

Kapitel 6

Zusammenfassung

In dieser Arbeit werden in modulationsdotierten AlGaAs-GaAs-Heterostrukturen zwei- und nulldimensionale Elektronensysteme mittels Raman-Spektroskopie untersucht. Dabei werden neben den kollektiven Ladungsdichte- und Spindichte-Anregungen insbesondere die Einteilchen-Anregungen erforscht. Letztere liegen dicht bei den Energieabständen des effektiven Einteilchen-Potentials, die in einer Meanfield-Theorie erhalten werden, und werden in einem Vielteilchen-System eigentlich nicht erwartet. Erst unter extremer Resonanz zum Bandgap werden diese Anregungen beobachtet.

Zunächst wurden Proben präpariert, bei denen zwischen Front- und Backgate eine Spannung angelegt werden kann, um den Quantenwell abzustimmen ohne die Ladungsträgerdichte zu verändern. An diesen Proben steht die Charakterisierung der Einteilchen-Anregung im Vordergrund. Man findet, daß sich die energetische Lage sowohl der kollektiven als auch der Einteilchen-Anregungen verschiebt. Die SPE und SDE dringen im Gegensatz zur CDE in die Reststrahlenbande ein. Dies ist ein Zeichen für einen zumindest Spindichte-artigen kollektiven Charakter der SPE. Dieses Ergebnis deckt sich mit theoretischen Berechnungen, die in Lokal-Dichte-Näherung durchgeführt wurden.

An einem 2DEG geringer Dichte werden die Intersubband-Resonanzen im Magnetfeld untersucht. Man findet Sprünge in der Energie der kollektiven Intersubband-Anregungen bei ganzzahligen Füllfaktoren ν . Dies wird erklärt durch eine Bandgap-Renormalisierung, da sich das Potential des Quantenwells bei diesen Magnetfeldern ändert.

Ferner werden Proben mit einem direkt kontaktierten 2DEG präpariert. Bei solchen Proben läßt sich die Elektronendichte N_s kontrolliert abstimmen. Die Wellenvektordispersion des Intrasubband-Plasmons, die in solchen Proben gemessen wird, paßt hervorragend zu der erwarteten wurzelförmigen Abhängigkeit, die für 2DEGs berechnet wird. Zusätzlich werden Proben mit Gitterkopplern präpariert. Diese ermöglichen die Übertragung von Wellenvektoren, die deutlich größer sind, als die des anregenden Laserlichts. Auch hier wird eine wurzelförmige Abhängigkeit des Plasmons bis zu

großen Werten von q gemessen. Im Magnetfeld spaltet das Intrasubband-Plasmon aufgrund nicht-lokaler Effekte an Vielfachen der Zyklotronresonanz $n\omega_c$ auf. Die Stärke der Aufspaltung paßt hervorragend mit theoretischen Berechnungen zusammen.

Weiterhin werden Feld-Effekt-abstimmbare Quantendots aus Proben mit einem Backgate präpariert. Die Ergebnisse der Untersuchung dieser Strukturen sind nicht eindeutig. Die Elektronen lassen sich unter Dauerbeleuchtung nicht kontrolliert in die Dots laden. Daher ist anzunehmen, daß die gemessenen energetischen Shifts der beobachteten Anregungen mit der Gatespannung wahrscheinlich auf die Verzerrung der Bandstruktur zurückzuführen ist.

In Tief-Mesa-geätzten Quantendots werden ebenso wie in zweidimensionalen Systemen die kollektiven CDE und SDE gefunden, die den Auswahlregeln der Raman-Spektroskopie gehorchen. Die Dispersion dieser Niveau-Übergänge im Magnetfeld wird spektroskopiert. Es zeigt sich, daß die Vielteilchen-Wechselwirkungen in den hier untersuchten Dots sehr klein sind, da die energetischen Shifts zwischen den beiden Anregungen extrem gering sind. Zusätzlich werden auch die Einteilchen-Anregungen gemessen. Diese folgen im Magnetfeld den Fock-Darwin-Termen für nicht-wechselwirkende Teilchen im parabolischen Potential. Bei Magnetfeldern über 1.6 T weichen die SPE von den Fock-Darwin-Dispersionen ab. Dieses Verhalten wird durch die Bildung von Volumenartigen Zuständen erklärt, da das magnetische Confinement das des parabolischen Potentials dominiert. TDLDA-Rechnungen bestätigen diese Tatsache und reproduzieren den Effekt hervorragend. Mit FIR-Messungen wird das CDE₁-Plasmon untersucht, das in den Raman-Messungen nicht gefunden wurde. Es liegt bei außergewöhnlich kleinen Energien, die für Quantendots mit ca. 200 Elektronen nicht erwartet werden.

In Zukunft wäre es interessant eine Probenstruktur zu finden, bei der man unter Dauerbeleuchtung die Ladungsträgerzahl N_s abstimmen kann, und zwar sowohl im 2D als auch 0D Fall. Eine Möglichkeit Elektronen kontrolliert in Quantendots zu laden bestünde darin, MIS-Strukturen mit einem Antidotgitter aus Photolack mit einem Metallgate zu bedampfen. Dann kann durch eine Gatespannung die Leitungsbandkante unter das Fermi-Niveau gezogen werden. Für die Interpretation der kollektiven Anregungen in Quantendots wären weitere theoretische Rechnungen vorteilhaft. So müßte man Niveau-Übergänge mit $\Delta N = 2$ in Vielelektronen-Dots betrachten, insbesondere im Hinblick auf das Magnetfeld-Verhalten der besonders stark ausgeprägten SDE₂-Mode, die in den hier untersuchten Dots gefunden wird.