

# Silke Bargstädt-Franke

## Darstellung der Forschungsaktivitäten

Epitaktische Halbleiterheterostrukturen spielen eine bedeutende Rolle sowohl in der Grundlagenforschung aber auch zunehmend in der Kommunikationstechnologie. Das große Potential, das mit der kontrollierten Nanostrukturierung von Bandverlauf und optischen Konstanten in der Heterostruktur verbunden ist, wurde z. B. jüngst durch die Verleihung des Physik-Nobelpreises 2000 an Z.I. Alferov und H. Kroemer gewürdigt. In dieser Doktorarbeit wurden unter anderem modulationsdotierte (Al)GaAs-Heterostrukturen mit parabolischem Potential mittels Molekularstrahlepitaxie hergestellt und anschließend mit Ferninfrarot-, Kapazitäts- und Ramanspektroskopie untersucht. Dafür wurden die Proben durch einlegierte Kontakte und aufgebrauchte Gates in ihrer Elektronendichte abstimmbare gemacht.

Für beidseitig modulationsdotierte, parabolische Einfach-Quantentöpfe (*parabolic quantum wells*, PQWs) konnte ein Herstellungsprozeß in analoger Technik, d. h. durch genau definierte Variation der Temperatur der Aluminium-Effusionszelle, entwickelt werden. Die an den hergestellten Proben durchgeführten Elektronendichte-abhängigen FIR- und Kapazitätsmessungen konnten die Parabolizität des gewachsenen Potentials bestätigen.[1]

Darüber hinaus wurden parabolische Doppel-Quantentopf (DPQW) Proben mit einer dünnen Tunnelbarriere zwischen den beiden PQWs hergestellt und mit FIR- und Ramanspektroskopie sowie mit Kapazitätsmessungen untersucht.[1] Zum besseren Verständnis wurden die Elektronendichte-abhängigen FIR- und Raman-Messungen mit selbstkonsistenten Rechnungen verglichen. Im Vergleich mit FIR-Messungen, die an DPQW-Proben bestehend aus einem breiten PQW mit dünnem Spike als Barriere in der Mitte durchgeführt wurden, konnte gezeigt werden, daß die Spektren stark durch Vielteilcheneffekte beeinflusst werden. Die Resultate der gatespannungsabhängigen FIR-Messungen konnten durch Kapazitätsmessungen verifiziert werden. Darüber hinaus gelang es, ebenfalls gatespannungsabhängige Ramanmessungen an den Proben durchzuführen. Hierbei konnten neben dem Grundzustandsübergang auch Übergänge in höhere Niveaus beobachtet werden.[1]

Im Probenotyp einer sogenannten MIS-Struktur wurde das Elektronensystem eines halbseitig parabolischen Quantum Wells als neuartiges Backgate eingesetzt. Durch ein derartiges Backgate sollten die Eigenschaften des über das Anlegen einer Gatespannung in der MIS-Struktur erzeugten 2DEGs verbessert werden. Zunächst wurde gezeigt, daß sich ein modulationsdotierter halber PQW, der anstatt eines standardmäßig verwendeten, volumendotierten GaAs-Bereichs gewachsen wurde, prinzipiell als Backgate einer MIS-Struktur eignet. Wie FIR- und Kapazitätsmessungen an den hergestellten Proben zeigen, wurde das Ziel der Verbesserung der Eigenschaften des 2DEGs jedoch bisher nicht erreicht. Derzeit ist die Ursache für das beobachtete Verhalten unklar. Einerseits weisen die Ergebnisse darauf hin, daß die Dotierung im Bereich des Rückkontaktes nicht die Störung ist, die die Qualität des Elektronensystems dominant bestimmt. Andererseits könnte in dem hier realisierten Probenaufbau die Donatorsegregation aus dem Bereich des Rückkontaktes stärker sein.

Zusammen mit L. Rolf wurden optische Mikroresonatoren mit Braggreflektoren und eingebettetem, undotierten Quantentopf entwickelt und hergestellt. Fernziel ist, durch Kopplung an die Polaritonenresonanz des optischen Resonators sehr empfindliche Spektroskopie an elektronischen Anregungen durchzuführen. Weiterhin wurden in enger Kooperation mit Projekten des Sonderforschungsbereichs 508 "Quantenmaterialien" maßgeschneiderte Proben für Untersuchungen der Magnetisierung in niedrigdimensionalen Elektronensystemen[2, 3, 4] und für optische Untersuchungen an Quantendrähten und Quantenpunkten[5, 6] hergestellt.

## **Zusammenarbeit mit anderen Mitgliedern des Graduiertenkollegs**

Aufgrund der Expertise in der Molekularstrahlepitaxie ergaben sich während der Promotionsarbeit sehr viele Wechselwirkungen mit anderen Projekten innerhalb und außerhalb des Graduiertenkollegs. Die wichtigsten Kooperationen im Rahmen des Graduiertenkollegs sollen im folgenden kurz skizziert werden:

- Christoph Steinebach (FG Halbleiterphysik)  
Seine selbstkonsistenten Rechnungen unterstützen die Interpretation zahlreicher Messungen an den hergestellten Proben.
- Lucia Rolf (FG Halbleiterphysik)  
Herstellung von Mikroresonatoren mit eingebetteten Quantentöpfen. Im Gegenzug wurden diverse Proben mit optischer Spektroskopie charakterisiert.
- Dieter Schmerek (FG Halbleiterphysik/FG Wachstum)  
Bei den Kapazitätsmessungen an den gekoppelten parabolischen Quantentöpfen wurde von der Erfahrung von D. Schmerek profitiert. Für Kapazitätsmessungen werden spezielle MIS-Dioden benötigt, die in der institutseigenen MBE-Anlage hergestellt werden. Durch ein besonderes Temperaturprofil während des Wachstums konnte die Dichtigkeit der Proben entscheidend verbessert werden. In der Kooperation wurde insbesondere an der Verbesserung von Tunnelbarriere und Rückkontakt der Proben gearbeitet.
- Werner Naumann (FG Grenzflächenphysik)  
Da im Projekt von Herrn Naumann am gleichen Materialsystem gearbeitet wird, gibt es einen regen Erfahrungsaustausch.

## **Ausblick**

Das Verhalten der Hochfrequenzanregungen in den gekoppelten parabolischen Quantentöpfen wurde anhand von Simulationsrechnungen von Christoph Steinebach diskutiert. Der Vergleich zwischen Rechnungen und FIR-Experiment ist mit der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Methode der resonanten Landau-Sublevel-Kopplung noch nicht optimal möglich, da die Resonanzpositionen durch das Anticrossing der Zyklotronresonanz mit der Intersubbandmode identifiziert wird. Über Linienform und Resonanzstärke lassen sich so nur schwer Aussagen treffen. Für eine Verbesserung würde die Präparation sogenannter Gitterkoppler sorgen, mit denen eine direkte Ankopplung der FIR-Strahlung an die zu beobachtenden Resonanzen erfolgt.

Für eine bessere Beobachtung von Kopplungseffekten in einer DPQW-Probe würde eine Probe, in der das Wachstum des ersten PQWs bei einem geringeren Al-Anteil unterbrochen

wird und der separierende Spike zwischen den beiden PQWs entfällt, sorgen. Ein derartiges Probandesign führt zusätzlich zu einer deutlichen Vereinfachung des MBE-Wachstums, da so Wachstumspausen entfallen würden.

Die Ergebnisse der Kooperation mit L. Rolf zur Herstellung von optischen Mikroresonatoren mit Braggreflektoren waren sehr vielversprechend und haben ein Projekt initiiert [7], in dem Ramanspektroskopie an Elektronensystemen in zweidimensionalen Quantentöpfen und InAs-Quantenpunkten durchgeführt wird.

## Publikationen

Angehörige und Gäste des Graduiertenkollegs sind unterstrichen

- [1] S. Bargstädt-Franke, Ch. Heyn, W. Hansen und D. Heitmann: *Coupled double parabolic quantum wells grown with the analogue technique*, J. Cryst. Growth **201-202**, 790 (1999).
- [2] I. Meinel, D. Grundler, S. Bargstädt-Franke, Ch. Heyn, D. Heitmann und B. David: *High-sensitive superconducting magnetometry on a two-dimensional electron gas up to 10 Tesla*, Appl. Phys. Lett. **70**, 3305 (1997).
- [3] I. Meinel, D. Grundler, S. Bargstädt-Franke, Ch. Heyn und D. Heitmann: *SQUID-Susceptometry up to 10 Tesla: An improved Method for Magnetization studies on a Two-dimensional Electron System*, Appl. Supercond. **5**, 161 (1998).
- [4] D. Grundler, I. Meinel, S. Bargstädt-Franke und D. Heitmann: *Magnetic Properties of a spin-polarized Two-Dimensional Electron System*, Physica B **249-251**, 693 (1998).
- [5] F. Rademacher, H. Eggers, T. O. Wiegard, C. Schüller, S. Bargstädt-Franke, Ch. Heyn, K. Eberl und D. Heitmann: *Magneto-Optical Investigation of Excitons in Narrow GaAs-AlGaAs Quantum Wires*, Phys. Stat. Sol. (a) **164**, 325 (1997).
- [6] G. Biese, E. Ulrichs, L. Rolf, C. Schüller, C. Steinebach, S. Bargstädt-Franke, Ch. Heyn, D. Heitmann und K. Eberl: *Edge spin-density modes in quantum dots in a magnetic field*, Physica E **2**, 619 (1998).
- [7] T. Kipp, L. Rolf, C. Schüller, D. Endler, Ch. Heyn und D. Heitmann: *Selectively enhanced inelastic light scattering of electronic excitations in a semiconductor microcavity*, eingereicht bei Phys. Rev. Lett.
- [8] Ch. Nacke, W. Bathe, F. Kieseling, M. Seemann, H. Stolz, Ch. Heyn, S. Bargstädt-Franke, W. Hansen und D. Heitmann: *Phase sensitive resonant ultrafast reflection from GaAs quantum wells*, Phys. Stat. Sol. (b) **206**, 307 (1998).

## Teilnahme an Tagungen

- “Magnetfeldabhängige Photoreflexions- und Reflexionsmessungen an GaAs-AlGaAs-Quantumwells und -Quantumwires“  
S. Bargstädt, H. Eggers, G. Biese, D. Heitmann, H. Lage und K. Ploog  
Frühjahrstagung des Arbeitskreises Festkörperphysik der Deutschen Physikalischen

Gesellschaft (DPG)  
in Berlin, März 1995  
Beitragsform: Poster

- “Herstellung, Präparation und Spektroskopie an modulationsdotierten parabolischen Quantum Wells“  
S. Bargstädt-Franke, Ch. Heyn, W. Hansen und D. Heitmann  
Frühjahrstagung des Arbeitskreises Festkörperphysik der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG)  
in Regensburg, März 1998  
Beitragsform: Poster
- “Coupled double parabolic quantum wells grown with the analogue technique“  
S. Bargstädt-Franke, Ch. Heyn, W. Hansen und D. Heitmann  
The 10th International Conference on Molecular Beam Epitaxy (MBE-X)  
in Cannes (Frankreich), September 1998  
Beitragsform: Poster

## Forschungsaufenthalte und eingeladene Vorträge

### Tagungsbeiträge als Mitautorin

- “Magnetooptische Untersuchungen von Exzitonen in schmalen GaAs-AlGaAs-Quantendrähten“  
F. Rademacher, H. Eggers, C. Schüller, S. Bargstädt-Franke, Ch. Heyn und D. Heitmann  
Frühjahrstagung des Arbeitskreises Festkörperphysik der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG)  
in Münster, März 1997  
Beitragsform: Poster
- “Magnetisierungsmessungen bis 10 Tesla an Feldeffekt-abstimmbaren zweidimensionalen Elektronengasen“  
Dirk Grundler, Ines Meinel, Silke Bargstädt-Franke und Detlef Heitmann  
Frühjahrstagung des Arbeitskreises Festkörperphysik der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG)  
in Münster, März 1997  
Beitragsform: Vortrag
- “Vielteilcheneffekte in der Magnetisierung eines zweidimensionalen Elektronensystems im Quanten Limes“  
T. Hengstmann, I. Meinel, D. Grundler, S. Bargstädt-Franke und D. Heitmann  
Frühjahrstagung des Arbeitskreises Festkörperphysik der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG)  
in Regensburg, März 1998  
Beitragsform: Poster

- “Herstellung schmaler GaAs-Quantendrähte mit anodischer Oxidation und naßchemischem Ätzen“  
T. Otterburg, H. Eggers, T. O. Wiegard, F. Rademacher, C. Schüller, S. Bargstädt-Franke, Ch. Heyn und D. Heitmann  
Frühjahrstagung des Arbeitskreises Festkörperphysik der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG)  
in Regensburg, März 1998  
Beitragsform: Poster
- “Untersuchung des Landaugaps eines zweidimensionalen Elektronensystems mit Kapazitäts- und Ferninfrarotspektroskopie“  
K. Esmark, D. Schmerek, T. Kurth, Ch. Heyn, S. Bargstädt-Franke und W. Hansen  
Frühjahrstagung des Arbeitskreises Festkörperphysik der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG)  
in Regensburg, März 1998  
Beitragsform: Poster

## Eigene Vorträge im Rahmen des Graduiertenkollegs

- „GaAs: Aspekte eines Halbleiters“  
2. Workshop des Graduiertenkollegs „Physik nanostrukturierter Festkörper“  
in St. Peter-Ording, Januar 1998
- „Maßgeschneiderte Quantensysteme durch MBE-Wachstum“  
Berichtskolloquium des Graduiertenkollegs  
„Physik nanostrukturierter Festkörper“  
in Hamburg, Juni 1998