

Sprecher

Prof. Dr. Marius Grundmann
 Universität Leipzig
 Fakultät für Physik und Geowissenschaften
 Institut für Experimentelle Physik II
 Linnéstr. 5, D-04103 Leipzig
 ph: 0341-9732680, fax: 0341-9732699

Projekte

- P1** Herstellung und Charakterisierung von eindimensionalen Heterostrukturen und Nanorasen
M. Grundmann¹, M. Lorenz¹
- P2** MOVPE-Darstellung von eindimensionalen, miniaturisierten Grundbausteinen für die integrierte Elektronik und Optoelektronik: A^{III}B^V Nanowires - Nanotubes
V. Gottschalch², M. Grundmann¹
- P3** Konstruktive Darstellung von dreidimensionalen periodischen Nanostrukturen durch ionenstrahl-gestützte Abscheidung
E. Schubert³
- P4** Zylindrisch-lamellare Mikrogefügeübergänge und Struktur-Eigenschaftsbeziehungen von Kylindrit, FeSn₄Pb₃Sb₂S₁₄
K. Bente⁴
- P5** Laterales optisches Konfinement mikroskopischer Resonatoren
B. Rheinländer¹, V. Gottschalch²
- P6** Synthese und Charakterisierung eindimensionaler Ferroelektrika mit Perowskitstruktur
R. Böttcher¹, E. Hartmann³
- P8** 3D-Ionenstrahlanalytik zur morphologischen und stofflichen Charakterisierung nano- und mikrodimensionaler Strukturelemente und Ionenstrahl-Micromachining
T. Butz¹
- P9** Herleitung effektiver Theorien für atomistisch dünne Röhren und Schichten
S. Müller⁵

¹Universität Leipzig, Fakultät für Physik und Geowissenschaften, Institut für Experimentelle Physik II
²Universität Leipzig, Fakultät für Chemie und Mineralogie, Institut für Anorganische Chemie
³Leibniz-Institut für Oberflächenmodifizierung e.V., Leipzig
⁴Universität Leipzig, Fakultät für Chemie und Mineralogie, Institut für Mineralogie, Kristallographie und Materialwissenschaften
⁵Max-Planck-Institut für Mathematik in den Naturwissenschaften, Leipzig

Bericht über die Ergebnisse der ersten 2 Förderjahre

Zusammenfassung

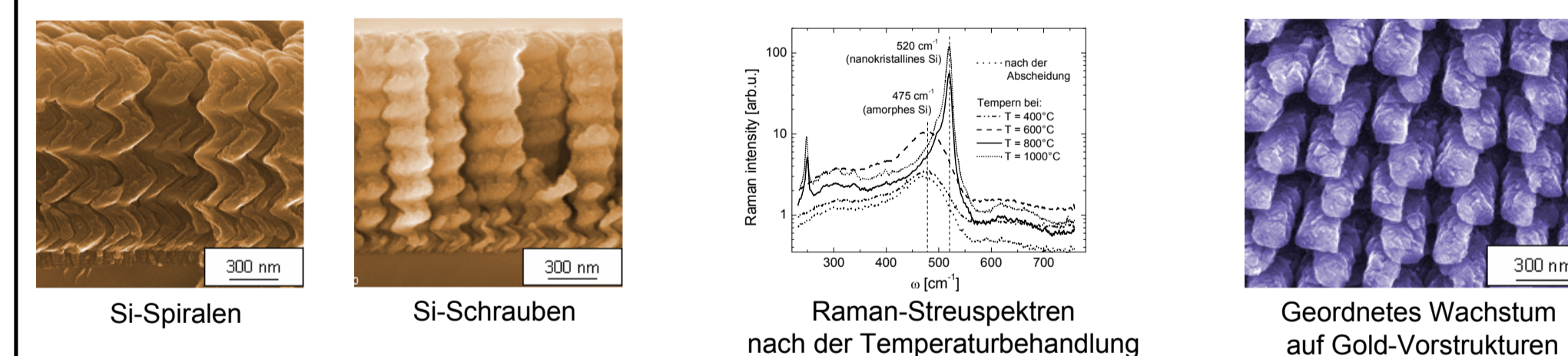
Erfolgreiche Herstellung der im Antrag vorgeschlagenen, dreidimensional konstruierten, selbstorganisierten Nanostrukturen

- mit verschiedener Geometrie (Säulen, Rollen, Schrauben, ...)
- mittels verschiedener Methoden (MOVPE, PLD, GLAD, ...)
- mit u. ohne Prozesskontrolle durch Template oder Katalysatoren
- mit verschiedenen Materialien (Si, III-V und II-VI-Halbleiter, Sulfosalze, Ferroelektrika)

Kooperation der Projekte bei Templatherstellung, struktureller, optischer und elektrischer Charakterisierung, dielektrischer Vergütung sowie bei der theoretischen Modellierung.

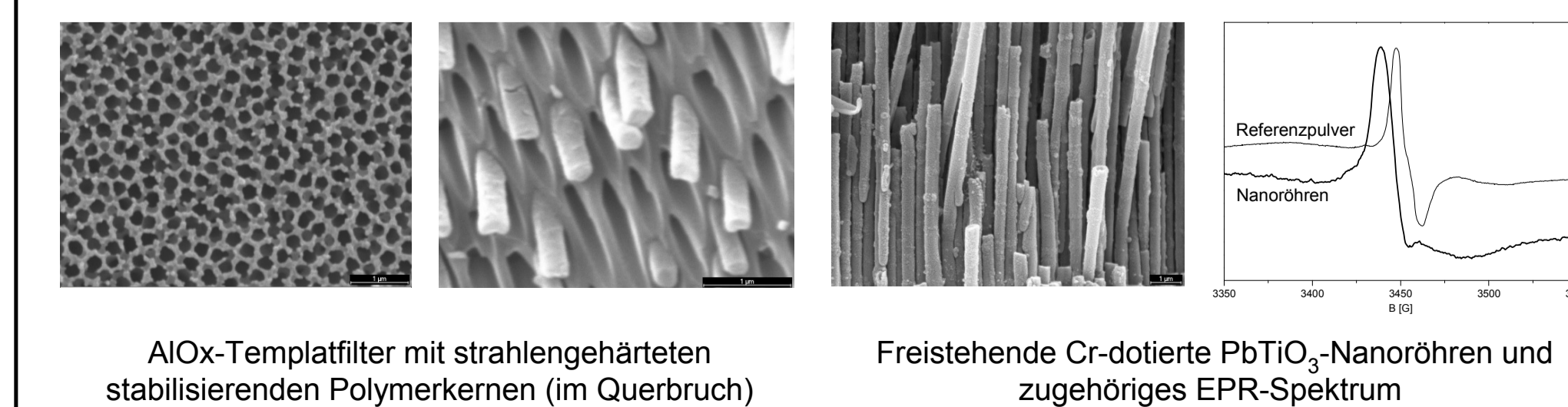
P3 Konstruktive Darstellung von dreidimensionalen periodischen Nanostrukturen durch ionenstrahl-gestützte Abscheidung

Beispiele für das Strukturwachstum mit GLAD:
 Chirale dreidimensionale Nanostrukturen aus Silizium wurden mit der ionenstrahl-gestützten Schichtabscheidung bei streifendem Teilcheneinfall (GLAD) gewachsen. Durch eine geeignete Substratrotation kann die Geometrie der Strukturen variiert werden. Die Verwendung von vorstrukturierten Substraten bindet das Nanostrukturenwachstum an die vorgegebenen Keimplätze und ermöglicht die Herstellung von geordneten Strukturembles. Das Strukturwachstum wurde mit ESEM, TEM, SAD, und AFM untersucht. Bei einer nachträglichen Temperaturbehandlung rekristallisieren die Si-Nanostrukturen. Bedingt durch eine faserförmige Feinstruktur der Nanostrukturen, variiert der Durchmesser der Si-Kristallite von 5 nm bis 60 nm. Im Raman-Spektrum wird der asymmetrische Verlauf des Raman-Streusignales vom nanokristallinen Si durch Phononenkonfinement hervorgerufen. Weitere Struktureigenschaften wurden mit Streulichtmessungen untersucht.



P6 Synthese und Charakterisierung eindimensionaler Ferroelektrika

Mit einer bewährten eigenen (CPP-)Route wurden in kommerziellen Filtertemplaten lineare Strukturelemente aus Cr-dotierten PbTiO₃-Nanoröhren (60µm x 200nm) präpariert und durch strahlgehärtete Polymerkerne stabilisiert. Erste EPR-Messungen erbrachten einen signifikanten Unterschied zu den Referenzpulvern, dem nun in winkelaufgelösten XRD- und EPR-Messungen nachgegangen werden soll. Es können auch ferromagnetische oder multi-ferroische Kombinationsmaterialien hergestellt werden.



P1 Herstellung und Charakterisierung von eindimensionalen Heterostrukturen und Nanorasen

Züchtung
 • kontrolliertes Wachstum kolumnarer hexagonaler Zinkoxid Nano- und Mikrostrukturen mittels gepulster Laserdeposition (PLD)
 • Gold als Wachstumskatalysator / Nukleationspunkt; Templatpreparation: Sputtern, Aufschleudern von Kolloiden, Nanosphere-Lithographie
 • MgZnO Mischkristall Nanowires (bandgap-engineering), Dotierung mit Co und Mn

Charakterisierung
 • Untersuchung von Struktur und Geometrie durch SEM, AFM, TEM und XRD
 • Bestimmung der Zusammensetzung mit EDX
 • Erzeugung homogener Nanorasen durch selbstorganisiertes epitaxiales Wachstum nach einem Vapor-Liquid-Solid Mechanismus auf Saphir und GaN

Der Weg ins Nanoregime – Photonconfinement und Whispering Gallery Moden
 Experiment – hexagonale Nanoresonatoren
 • hexagonale Mikro- und Nanokristalle zeigen charakteristisches Resonatorverhalten unter Ausblutung von Whispering Gallery Moden
 • Effekt erstmals für kleine Modenzahlen detektiert – „kleinste Flüstergalerien der Welt“ Phys. Rev. Lett. 93, 103903 (2004)
 Theorie – Modellierung hexagonaler WGMs
 • numerisches Modell zur Beschreibung hexagonaler Nanoresonatoren umgesetzt
 • Berechnung resonanter Photonenenergien und zugehöriger Feldverteilung für n = 1.9...2.2
 Vergleich – Flüstergalerie-Effekt als „Sonde für optische Konstanten“
 • Modellierung der WGMs ermöglicht die Bestimmung der Doppelbrechung einzelner ZnO Nanoresonatoren
 • Linienbreiten nahe am theoretischen Limit belegen die gute strukturelle Qualität der Nanosäulen (eingereicht bei Appl. Phys. Lett.)

P4 Zylindrisch-lamellare Mikrogefügeübergänge und Struktur-Eigenschaftsbeziehungen von Kylindrit, FeSn₄Pb₃Sb₂S₁₄

Scroll um Glasstab (Ø 660 µm) (REM)
 Fe_{0.8}Sn_{4.2}Pb_{3.2}Sb_{2.2}S_{14.2}
 Synthetische Kylindrite (aus Jod-CVT)
 Kylindrit tritt als natürliches Sulfosalz-Mineral mit inkommensurabler Doppelschichtstruktur in Form von Zylindern und Blättern auf. Unsere Studien zeigen, dass der Krümmungsmechanismus zu Zylindern auf Verwachsung keilförmiger Segmente beruht. Erstmals wurde Kylindrit einkristallin als Zylinder, Lamellen und "scrolls" um Glasstabe gewickelt mittels CVT synthetisiert. Durch Variation des komplexen Chemismus, bezüglich der Metallverteilung, konnten wir dabei die physikalischen Eigenschaften wie band gap oder magnetisches Verhalten beeinflussen.

Mechanismus der Zylinderkrümmung durch Verwachsung von Zylindersegmenten
 Inkommensurable Doppelschichtstruktur moduliert entlang c-Achse

Weitere Architekturen zu Mikroringen und Mikroröhren aus Sulfosalz-Nanofasern mit Ketten-Strukturen:
 Synthetischer Boulangier Pb₃Sb₂S₁₄ Mikroröhren aus Nanoröhren (REM)
 Synthetische Jaskokite Pb₃Sb₂S₁₄ Mikroröhren aus Nanoröhren (REM)
 Synthetisches Cu₂B₂O₇ Mikroröhren aus Nanoröhren (REM) (TEM)

P8 3D-Ionenstrahlanalytik zur morphologischen und stofflichen Charakterisierung nano- und mikrodimensionaler Strukturelemente und Ionenstrahl-Micromachining

3D-Ionenstrahlanalytik
 • Entwicklung einer 3D-Charakterisierung für mikrodimensionale Bauelemente mittels Rutherford Backscattering Spectrometry (µRBS)
 • Visualisierung vergrabener Strukturen
 • direkte Messung der Elementzusammensetzung
 • Übertragung der exzellenten Tiefenaufösung (10 nm) von RBS durch Probenrotation auf drei Dimensionen
 • erste µRBS-Messungen an SiO₂-Kapillaren

Ionenstrahl-Micromachining
 • direkte maskenlose Strukturierung in Fotolaken
 • Strukturen: - 3-dimensional mit hohem Aspektverhältnis
 - im Mikrometer- und Submikrometerbereich
 - vergraben oder selbsttragend
 - für Anwendungen in der Mikroelektronik, Mikrofluidik und Mikrooptik

a) selbsttragende Struktur in 20 µm dickem negativen Fotolack (SU-8); vertikale Siege mit Protonen, horizontale mit He⁺-Ionen erzeugt
 b) Detailsicht
 c) LIPSION-Logo in 5 µm dickem positiven Fotolack (PMMA), d.h. 5 µm Grabtiefe

P2 MOVPE-Darstellung von eindimensionalen, miniaturisierten Grundbausteinen für die integrierte Elektronik und Optoelektronik

A^{III}B^V-Nano- und Mikroröhren
 • (B)GaAs/GaNAs Röhren auf (100) GaAs
 • GaInAs/GaNAs Röhren auf (100) InP
 • AlAs bzw. InP Opterschicht
 • Rollvorgang: selektives Ätzen der Opterschicht, verspanntes Schichtsystem kann sich entspannen -> Röhre wird gebildet
 • Röhrendurchmesser im nm bis µm Bereich
 • Rollrichtung: <100> und <110>
 • Beschreibung des Rollvorganges
 • Definierte Röhrenlänge und Lage
 • Einbettung von Quantengraben in Röhre

A^{III}B^V-Nanodrähte
 1) Substratpräparation mit Goldpartikeln
 • "Nanosphere"-Lithographie
 • "Dip-Pen"-Nanolithographie
 • Clusterbildung durch Tempern dünner Goldfilme
 2) Nanodrahtwachstum
 • InAs-Nanodrähte mit halbleitendem In-Tropfen
 • GaAs-Nanodrähte mit Gold-Tropfen
 3) Realstruktur
 • Verminderung durch höhere Wachstumstemperaturen
 4) Physikalische Eigenschaften
 • optische Charakterisierung (PL, ...)
 • elektrische Char. (GAFM, SCM, ...)

CL-Spektren zeigen die Verspannungsrelaxation an Hand der Lumineszenz eines QW

REM-Bild Rolle in <110> TEM Querschnitt

P5 Laterales optisches Konfinement mikroskopischer Resonatoren

Herstellung von Bragg-Reflektoren
 - a-Si / SiO₂
 - ZrO₂ / MgO

auf Glas-Stäben (Ø = 5 ... 5000 µm) auf ZnO-Nadeln (Ø = 0,5 ... 5 µm)

Reflexionsvermögen
 R (refl.) vs Energie [eV]
 4 Peaks bei 192, 212, 232, 252 nm
 0 (Si) = 65 µm
 0 (ZnO) = 45 µm

Reflexionsvermögen zum Nadel-Außeren hin
 R (refl.) vs Energie [eV]
 5 Peaks bei 192, 212, 232, 252, 272 nm
 Dicke (ZnO-Nadeln) = 1 µm
 R_{max} = 0.87

Reflexionsvermögen zum Nadel-Inneren hin
 R (refl.) vs Energie [eV]
 5 Peaks bei 192, 212, 232, 252, 272 nm
 R_{max} = 0.87

P9 Herleitung effektiver Theorien für atomistisch dünne Röhren und Schichten

- Herleitung einer Membrantheorie für atomistisch dünne Filme mit v Atomlagen aus allgemeinen (physikalisch realistischen) Annahmen über die zugrunde liegende atomare Energie:
 $E_{\alpha}(u) = S_{\alpha} \phi(u; b_{1, \dots, b_{N-1}})$
 (hybrid atomistisch/kontinuierliches System mit v-1 Cosseratvektoren).

- Quantitative Untersuchung der kontinuierlichen Energiedichte ϕ
 - Abhängigkeit von Relaxationsparametern
 - Grenzverhalten fuer große/kleine Verzerrungen

- Untersuchung verspannter Schichten mit Kontinuumsmodellen und Diskussion der Geometrie von Energie minimierenden Deformationen
 - Platten in 3d: Zylinder
 - Streifen in 2d + Injektivität: (Doppel-) Spiralen

- Herleitung der nichtlinearen Platten Theorie aus atomaren Wechselwirkungen:
 $E_{\alpha}(u) = S_{\alpha} v Q_{\alpha}(\Pi_{1, 2} M + \Pi z) / 8 + (v^3 v^{-1}) Q_{\alpha}(\Pi z) / 24$
 (zusätzliche Terme im Vergleich zur Kontinuums Theorie).