

HL 4 Quantenpunkte und -drähte: Optische Eigenschaften I

Zeit: Freitag 10:45–13:30

Raum: TU P-N201

HL 4.1 Fr 10:45 TU P-N201

Influence of well width fluctuations on the binding energy of excitons, charged excitons and biexcitons in GaAs-based quantum wells — ●A. FILINOV¹, M. BONITZ¹, C. RIVA², F. PEETERS², Y. LOZOVIK³, A. BRACKER⁴, and D. GAMMON⁴ — ¹Institute for Theoretical Physics and Astrophysics, Christian-Albrechts-University Kiel, 24098 Kiel — ²Departement Fysica, Universiteit Antwerpen, Universiteitsplein 1, B-2610 Antwerpen, Belgium — ³Institute of Spectroscopy RAS, Moscow region, 142190 Troitsk, Russia — ⁴Naval Research Laboratory, Washington DC 20375, USA

The binding energies of electron-hole bound states in quantum wells (QWs) are higher than in bulk, because of the enhanced Coulomb interaction between confined carriers. Besides, there is an active discussion about the influence of disorder (due to the surface defects or charged donors). In the present talk we present theoretical results obtained from first principle Path Integral Monte Carlo simulations. In particular, the influence of quantum well-width fluctuations on the binding energy of excitons, trions and biexcitons in GaAs/Al_xGa_{1-x}As and ZnSe based quantum wells and dots (QD) is analyzed in detail. The results show good quantitative agreement with available experimental data [1], including recent measurements of localized trions in ensemble and individual QDs [2].

[1] A.V. Filinov, C. Riva, F.M. Peeters, Yu.E. Lozovik, and M. Bonitz, Phys. Rev. B 70, 35323 (2004); [2] A.S. Bracker, E.A. Stinaff, D. Gammon, A.V. Filinov, et. al., submitted to Phys. Rev. B 2004.

HL 4.2 Fr 11:00 TU P-N201

Resonante Ramanstreuung in einzelnen InGaAs/GaAs-Quantenpunkten — ●RICO SCHWARTZ, DANIEL SCHWEDT und HEINRICH STOLZ — Universität Rostock, Institut für Physik, AG Halbleiterphysik, Universitätsplatz 3, 18051 Rostock

Es wird über Photolumineszenzuntersuchungen an selbstorganisierten In_{0,6}Ga_{0,4}As/GaAs-Quantenpunkten [1] berichtet. Die Anregungsenergie wurde in einem Bereich von etwa 35 bis 55 meV oberhalb der Emission aus dem Grundzustand der Exzitonen variiert und für jede Anregungsenergie wurde ein Photolumineszenzspektrum aufgenommen. In diesen Spektren findet man neben exzitonischer Emission auch Linien, die durch Streuung am longitudinal optischen Quantenpunktphonon ($E_{LO-QP} = 33,5$ meV) oder am longitudinal optischen GaAs-Phonon ($E_{LO-GaAs} = 36,4$ meV) hervorgerufen werden. Fallen die Emissionslinien von Exziton und Quantenpunkt-Phonon energetisch zusammen, kommt es zu resonanter Verstärkung des Streuprozesses. Die Linienbreite der Resonanz ($\Delta E = 0,8$ meV) ist erheblich größer als die Summe der Linienbreiten von Exziton und Phonon, was auf eine starke Exziton-Phonon-Kopplung im Halbleiterquantenpunkt hinweist.

[1] A. Kuther, M. Bayer, A. Forchel, A. Gorbunov, V. B. Timofeev, F. Schäfer, and J. P. Reithmaier, Phys. Rev. B 58, R7508 (1998)

HL 4.3 Fr 11:15 TU P-N201

Carrier dynamics in single quantum dots and implications on single-photon emission — ●THOMAS AICHELE¹, VAL ZWILLER², and OLIVER BENSON¹ — ¹Humboldt-Universität zu Berlin — ²ETH Zürich, Schweiz

Sources for the generation of single photon light states within a defined time interval and with a high extraction efficiency are important devices for a large range of experiments in quantum optics and applications in optical quantum technology [1,2]. In our experiment we study the photoluminescence (PL) of single InP quantum dots [3]. Measurements of the intensity correlation demonstrate the non-classical nature of the PL from a single quantum dot. Moreover, deviations from the simple form of a pure anti-bunching dip reveal peculiar features of the carrier dynamics in quantum dots. We studied bunching and anti-bunching as a function of optical excitation parameters. The origin of the observed effects and their implications on quantum information processing applications are discussed with the help of Monte Carlo simulations.

[1] T.Aichele, V.Zwiler and O.Benson, New J. Phys 6, 90 (2004)
[2] T.Aichele, G.Reinaudi and O.Benson, to appear in PRB (2004)
[3] V.Zwiler, T.Aichele, W.Seifert, J.Persson and O.Benson, APL 82,1509 (2003)

HL 4.4 Fr 11:30 TU P-N201

Recombination rates of excitons and biexcitons in quantum dots — ●MICHAEL WIMMER¹, JOHN SHUMWAY², and S. V. NAIR³ — ¹Institut für Theoretische Physik, Universität Regensburg — ²Department of Physics and Astronomy, Arizona State University — ³Centre for Advanced Nanotechnology, University of Toronto

The properties of interacting electron-hole pairs in a quantum dot are strongly affected by quantum correlations. Important examples include binding energies as well as radiative decay rates. Measurements on the biexciton recombination rate in different material systems lie in the theoretically predicted range of one to two times the rate of single exciton recombination [1].

Recently, configuration interaction (CI) studies have shown that the radiative decay rates depend strongly on the quantum dot size [2]. However, our studies indicate that energy and recombination rates do not converge simultaneously in CI calculations, leading to a systematic underestimation of the decay rate. We have developed a path integral Monte Carlo (PIMC) technique that does not suffer from this problem.

This technique is applied to realistic three-dimensional models of self-assembled quantum dots for different materials. We find that radiative recombination rates of typical dots lie in the cross-over regime between strong and weak confinement and compare these results with experiment. References:

[1] C. Santori *et al.* PRB **65**, 073310 (2002), G. Bacher *et al.* PRL **83**, 4417 (1999), R. Thompson *et al.* PRB **64**, 201302 (2001)
[2] S. Corni *et al.* PRB **67**, 045313 (2003)

HL 4.5 Fr 11:45 TU P-N201

Electron and hole storage in InAs/GaAs quantum dots — ●WITLIEF WIECZOREK¹, TILL WARMING¹, MARTIN GELLER¹, VIKTOR M. USTINOV², ALEXEY ZHUKOV², and DIETER BIMBERG¹ — ¹Institut für Festkörperphysik, TU Berlin — ²Ioffe Physico-Technical Institute RAS, St. Petersburg, Russia

Semiconductor quantum dots (QDs) with their possibility to confine single carriers representing one quantum bit of information are possible candidates for future memory devices. The potential of inhomogeneously broadened, self-organized QDs for parallel optical storage is demonstrated by spectral hole burning experiments. We investigate different MBE-grown InAs/GaAs quantum dot structures in order to store either holes or electrons as memory carriers. We demonstrate storage of electrons in QDs: By laser excitation a homogeneously broadened ground state of the QDs is charged leading to a spectrally shifted absorption due to few particle effects in the QDs. This is seen in a photocurrent spectrum as a red shifted, negatively charged Trion relative to the ground state. Storage of electrons opens the opportunity to do spin polarized measurements which are interesting for memory applications and quantum computing. Parts of this work are funded by the European SANDIE NoE, contract no. NMP4-CT-2004-500101 and SFB296 of DFG.

HL 4.6 Fr 12:00 TU P-N201

Optischer Gewinn in Quantenpunkten — ●MICHAEL LORKE, TORBEN R. NIELSEN, JAN SEEBECK, PAUL GARTNER und FRANK JAHNKE — Institut für Theoretische Physik, Universität Bremen

Für Laseranwendungen auf Basis von Halbleiter-Quantenpunkten ist die Kenntnis des optischen Gewinns in solchen Strukturen erforderlich. Für ein System, in dem die lokalisierten Quantenpunktzustände energetisch unterhalb eines Kontinuums von zweidimensionalen Benetzungsschichtzuständen liegen, werden optische Gewinnspektren am Beispiel des InGaAs-Materialsystems vorgestellt und ihre Abhängigkeit von der Ladungsträgerdichte untersucht.

Im Rahmen einer mikroskopischen Theorie wird der Einfluß der Vielteilchenkorrelationen der Ladungsträger durch Coulomb-Wechselwirkung und Elektron-Phonon-Wechselwirkung auf die Gewinnspektren untersucht. Beiträge zur Coulomb-Überhöhung, zum Dephasieren und zur Energienormierung werden diskutiert.

Während eine Auswertung der Vielteilchenkorrelationen im Rahmen der Markov-Näherung den optischen Gewinn stark unterschätzt, erhalten wir durch die Einbeziehung von Effekten jenseits der Markov-Näherung einen deutlich höheren optischen Gewinn. Desweiteren ist es wichtig, die Elektron-Phonon-Wechselwirkung auf der Basis von Quantenpunkt-Polaronen zu beschreiben.

HL 4.7 Fr 12:15 TU P-N201

Quantenkinetische Beschreibung von Polaronen in Halbleiter-Quantenpunkten — •JAN SEEBECK, TORBEN R. NIELSEN, PAUL GARTNER und FRANK JAHNKE — Institut für Theoretische Physik, Universität Bremen

Optoelektronische Anwendungen von Halbleiter-Quantenpunkten erfordern schnelle Streuprozesse der Ladungsträger. Für niedrige Ladungsträgerdichten liefert die Elektron-Phonon-Wechselwirkung den dominierenden Beitrag, der für selbstorganisiert gewachsene Quantenpunkte (QD) mit lokalisierten Zuständen, die energetisch unterhalb eines Kontinuums von delokalisierten Zuständen einer Benetzungsschicht (WL) liegen, untersucht wird.

In einfachen störungstheoretischen Rechnungen, die auf Fermi's Goldener Regel basieren, sind bei der Wechselwirkung mit LO-Phononen diejenigen Streukanäle blockiert, deren Übergangsenergien nicht der LO-Phonon-Energie entsprechen (Phonon Bottleneck). Wir stellen eine quantenkinetische Beschreibung des wechselwirkenden Vielteilchen-Systems vor, wobei die Ladungsträger als Polaronen behandelt werden. Unter Verwendung der spektralen Eigenschaften der QD- und WL-Polaronen werden die quantenkinetischen Gleichungen gelöst und speziell der Ladungsträgererfang (WL→QD) sowie die Ladungsträgerrelaxation (QD→QD) für Fälle betrachtet, bei denen im Bild freier Zustände energieerhaltende Streuprozesse nicht möglich sind. Die quantenkinetische Beschreibung liefert dabei sogar für das schwach polare Materialsystem InGaAs/GaAs Streuzeiten von wenigen Pikosekunden.

HL 4.8 Fr 12:30 TU P-N201

Dynamics of spontaneous emission from quantum dots in microcavities — •J. WIERSIG¹, T. ASCHENBRENNER¹, N. BAER¹, M. LORKE¹, P. GARTNER¹, F. JAHNKE¹, M. BENYOUSSEF², P. MICHLER², M. SCHWAB³, H. KURTZE³, M. BAYER³ und A. FORCHEL⁴ — ¹Institut für Theoretische Physik, Universität Bremen, 28334 Bremen — ²Universität Stuttgart — ³Universität Dortmund — ⁴Universität Würzburg

Controlling the spontaneous emission from semiconductor quantum dots by optical microcavities is important for many applications [1] such as microlasers and single-photon sources. Starting from a fully quantum mechanical theory for the microscopic dynamics of photons, electrons and holes in the coupled system of quantum dots, wetting layer, and microcavity we study the spontaneous emission dynamics. Numerical simulations for (In,Ga)As quantum dots embedded in a three-dimensional micropillar cavity show an enhancement of spontaneous emission due to the Purcell effect as the pillar diameter is varied from 6 to 2 micrometer. The computed time-resolved photoluminescence intensity shows a clear nonexponential decay in agreement with experimental data.

[1] P. Lodahl et al., Nature 430, 654-657 (2004)

HL 4.9 Fr 12:45 TU P-N201

Rekombinationsdynamik lokalisierter Exzitonen in einzelnen InGaN-Quantenpunkten — •THOMAS STEMPER, MATTHIAS DWORZAK, AXEL HOFFMANN, LARS REISSMANN, ANDRÉ STRITTMATTER und DIETER BIMBERG — Institut für Festkörperphysik, Technische Universität Berlin, Hardenbergstr. 36, 10623 Berlin

Die Photolumineszenz (PL) von InGaN/GaN-Heterostrukturen zeigt ein spezifisches zeitliches Verhalten, das durch ein nichtexponentielles Abklingen und eine zeitliche Rotverschiebung des Lumineszenzmaximums gekennzeichnet ist. Für diese seit langem bekannten Effekte wurde bisher die Abschirmung interner elektrischer Felder verantwortlich gemacht. Zeit- und orts aufgelöste PL-Untersuchungen an nur wenige nm dicken InGaN-Schichten zeigen jedoch, dass hier die Rekombinationsdynamik nicht aus Abschirmungseffekten resultiert. Stattdessen stellen diese Strukturen bei tiefen Temperaturen Quantenpunkt-Ensembles hoher räumlicher Dichte dar. Die Umverteilung von Ladungsträgern innerhalb des Ensembles von schwächer zu stärker lokalisierenden Quantenpunkten (QP) führt zur beobachteten Rotverschiebung. Das nichtexponentielle Abklingen dagegen resultiert aus der Überlagerung der Abklingkurven einzelner QP-Zustände mit einer breiten Verteilung der Exziton-Lebensdauern.

HL 4.10 Fr 13:00 TU P-N201

Exciton Dephasing in Quantum Dot Molecules — •EGOR MULJAROV und ROLAND ZIMMERMANN — Institut für Physik der Humboldt-Universität zu Berlin, Newtonstr. 15, D-12489 Berlin

A microscopic theory of optical transitions in a multilevel excitonic system with linear coupling to acoustic phonons is developed. The cumulant expansion for the linear and four-wave mixing polarizations is

generalized to a multilevel system and allows us to calculate the full time dependence and the spectral lineshape of the polarization. In particular, the broadening of zero-phonon lines is evaluated directly. It is shown that in quantum dot molecules real phonon-assisted transitions between exciton states dominate the dephasing, while virtual transitions are of minor importance. The latter are the only source of dephasing in uncoupled quantum dots [1]. Exciton dephasing rates calculated for a few lowest optical transitions depend strongly on interdot distance (tunnelling), electron-hole Coulomb interaction, and asymmetry of the double-dot potentials.

[1] E. Muljarov and R. Zimmermann, Phys. Rev. Lett. **93**, Nov. 2004.

HL 4.11 Fr 13:15 TU P-N201

Investigation of the optical mode structure in pillar microcavities — •N. BAER¹, J. WIERSIG¹, P. GARTNER¹, F. JAHNKE¹, M. BENYOUSSEF², S.M. ULRICH², P. MICHLER², and A. FORCHEL³ — ¹Institute for Theoretical Physics, University of Bremen — ²University of Stuttgart — ³University of Würzburg

Due to the wide range of application a detailed understanding of the mode structure in microresonators is desirable. For planar structures, such as VCSELs, the often used 2×2 - transfer-matrix technique is sufficient to describe the experimental results. For pillar structures, however, the transverse confinement becomes essential and this simple approach is no longer applicable.

In a theory-experiment comparison we study the influence of the transverse mode confinement for decreasing pillar diameter on the emission properties of semiconductor quantum dots in micropillars [1]. The mode structure is determined from the solution of vector Maxwell equations for the 3d geometry. For pillar diameters large compared to the light wavelength, results of the mode spectrum obtained from a vectorial transfer-matrix approach [2] agree well with experiments. For smaller diameter the cavity quality is reduced due to less efficient confinement of the modes in the transverse direction. This effect cannot be accounted for in a transfer matrix approach and alternative methods, e.g., mode calculations based on Green's functions techniques are needed. Results show a decreasing transverse mode confinement for smaller pillars diameter.

[1] Benyoucef et al., New J. Phys. **6**, 91 (2004)

[2] D. Burak and R. Binder, IEEE J. Quantum Electron. **33**, 1205 (1997)