

Abstract – Dissertation Patrick Ester – “Coherent Properties of Single Quantum Dot Transitions and Single Photon Emission”

Durch die Entdeckung des selbstorganisierten Wachstums der Quantenpunkte (englisch: Quantum Dot (QD)) wurde ein neues Forschungsfeld im Bereich der Halbleiterphysik entwickelt. Weltweit forschen Physiker an den Eigenschaften dieser QDs. Aufgrund der Bänderstrukturen der QD-Halbleitermaterialien und des umgebenden Materials wird ein Einschluss Potential für Ladungsträger generiert. Die Entstehung dieser QDs geschieht nahezu defektfrei, daher besitzen diese QDs eine sehr hohe optische Qualität. Die Energiezustände dieser QDs sind aufgrund der geringen Ausmaße quantisiert, und daher ähnlich zu einem Atom. Aufgrund der lokalisierten Position ist es möglich, die Eigenschaften eines einzelnen Quantensystems zu studieren.

Die verschiedenen Dephasierungs-Mechanismen einzelner QD Übergänge werden in dieser Arbeit analysiert. Zusätzlich werden Anwendungen präsentiert, die durch die Eigenschaften der eingeschlossenen Exzitonen entstehen. Um einzelne QDs zu isolieren werden in dieser Arbeit Nah-Feld Schattenmasken verwendet, wodurch die Laseranregung und die Lumineszenz auf einen einzelnen QD limitiert werden. Einzelne QDs werden in dieser Arbeit charakterisiert, bezüglich der spektralen Lage von nahezu allen möglichen Übergängen, wie z.B. dem Grundzustand, angeregte Zustände, geladene Zustände, mehrfache Besetzungen, und LO- (Longitudinal Optisch) Phonon assistierte Absorption. Durch die Implementation der QD in eine Diodenstruktur sind Tunnelprozesse von Ladungsträger in und aus dem QD möglich.

Die QD-Übergänge, die in dieser Arbeit untersucht werden, sind der Exziton Grundzustand, der erste angeregte Zustand (p -Schale) und die GaAs LO-Phonon assistierte Absorption. Durch Anlegen einer geeigneten Spannung kann ein resonant erzeugtes Exziton aus dem QD heraustunneln, wodurch die Anregung im Photostrom nachgewiesen wird. Eine resonante Anregung in der p -Schale erzeugt eine optische Rekombination im Grundzustand nach einem Relaxationsprozess. Im Falle der LO-Phonon assistierten Absorption ist das Anregungsschema anders. Die resonante Laserenergie passt hier zur Energie eines GaAs LO-Phonon und dem Exziton Grundzustand. Dadurch werden Phonon und Grundzustandsexziton gleichzeitig erzeugt. Diese drei Übergänge werden in dieser Arbeit untersucht bezüglich verschiedener Eigenschaften, wie z.B. verschiedener Anregungspolarisationen, (in-)koäherenter Anregung und Dephasierungsmechanismen. Wenn ein QD-Übergang als ein quantenmechanisches Zwei-Niveau-System behandelt werden kann, muss es sowohl kohärente als auch inkohärente Eigenschaften aufweisen, wie z.B. ein Sättigungsverhalten bei steigender kontinuierlicher Anregungsintensität. Weiterhin muss eine kohärente Manipulation möglich sein. Diese Eigenschaften wurden für den Grundzustand in Photostrom Experimenten nachgewiesen, genauso wie für den p -Schalen

Übergang in der Photolumineszenz. Die LO-Phonon assistierte Absorption zeigt auch ein Sättigungsverhalten, aber eine kohärente Manipulation ist mit den verwendeten ps-Laserpulsen nicht möglich. Die vergleichbar lange Dephasierungszeit des Grundzustandes erlaubt es zwei zeitversetzte Wechselwirkungen von Laserpulsen mit einem QD durchzuführen. Ein generiertes Exziton kann mit dem zweiten Laserpuls durch die Speicherung der Phaseninformation des ersten Pulses interferieren. Die relative Phase eines Exzitons bzgl. eines anregenden Laserfeldes kann extern über eine angelegte Spannung beeinflusst werden. Dadurch ist es möglich, Ramsey-Fringes zu beobachten, die in dieser Arbeit präsentiert werden.

Die kohärenten Eigenschaften der p -Schalen Anregung können für ein neuartiges Anregungsschema einer Einzel-Photon-Emission ausgenutzt werden. In dieser Arbeit wird gezeigt, dass der erste angeregte Zustand kohärent manipuliert werden kann, analog zum Grundzustand. Durch die definierte Anregung eines Exzitons in der p -Schale ist die folgende Einzel-Photonen Emission (nach der Relaxation in den Grundzustand) bemerkenswert sauber. Dies wird demonstriert in einem Hanbury-Brown und Twiss Experiment.