

Zusammenfassung

Spätestens, seitdem Schlagworte wie „Quantencomputer“ oder „Quantenkryptographie“ auch in der allgemeinen öffentlichen Diskussion angekommen sind, rücken Quantenpunkte im Hinblick auf ihre potentiellen Anwendungen in festkörperbasierter Quanten-Informationsverarbeitung und ihrem Nutzen für die Grundlagenforschung in den Fokus des allgemeinen Interesses. Quantenpunkte werden in diesem Zusammenhang auch oft als „künstliche Atome“ bezeichnet. Dies fasst ihre Eigenschaften in vielen Bereichen sehr anschaulich zusammen und unterstreicht darüber hinaus ihr großes Potential für zukünftige Entwicklungen.

Als Grundlage zahlreicher Experimente dient dabei das theoretische Modell eines Zwei-Niveau-Systems, das durch einen einzelnen Quantenpunkt sehr gut repräsentiert werden kann, wenn man die An- bzw. Abwesenheit eines einzelnen Exzitons im Grundzustand einer solchen Struktur betrachtet. Erweiterung findet dieses Konzept auch, wenn man nicht nur ein einziges Exziton in diesem System betrachtet, sondern gleich deren zwei (Biexziton).

Übergänge zwischen den betrachteten Niveaus können durch optische Anregung induziert werden. Durch die Integration der Quantenpunkte in eine Diodenstruktur kann die Detektion elektrisch über Messung des Photostromes erfolgen. Dieser Detektionsmechanismus ist hochempfindlich und erlaubt es, die Energieniveaus des Quantenpunktes aufgrund des Stark-Effekts mittels der Variation einer extern angelegten Spannung sehr präzise gegenüber einer festen Laserenergie zu verstimmen. Die Übergänge erscheinen dann im Photostrom als extrem schmale Resonanzen. Das System lässt sich auf diese Weise als extrem sensibles Nano-Spektrometer einsetzen.

Zur Untersuchung kohärenter Wechselwirkungen zwischen Quantenpunkt und Lichtfeld erfolgt die Anregung mit Laserpulsen, die im Vergleich zur Dephasierungszeit (2 ps) deutlich kürzer sind. Die Beobachtung von Rabi-Oszillationen, mit denen jeder beliebige Überlagerungszustand der beiden Niveaus gezielt eingestellt werden kann, gilt dabei als grundlegende Beobachtung an Zwei-Niveau-Systemen. In dieser Arbeit wurde der vorhandene Messaufbau um die Möglichkeit ergänzt, die Temperatur

der Probe gezielt variieren zu können, bis zu diesem Zeitpunkt war nur die Messung bei 4,2 K möglich. Es konnten Rabi-Oszillationen bis zu Temperaturen von 70 K nachgewiesen werden. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, welchen Einfluss die Temperatur auf weitere Eigenschaften des Systems hat. So kommt es zu einer deutlichen Verbreiterung der beobachteten Resonanzen, und damit einhergehend zu einer Verkürzung der Lebensdauer der damit verbundenen Zustände.

Ebenso konnte gezeigt werden, dass es mit Hilfe der Temperatur möglich ist, den vorherrschenden Rekombinationskanal des betrachteten Zustandes zu beeinflussen. Über die an der Probe angelegte Spannung lässt sich schon im Falle der Messung bei 4,2 K wählen, ob das Exziton eher strahlend zerfällt (Rückwärts-Spannung kleiner 0,4 V) oder ob im Falle einer stärkeren Verbiegung der Bänder (mehr als 0,4 V Spannung) eher Tunnelprozesse und damit im Photostrom messbare Prozesse bevorzugt werden. Durch eine Variation der Temperatur und damit einhergehender thermischer Aktivierung lässt sich diese Grenze nun deutlich zu Gunsten der Tunnelprozesse verschieben. Ein weiterer wichtiger Teil der Untersuchungen fanden im Rahmen von Quanten-Interferenzexperimenten statt, die gerade im Hinblick auf Quantum-Computing von Bedeutung sind. Dabei wird die Probe mit zwei zeitlich versetzten Laserpulsen angeregt. Der erste Puls definiert eine Überlagerung der beiden möglichen Zustände des Systems und prägt dem System seine Phaseninformation auf. Der zweite Puls fragt diese Information dann anschaulich gesehen ab und reagiert dabei äußerst sensitiv auf eine Verstimmung der Quantenpunktenergie, die über den Stark-Effekt beeinflusst werden. Auf diese Weise entstehen so genannte Ramsey-Interferenzen, deren Periode mit zunehmendem Pulsabstand immer schmaler wird. Dieser Abstand konnte in dieser Arbeit sowohl für das Exziton wie auch für das Biexziton bis auf nahezu 1 ns vergrößert werden. Ebenso wurden erstmals Ramsey-Interferenzen am Biexziton untersucht. Dieser gebundene Zustand aus zwei einzelnen Exzitonen wird mit einem resonanten und kohärenten Zwei-Photonen-Prozess erzeugt. Es konnte gezeigt werden, dass die Auflösung dieser Interferenzen im Hinblick auf die Verstimmung des Systems nochmals um den theoretisch erwarteten Faktor 2 gegenüber dem Exziton-Fall gesteigert werden kann.

Die kohärenten Zwei-Puls-Experimente eröffnen zahlreiche Möglichkeiten: die Frequenz-Stabilisierung von Quantenpunkten unterhalb ihrer homogenen Linienbreite, eine spannungsgesteuerte Zustandspräparation und nicht zuletzt die Realisierung von C-Not-Gates mit schwach gekoppelten Qubits.