail aufgeklärt sowie deren Potential für eine Anwendung in der Praxis ermittelt werden. Insbesondere gehören dazu die so genannten Solarzellen der „Dritten Generation“, für die eine Solarenergiekonversion mit Wirkungsgraden größer 30 % vorhergesagt wird. Solarzellen, die bereits experimentell nachgewiesen einen Wirkungsgrad über 30 % aufweisen, sind bis heute ausschließlich als so genannte „multi-junction“ (mindestens zwei unterschiedliche Bandlücken) Zellen mit III-V-Halbleitern realisiert worden. Die Abteilung arbeitet mit letzterem Typ von Halbleitern an der Lösung von zwei bisher noch offenen Punkten.

Auf der Basis von Silizium soll ein wesentlich kostengünstigeres Substrat für III-V-Solarzellen entwickelt werden. Mit III-V-Halbleitern sollen auf der Gitterkonstanten von InP-Solarzellen mit Bandlücken kleiner 1eV realisiert werden. Die Abbildung unten illustriert die Vorgehensweise.

Die III-V-Halbleiter werden im MOCVD-Reaktor (thermische Zersetzung von metallorganischen Verbindungen in der Gasphase) gewachsen, wobei dieser Vorgang über ein optisches Signal (RAS) kontrolliert wird. Die spezifischen Wachstumsparameter zur Herstellung einer gewünschten Grenzfläche werden genau verifiziert. Dazu werden folgende Schritte durchgeführt:

Erstens wird die Probe aus dem MOCVD-Reaktor in das UHV (Ultrahochvakuum) überführt. Zweitens werden im Ultrahochvakuum zur Untersuchung der Probe praktisch alle Messmethoden der Oberflächenphysik (Surface Science) eingesetzt. Dazu gehört insbesondere auch die Messung der Elektronendynamik in Echtzeit mit verschiedenen Techniken bis zu einer Zeitauflösung von unter 10 Femtosekunden (14 Nullstellen nach dem Komma im Zeitmaß einer Sekunde).

Ansprechpartner:

Dr. Thomas Hannappel, Telefon: 030-8062-2674,

E-Mail: hannappel@hmi.de

MOCVD to UHV transfer system



UHV shuttle



Surface
Science



Solare Energetik

Prof. Dr. Helmut Tributsch, SE5, Berlin-Wannsee

Die Aktivitäten konzentrieren sich auf die Erschließung neuer Materialien und innovativer Solarzellenkonzepte für die photovoltaische Strom- und Brennstoffgewinnung unter besonderer Berücksichtigung nasser Energiesysteme. Maßstäbe für die Forschungsorientierung sind die Evolutionserfahrung und erkannte Strategien der Natur, die Kompatibilität mit der Umwelt, der schonende Umgang mit Rohstoffen sowie das Potential für eine möglichst kostengünstige Herstellung.

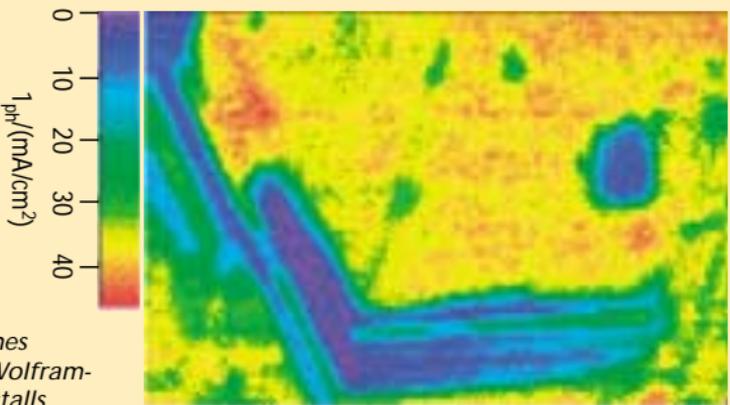
Untersuchungsgegenstände sind:

- Nano-Komposit-Solarzellen, die wegen kinetisch limitierter Ladungstrennung niedrige Ansprüche an die Materialqualität stellen. Als Absorber werden MoS_2 - und WS_2 -Teilchen bevorzugt, welche als d-Band-Materialien inhärent photostabil sind. Mechanismen kinetischer Irreversibilität werden erarbeitet;
- Titan-basierte photovoltaische Brennstoff-Membranen, welche ohne Stromsammlung und mit einer integrierten, vereinfachten CIS-Struktur Licht direkt in Wasserstoff für Brennstoffzellen umwandeln;
- Katalysatoren für Brennstoffzellen, welche auf Edelmetalle verzichten und an ihrer Stelle Eisen, Kobalt und ähnlich häufige Übergangsmetalle nutzen können;
- Die Erschließung neuer Energiesysteme nach biologischem Vorbild unter Verfolgung bionischer Strategien (tensile Wassertechnologie, CO_2 -Fixierung über solar mit Energie versorgte autotrophe Bakterien);
- Elektrochemische bzw. In-situ-Mikrowellen-Optimierung von Grenzflächen;
- Bionische Forschung zur Erschließung kostengünstiger Versiegelungs- und Kühlungstechnologien für Solarzellen.

Ansprechpartner:

Dr. Sebastian Fiechter, Telefon: 030-8062-2927,

E-Mail: fiechter@hmi.de



Photostromverteilung eines p-leitenden Wolframdiselenid-Kristalls.

Elektronische Struktur von Halbleitergrenzflächen

Priv. Doz. Dr. Christian Pettenkofer, SE6, Berlin-Wannsee

Weitergehende Fortschritte in der Entwicklung photovoltaischer Systeme lassen sich nur erzielen, wenn die grundlegenden physikalischen Abläufe an den potentialkontrollierenden Kontaktflächen der unterschiedlichen Zellschichten bekannt sind und gezielt beeinflusst werden können.

Die Optimierung der Bauelemente erfolgt durch Untersuchung der strukturellen, chemischen und elektronischen Eigenschaften der Grenzflächen auf atomarem Niveau. Die Bildung der Grenzflächen und die Herausbildung ihrer Eigenschaften werden durch sehr kontrollierte Präparation der jeweiligen Grenzfläche auch mithilfe von Synchrotronstrahlung bei BESSY untersucht. Zur Erforschung der Morphologie und der elektronischen Struktur der Grenzflächen kommen photoelektronenspektroskopische Methoden zum Einsatz. Forschungsziel ist die Aufklärung der Unterschiede zwischen theoretischen Modellen, beispielhaften Modellsystemen und den Eigenschaften realer Solarzellstrukturen.

Mittelfristig werden folgende Ziele verfolgt:

- In-situ-Analyse der schrittweisen Deposition von Solarzellschichten;
- Einsatz mikrospektroskopischer Methoden für die Untersuchung lateraler Inhomogenitäten (XPEEM);
- Untersuchung technologisch relevanter Depositionsprozesse und deren Analyse;
- Erforschung chemischer Reaktionen an den Grenzflächen zwischen Absorber- und Pufferschicht sowie zwischen Puffer- und Fensterschicht.

Längerfristige Ziele bestehen in der Entwicklung stabiler, elektronisch angepasster Pufferschichten für Multispektralzellen anhand von Modellsystemen.

Ansprechpartner:

Priv. Doz. Dr. Christian Pettenkofer, Telefon: 030-8062-2075,
E-Mail: pettenkofer@hmi.de



Das „Integrierte System“ zur Charakterisierung von Grenzflächen während des Schichtwachstums.

Methodenspektrum

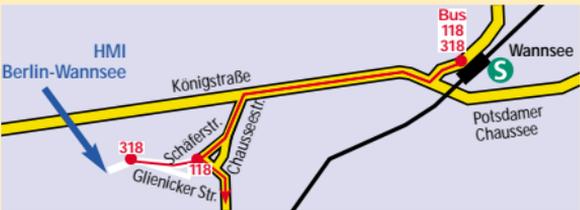
Präparation:

- Elektronenstrahl- und thermisches Verdampfen
- Chemische Gasphasenabscheidung (MOCVD, MEB, CVD, CSVT)
- Kristallzüchtung und Rekristallisation (CVT, Hochdruckzüchtung, RTP)
- Nasschemische Verfahren (Elektrodeposition, CBD, ILGAR)
- Plasmadepositionstechnik (Magnetronspütern)

Materialcharakterisierung:

- Strukturelle Analysen (XRD, EXAFS, Neutronenstreuung, DTA, In-situ-Laserlichtstreuung)
- Oberflächenanalysen (UPS, XPS, EELS, SEM, STM, AFM, LEED, AES)
- Elektrische Parameter (Hall- und Leitfähigkeitsmessungen, TRMC, FRMC, Moving Grating, Kelvinprobe, IR-Thermographie, Strom-Spannungs-Kennlinien (temperaturabhängig), EBIC, SR, zeitaufgelöste (100 ps) Photostrommessungen, orts aufgelöste Oberflächen-Photospannung)
- Optische Charakterisierung (optische Spektroskopie, Photolumineszenz, Femtosekunden-zeitaufgelöste Spektroskopie)
- Chemische Zusammensetzung (EDX, RBS, ERDA, NRA, SNMS, LEISS, QMS)
- Elektronen-Spin-Resonanz (ESR, ODMR, EDMR)

So erreichen Sie uns



Hahn-Meitner-Institut
Glienicker Straße 100
14109 Berlin-Wannsee

Hahn-Meitner-Institut
Kekuléstraße 5
12489 Berlin-Adlershof



www.hmi.de
Presse- und Öffentlichkeitsarbeit:
Telefon: 030-8062-2034
E-Mail: info@hmi.de